

# Energia Verificável

Blockchain, Certificação de Origem e  
Tokenização de Ativos no Setor Elétrico Brasileiro

GUIA PRÁTICO PARA GERADORAS DE ENERGIA  
RENOVÁVEL APÓS A ANEEL 1.150

Eduardo Mayer Fagundes

São Paulo, 2026

---

# Energia Verificável

---

*Blockchain, Certificação de Origem e Tokenização de Ativos no Setor Elétrico Brasileiro*

Guia Prático para Geradoras de Energia Renovável após a ANEEL 1.150

**Eduardo Mayer Fagundes**

*Engenheiro Eletricista · MSc Ciência da Computação (Mackenzie)*

*Fundador, efgundes.com Think Tank · nMentors Engenharia*

São Paulo · Brasil · 2026

© 2026 Eduardo Mayer Fagundes

Todos os direitos reservados.

Este e-book é distribuído gratuitamente para fins de informação e difusão do conhecimento. É permitida a reprodução parcial do conteúdo para fins não comerciais, desde que citada a fonte completa: FAGUNDES, Eduardo Mayer. Energia Verificável: Blockchain, Certificação de Origem e Tokenização de Ativos no Setor Elétrico Brasileiro. São Paulo: efagundes.com · nMentors Engenharia, 2026.

É vedada a reprodução total, a adaptação, a comercialização ou a distribuição com atribuição de autoria diversa da original, sem autorização prévia e expressa do autor. O conteúdo deste e-book não constitui consultoria jurídica, financeira ou regulatória. As análises e projeções são de natureza informativa e não substituem assessoria especializada.

---

**Dados de publicação**

Título: Energia Verificável

Autor: Eduardo Mayer Fagundes

Formato: E-book (PDF / DOCX)

Edição: 1ª edição

Publicação: São Paulo, Brasil, 2026

Contato: Eduardo.Mayer@nMentors.com.br · nMentors.com.br · efagundes.com

**CITAÇÃO RECOMENDADA (ABNT)**

*FAGUNDES, Eduardo Mayer. Energia Verificável: certificação de origem, tokenização de ativos e a nova regulação da ANEEL — guia prático para geradoras de energia renovável. São Paulo: efagundes.com · nMentors Engenharia, 2026. E-book. Disponível em: <<https://www.nmentors.com.br>>.*

# Por que este e-book existe

---

Em reuniões com diretores de geradoras de energia renovável — solar, eólica e biomassa — ao longo de 2025 e 2026, percebemos um padrão recorrente: executivos tecnicamente competentes, com profundo conhecimento do setor elétrico, mas sem instrumentos claros para avaliar blockchain como tecnologia operacional. Não por falta de interesse. Por falta de material adequado ao seu contexto.

O mercado oferecia dois extremos. De um lado, *whitepapers* técnicos voltados para desenvolvedores — densos em código e arquitetura, escassos em implicação de negócio. De outro, apresentações comerciais que prometiam transformação digital sem detalhar o que seria efetivamente entregue, a que custo e em quanto tempo. O meio — o guia prático orientado à decisão executiva — estava ausente.

A publicação da Resolução Normativa ANEEL nº 1.150, em janeiro de 2026, acelerou a necessidade desse material. Ao reconhecer explicitamente blockchain como tecnologia habilitadora no setor elétrico, a ANEEL criou uma janela regulatória que não existia antes — e que não permanecerá aberta indefinidamente. Geradoras que agirem nos próximos 12 a 18 meses moldarão os padrões que os demais seguirão.

Ele não pressupõe conhecimento técnico de blockchain. Pressupõe que o leitor conhece o setor elétrico, entende de regulação da ANEEL e está avaliando se e quando investir em certificação de origem e tokenização de ativos. Para esse leitor, cada capítulo foi construído com a mesma estrutura: contexto, mecanismo, trade-offs, recomendação e implicação de não agir.

Se ao final da leitura o gestor conseguir responder com clareza às três perguntas abaixo, o e-book cumpriu seu propósito:

- Minha geradora está pronta para iniciar o processo de certificação de origem via blockchain?
- Qual é o modelo de tokenização de BESS mais adequado ao meu perfil de projeto?
- Como selecionar e contratar um fornecedor competente — e quais armadilhas evitar?

Se essas respostas levarem a uma conversa com a nMentors Engenharia, melhor ainda.

## **Eduardo Mayer Fagundes**

Fundador, [efagundes.com](http://efagundes.com) Think Tank · nMentors Engenharia  
São Paulo, maio de 2026

# Resumo Executivo

O setor elétrico brasileiro entrou em uma nova fase regulatória e operacional. Em janeiro de 2026, a Resolução Normativa ANEEL nº 1.150 reconheceu blockchain como tecnologia habilitadora para novas atividades no setor elétrico. Poucos meses antes, a RN 1.133 consolidou o processo administrativo digital da agência, elevando rastreabilidade, evidência auditável e governança documental ao status de requisito operacional.

As duas normas, em conjunto, produzem um efeito estrutural: o setor elétrico brasileiro passa a operar sob uma lógica de infraestrutura digital verificável.

Para geradoras de energia renovável — solar, eólica, biomassa e, progressivamente, projetos híbridos com armazenamento — isso altera a dinâmica competitiva do mercado em três dimensões centrais:

- certificação de origem renovável;
- compliance ESG auditável;
- financiamento de ativos energéticos digitais.

Este e-book foi escrito para executivos que precisam decidir se, quando e como posicionar suas empresas nessa transição.

Não se trata de um material sobre criptomoedas. Também não é um manual técnico para desenvolvedores. O objetivo desta publicação é traduzir blockchain para a linguagem operacional, regulatória e financeira do setor elétrico brasileiro.

A tese central do livro pode ser resumida em uma frase:

***O setor elétrico está migrando de infraestrutura física passiva para infraestrutura digital programável — e blockchain torna essa infraestrutura verificável.***

Ao longo dos capítulos, demonstramos que a oportunidade já deixou o campo experimental. A plataforma CCEE Origem entrou em operação para rastrear certificados renováveis e reduzir o risco de dupla contagem. O mercado brasileiro de tokenização cresceu 207% em 2025. O primeiro leilão brasileiro de capacidade para BESS está em estruturação. Empresas globais — utilities, hyperscalers e grandes compradores ESG — já exigem níveis de rastreabilidade que os processos tradicionais de certificação não conseguem entregar de forma eficiente.

Nesse contexto, blockchain deixa de ser uma inovação periférica e passa a atuar como camada operacional de confiança.

O e-book está estruturado em seis blocos estratégicos.

O Capítulo 1 apresenta o novo contexto regulatório brasileiro, explicando como a RN 1.150 e a RN 1.133 criam a janela regulatória mais favorável já observada para implementação de blockchain em energia no país. O foco não está na tecnologia em si, mas na mudança institucional promovida pela ANEEL: o reconhecimento oficial de blockchain como infraestrutura habilitadora para novas atividades no setor elétrico.

O Capítulo 2 analisa o mercado de certificação de origem renovável — I-REC e CCEE Origem — demonstrando porque apenas uma pequena parcela da energia renovável gerada no Brasil é atualmente certificada, apesar da crescente demanda corporativa por comprovação auditável de origem limpa. Mostramos como blockchain reduz latência, elimina dupla contagem e cria acesso a compradores ESG premium.

O Capítulo 3 traduz os fundamentos técnicos de blockchain para o ambiente operacional das geradoras. O objetivo não é aprofundar teoria computacional, mas explicar como smart contracts, oráculos, blockchains permissionadas e integração SCADA–IoT–ledger funcionam na prática. A principal conclusão é clara: os projetos não fracassam na camada blockchain — fracassam na camada de integração.

O Capítulo 4 aborda o tema mais estratégico da próxima década para infraestrutura energética brasileira: armazenamento por baterias (BESS). Demonstramos como a tokenização pode estruturar novos modelos de financiamento para ativos com CAPEX majoritariamente dolarizado, reduzindo dependência do crédito bancário tradicional e conectando projetos energéticos a investidores via infraestrutura blockchain regulada pela CVM.

O Capítulo 5 consolida seis casos internacionais em operação — Power Ledger, ACCIONA, WePower, TenneT/Sonnen, Siemens Energy e Energy Web Foundation — provando que certificação blockchain, tokenização de contratos energéticos e integração BESS já funcionam em mercados regulados. O Brasil não precisa inventar o modelo. Precisa adaptar e implementar o que já foi validado internacionalmente.

O Capítulo 6 transforma a tese em execução prática. Apresentamos critérios de contratação, armadilhas recorrentes, cenários para 2030 e um roadmap de implementação em 12 meses. O objetivo é reduzir o principal risco dos projetos blockchain no setor elétrico: começar pela tecnologia antes de estruturar governança, integração e modelo de negócio.

Ao final da leitura, o executivo deve ser capaz de responder quatro perguntas objetivas:

- Minha geradora está preparada para certificação de origem baseada em blockchain?

- Qual arquitetura tecnológica é adequada ao meu ambiente operacional?
- Existe viabilidade econômica real para tokenização de BESS?
- Como selecionar fornecedores sem transformar o projeto em um piloto sem escala?

A conclusão central do e-book é direta:

Blockchain em energia não é mais uma discussão sobre futuro tecnológico. É uma discussão sobre posicionamento competitivo.

Geradoras que implementarem infraestrutura verificável nos próximos 12 a 18 meses acumularão ativos que não podem ser reproduzidos rapidamente:

- histórico operacional;
- relacionamento regulatório;
- contratos ESG premium;
- integração com compradores sofisticados;
- experiência prática de execução.

Quando o mercado consolidar padrões definitivos, os pioneiros já estarão operando.

A janela regulatória aberta pela ANEEL não permanecerá aberta indefinidamente.

O setor elétrico que emerge nesta década exigirá mais do que geração renovável.

Exigirá geração verificável.

# Sumário

<i>Resumo Executivo</i> .....	4
<i>Sumário</i> .....	7
<i>A Nova Regulação</i> .....	8
<i>Certificado de Origem Renovável</i> .....	17
<i>Blockchain como Infraestrutura de Rastreabilidade</i> .....	26
<i>Tokenização de Ativos Energéticos</i> .....	35
<i>Casos Internacionais</i> .....	44
<i>Como Avaliar e Contratar</i> .....	55
<i>O Setor Elétrico que Vem</i> .....	62
<i>Glossário</i> .....	64

## CAPÍTULO 1

# A Nova Regulação

RN 1.133/2025 e RN 1.150/2026 — O que muda para geradoras de energia renovável e por que agir agora

**27 jan.**

DATA DA RN 1.150

Blockchain reconhecido como tecnologia habilitadora (ANEEL, 2026)

**121**

ARTIGOS — RN 1.133

Nova norma de processo administrativo digital da ANEEL (ANEEL, 2025)

**art. 629**

PONTO CENTRAL

Alteração da RN 1.000 que nomeia blockchain como tecnologia habilitadora

**2026–27**

JANELA REGULATÓRIA

Período de menor fricção para implementação antes do marco definitivo [cenário provável]

Em 27 de janeiro de 2026, a ANEEL publicou a Resolução Normativa nº 1.150 e alterou o artigo 629 da Resolução Normativa nº 1.000 — o marco regulatório central do setor de distribuição de energia elétrica brasileiro. A mudança é concisa e direta: blockchain passou a integrar a lista de tecnologias habilitadoras para novas atividades no setor elétrico, ao lado de inteligência artificial, internet das coisas e veículos elétricos (ANEEL, 2026). Não é uma regra técnica. Não é um projeto-piloto. É um reconhecimento regulatório oficial que abre a porta para modelos de negócio baseados em blockchain no ambiente regulado. Para geradoras de energia renovável — eólica, solar e biomassa — isso muda o cálculo. A questão deixa de ser "blockchain é permitido no Brasil?" e passa a ser "quando minha geradora vai implementar?" Quatro meses antes, em setembro de 2025, a ANEEL havia publicado a RN 1.133, que institucionalizou o processo administrativo digital e tornou evidências auditáveis um requisito operacional para todo agente regulado (ANEEL, 2025). As duas normas juntas constroem o ambiente regulatório mais favorável à digitalização energética já visto no Brasil.

## CONTEXTO REGULATÓRIO

## 1.1 A RN 1.150/2026 — O Reconhecimento Oficial do Blockchain

O ponto central da RN 1.150 está na nova redação do § 6º do artigo 629 da Resolução Normativa nº 1.000, de 7 de dezembro de 2021. O texto passou a incluir blockchain explicitamente no rol de tecnologias que habilitam novas atividades acessórias complementares inovadoras no setor elétrico (ANEEL, 2026). A ANEEL não criou uma regra técnica específica para blockchain — e isso é estratégico. O regulador abriu espaço sem fechar o desenho. Empresas

que agirem agora moldam o padrão. Empresas que esperarem o marco definitivo implementarão o modelo que os pioneiros desenharam.

A norma estabelece também que, para exercer atividades inovadoras baseadas em novas tecnologias, a distribuidora deve solicitar prévia autorização da ANEEL e pode ser instada a comprovar o Nível de Maturidade Tecnológica (TRL) das aplicações utilizadas (ANEEL, 2026). Para geradoras, esse requisito de TRL é um sinal importante: a ANEEL exigirá soluções com comprovada maturidade operacional — não experimentos.

**TEXTO LEGAL — RN 1.150/2026, ART. 629, § 6º**

"A distribuidora poderá exercer novas atividades acessórias complementares inovadoras criadas a partir de novas tecnologias, tais como a combinação dos recursos energéticos distribuídos, medidores inteligentes, veículos elétricos, inteligência artificial, internet das coisas, blockchain e computação em nuvem." (ANEEL, Resolução Normativa nº 1.150, de 27 de janeiro de 2026)

O efeito prático para geradoras é duplo. Primeiro, a certificação de origem de energia renovável via blockchain — que conecta cada MWh gerado a um registro imutável na rede — passa a ter respaldo regulatório explícito. Segundo plataformas de tokenização de ativos energéticos, como sistemas de armazenamento por baterias (BESS — *Battery Energy Storage Systems*), ganham legitimidade regulatória para operar em ambiente estruturado, reduzindo o risco jurídico dos projetos de financiamento.

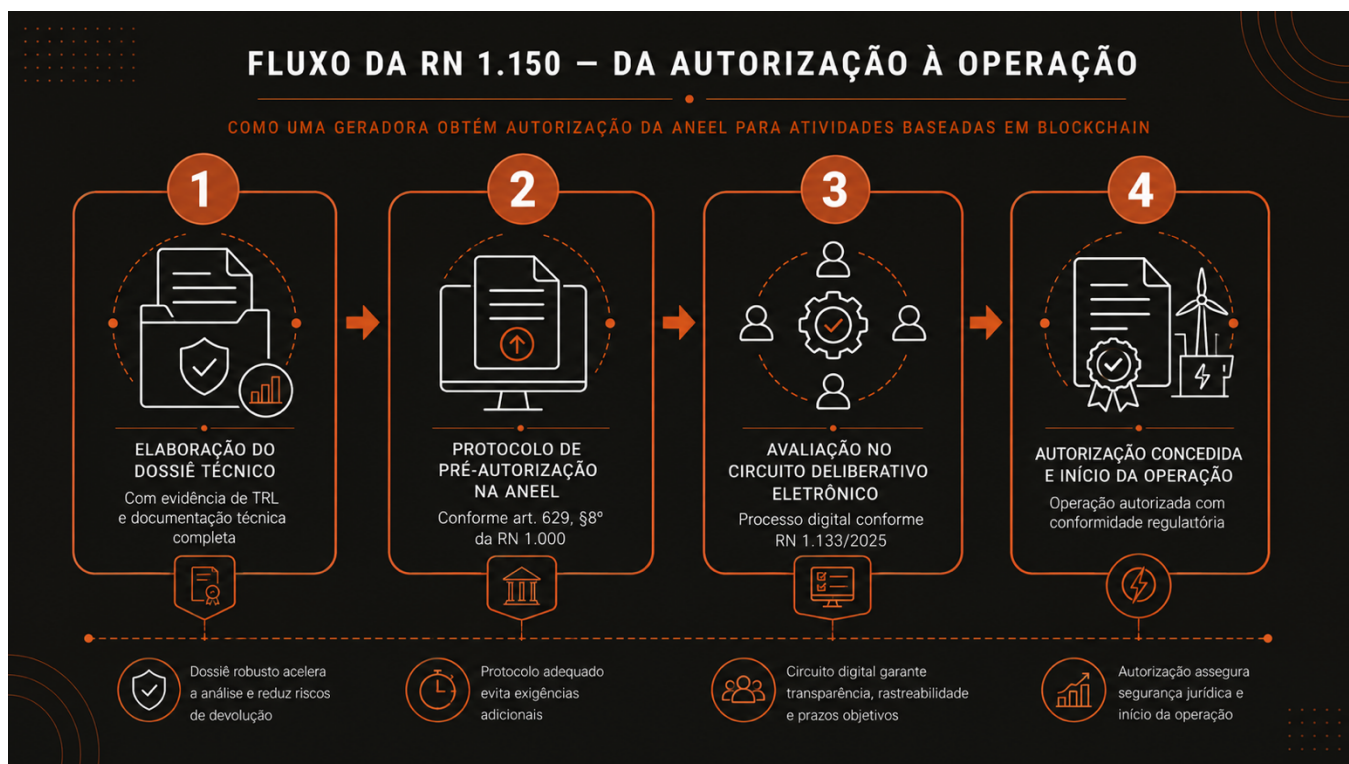


Figura 1. Diagrama de fluxo mostrando as etapas de uma geradora para obter autorização da ANEEL para atividades blockchain.

Como funciona	Tensões e escolhas	Efeito executivo	Nível
Blockchain nomeado no art. 629 da RN 1.000 como tecnologia habilitadora de atividades inovadoras (ANEEL, 2026)	A norma não detalha padrões técnicos — cada empresa define sua arquitetura, o que gera insegurança antes da consolidação do marco	Reduz risco jurídico de projetos blockchain no setor; abre linha de pré-autorização formal junto à ANEEL	<b>OPORT.</b>
Exigência de Nível de Maturidade Tecnológica (TRL) comprovável para atividades inovadoras (§ 7º do art. 629)	Soluções experimentais ou sem histórico operacional serão rejeitadas; apenas fornecedores com TRL elevado passarão	Prazo de avaliação da ANEEL pode levar de 90 a 180 dias [cenário provável]; contratar fornecedor com TRL documentado reduz esse risco	<b>ALTO</b>
Prévia autorização da ANEEL para atividades não previstas no art. 629 (§ 8º)	Aplicações de blockchain que não se enquadrem nas atividades já listadas precisarão de processo de autorização prévio	Certificação de origem e tokenização de BESS são casos com enquadramento favorável; contratos P2P podem exigir autorização adicional	<b>MÉDIO</b>
Regulamentação complementar da CVM (Resoluções 88/2022 e 175/2023) para tokens de renda fixa e fundos de investimento	Tokens que representem valores mobiliários exigem registro na CVM, adicionando camada regulatória ao processo de tokenização de BESS	Assessoria jurídica especializada em direito regulatório (ANEEL + CVM) é custo obrigatório do projeto, não opcional	<b>ALTO</b>

GOVERNANÇA DIGITAL

## 1.2 A RN 1.133/2025 — A Governança Digital como Requisito Operacional

Publicada em 22 de setembro de 2025, a Resolução Normativa nº 1.133 aprovou a Norma de Organização nº 1 da ANEEL, consolidando em um único ato as regras de processo administrativo da agência: instrução, prazos, distribuição, deliberação colegiada e participação pública (ANEEL, 2025). Seus 121 artigos estão alinhados ao novo Regimento Interno da ANEEL, vigente desde julho de 2025.

Para agentes regulados — e geradoras são agentes regulados — a mensagem da norma é direta: evidências digitais auditáveis, rastreabilidade de ponta a ponta nos sistemas oficiais e prazos objetivos não são melhores práticas. São requisitos. O Circuito Deliberativo Eletrônico, instituído pela RN 1.133, reduz a dependência de sessões presenciais e cria um fluxo contínuo de análise e votação — o que significa que os processos administrativos envolvendo autorizações de novos projetos, incluindo iniciativas blockchain, tramitam em velocidade maior, mas com exigência proporcional de qualidade de documentos.

A implicação operacional para geradoras que pretendem implementar blockchain é concreta: o dossiê de pré-autorização submetido à ANEEL para atividades inovadoras (exigência da RN 1.150) será processado sob o rito da RN 1.133. Documentos incompletos, sem rastreabilidade de dados ou sem evidência de TRL são devolvidos rapidamente — e o prazo recomeça do zero.

**SINAL DE MERCADO — E-COMPLIANCE COMO VANTAGEM COMPETITIVA**

Arquiteturas que preservam a cadeia de custódia, o versionamento de documentos e o contexto técnico-jurídico não são mais apenas boas práticas, mas se transformam em uma vantagem competitiva decisiva. A decisão a favor do digital já foi tomada pelo regulador. (Eixos, 2026)



Figura 2. Processo Administrativo da ANEEL: transição do modelo presencial para o fluxo digital estruturado após a RN 1.133/2025

Como funciona	Tensões e escolhas	Efeito executivo	Nível
Circuito Deliberativo Eletrônico: decisões da ANEEL em fluxo contínuo, sem dependência de sessões presenciais (RN 1.133, art. 51 e ss.)	Maior velocidade de tramitação exige qualidade superior dos documentos desde o primeiro envio; retrabalho tem custo proporcional	Dossiês estruturados com evidência de TRL e rastreabilidade de dados reduzem risco de devolução e recomeço de prazo	<b>ALTO</b>
Sustentação oral por vídeo pré-gravado, enviado até 16h do dia anterior à reunião pública (RN 1.133, art. 45, §§ 1º e 4º)	Amplia capilaridade e reduz custo de representação, mas exige governança interna para produzir conteúdo conciso e tempestivo	Geradoras sem equipe técnico-jurídica dedicada terão dificuldade de cumprir o rito; terceirizar essa função é o caminho mais rápido	<b>MÉDIO</b>

Como funciona	Tensões e escolhas	Efeito executivo	Nível
Rastreabilidade integral via SEI: todos os atos são registrados, versão a versão, com cadeia de custódia intacta (RN 1.133, art. 1º e ss.)	Sistemas legados de gestão documental sem versionamento ou metadados estruturados não atendem ao novo rito	Investimento em plataforma de governança documental é pré-requisito para operar com qualidade no novo ambiente regulatório	<b>CRÍTICO</b>
Julgamento em bloco para temas repetitivos: processos similares podem ser deliberados conjuntamente, acelerando decisões setoriais	Temas novos e complexos, como blockchain na geração distribuída, podem exigir debate individualizado e não entrar no bloco	Projetos blockchain pioneiros serão analisados individualmente; é oportunidade para moldar o entendimento da agência	<b>OPORT.</b>

IMPACTO PARA GERADORAS

### 1.3 O Que as Duas Normas Significam na Prática

Juntas, a RN 1.133 e a RN 1.150 criam um par regulatório indissociável. A RN 1.150 abre a porta: blockchain é reconhecido, projetos inovadores podem ser submetidos. A RN 1.133 define como essa porta é atravessada: com evidências auditáveis, rastreabilidade completa e documentação estruturada desde o primeiro protocolo.

Para uma geradora de energia solar, eólica ou biomassa, o impacto prático se concentra em três frentes imediatas. A primeira é a certificação de origem: o I-REC (*International Renewable Energy Certificate*) e o sistema CCEE Origem podem ser fortalecidos por registros blockchain que eliminam o risco de dupla contagem e reduzem o ciclo de emissão. A segunda é o compliance ESG: compradores de energia no mercado livre — especialmente multinacionais com metas *Science Based Targets* (SBT) — exigem cada vez mais rastreabilidade verificada da origem renovável. Blockchain preenche essa lacuna de forma auditável. A terceira é o financiamento de ativos: a tokenização de BESS via blockchain, respaldada pela RN 1.150, abre modelos de captação que não dependem exclusivamente de crédito bancário convencional — um gargalo real num mercado onde 80% do CAPEX de BESS é dolarizado (WTW, 2026).

**DADO DE CAMPO — MERCADO JÁ EM MOVIMENTO**

A CCEE lançou em outubro de 2024 plataforma de certificação de energia renovável com blockchain para evitar dupla contagem, com início do registro de certificados em janeiro de 2025. O sistema utiliza função hash criptográfica para gerar identificador exclusivo por lote, registrado em blockchain. (CCEE, 2024)

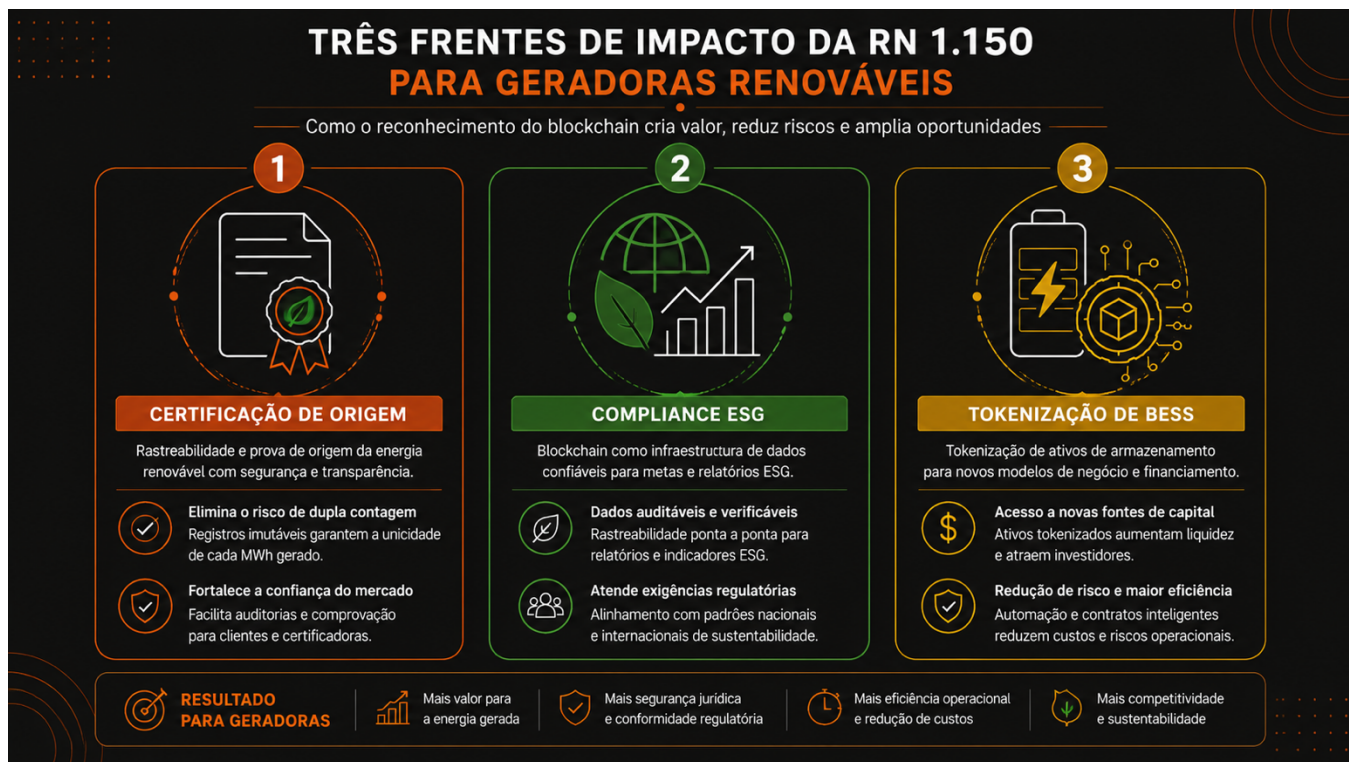


Figura 3. Três frentes estratégicas de impacto da RN 1.150/2026 para geradoras renováveis

Como funciona	Tensões e escolhas	Efeito executivo	Nível
Certificação de origem via blockchain: cada MWh gerado recebe registro imutável eliminando risco de dupla contagem (CCEE, 2024)	Integração com medidores e SCADA legados pode exigir adaptadores; custo varia por tipo de planta e fabricante do sistema SCADA	Reduz ciclo de emissão de I-REC de semanas para minutos; abre acesso a compradores ESG com exigência de rastreabilidade verificada	<b>OPORT.</b>
Compliance ESG via rastreabilidade blockchain: multinacionais com metas SBT exigem prova auditável de origem renovável	Sem certificação blockchain, geradora compete apenas por preço no mercado livre; com certificação, acessa segmento premium de compradores ESG	Diferença de preço entre contratos com e sem certificação verificada ainda em formação no Brasil [cenário provável]; tendência internacional aponta 5–15% de ágio	<b>ALTO</b>
Tokenização de BESS: ativo físico fracionado em tokens digitais permite captação junto a novos investidores sem dependência de crédito bancário	Tokens que representem valores mobiliários exigem registro CVM; Lei 14.478/2022 e Resolução CVM 88/2022 regulam o processo	CAPEX de BESS é 80% dolarizado (WTW, 2026); tokenização com investidores em BRL pode proteger o projeto de variações cambiais	<b>ALTO</b>
Dossiê de pré-autorização ANEEL para atividades inovadoras blockchain sob o rito da RN 1.133	Documentos sem evidência de TRL ou sem rastreabilidade estruturada serão devolvidos; recomeçar o prazo tem custo de meses	Contratar consultoria com experiência em dossiês ANEEL e em blockchain energético reduz significativamente o risco de devolução	<b>CRÍTICO</b>

## 1.4 A Janela Está Aberta — Por Quanto Tempo?

Marcos regulatórios abertos — quando o regulador reconhece a tecnologia, mas ainda não detalhou todos os parâmetros — são a condição mais favorável para pioneiros. A RN 1.150 está nesse estágio. A ANEEL abriu o espaço para blockchain sem fechar o design. Isso permite que os primeiros implementadores negociem diretamente com o regulador os termos de sua operação, influenciem os padrões técnicos que serão exigidos do mercado e estabeleçam barreiras competitivas baseadas em experiência operacional que concorrentes não terão.

Esse padrão se repetiu em outros mercados regulados. A Austrália abriu o sandbox para blockchain em energia em 2017; as empresas que implementaram entre 2017 e 2019 tornaram-se as referências técnicas que a regulação definitiva consolidou. A Espanha seguiu trajetória similar com a certificação de origem da Acciona via YEK-G. No Brasil, o sandbox regulatório da ANEEL já está em operação, e a RN 1.150 é o sinal de que o período de experimentação está evoluindo para o período de implementação estruturada.

A estimativa é que a ANEEL publique regulamentação complementar específica para blockchain em energia entre 2027 e 2028, quando os primeiros projetos já estarão em operação e poderão servir de base empírica para o marco definitivo [cenário provável]. A janela de menor atrito regulatório, portanto, é a de 2026 a 2027 — exatamente o momento presente.

***A janela regulatória não dura para sempre. Quem implementar blockchain agora define o padrão. Quem esperar adapta-se ao padrão que outros definiram.***

Como funciona	Tensões e escolhas	Efeito executivo	Nível
Marco regulatório aberto: ANEEL reconheceu blockchain, mas não fechou padrões técnicos — período de menor atrito para pioneiros	Ausência de padrão técnico definido exige que a geradora escolha arquitetura antes da consolidação — risco de incompatibilidade futura	Escolher plataformas com adoção internacional (Energy Web Chain, Hyperledger Fabric) reduz risco de incompatibilidade com marcos futuros	MÉDIO
Sandbox regulatório da ANEEL em operação: projetos inovadores podem ser testados com menor pressão regulatória antes do marco definitivo	Acesso ao sandbox exige processo formal de solicitação e avanço de projeto com mínima viabilidade técnica (MVP) já estruturado	Projetos no sandbox ganham acesso direto à interlocução com equipe técnica da ANEEL — vantagem regulatória que não tem preço	OPORT.

Como funciona	Tensões e escolhas	Efeito executivo	Nível
Agenda regulatória ANEEL 2025-2026: blockchain e digitalização estão na lista de temas estratégicos do biênio (ANEEL, Portaria 7.030, 2025)	A velocidade de novas publicações depende da dinâmica política da Diretoria e pode ser acelerada ou postergada por fatores externos	Monitorar a agenda regulatória da ANEEL mensalmente é obrigação estratégica para qualquer geradora com projeto blockchain em andamento	<b>ALTO</b>

## Conclusão do Capítulo

A RN 1.133 e a RN 1.150 não são duas normas isoladas. São dois movimentos complementares de um mesmo processo: a ANEEL decidiu que o setor elétrico brasileiro será digital, auditável e tecnologicamente avançado. A primeira norma define como os agentes regulados devem se relacionar com o regulador — com evidências estruturadas e rastreabilidade de ponta a ponta. A segunda define quais tecnologias podem sustentar os novos modelos de negócio — e blockchain está explicitamente nessa lista. Para geradoras de energia renovável, a conjunção das duas normas cria uma oportunidade concreta e com prazo. Concreta porque há respaldo regulatório. Com prazo porque a janela de menor atrito fecha quando o marco definitivo for publicado.

A decisão que a geradora precisa tomar não é sobre tecnologia. É sobre posição competitiva. Blockchain em energia não é mais uma aposta no futuro — é infraestrutura do presente, respaldada pelo regulador e exigida pelo mercado comprador de energia renovável certificada.

***A regulação já decidiu. O blockchain é tecnologia habilitadora no setor elétrico brasileiro. A questão agora é quem vai implementar — e quem vai esperar para ver.***

## Referências — Capítulo 1

- [1] AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA — ANEEL. Resolução Normativa nº 1.133, de 22 de setembro de 2025. Aprova a Norma de Organização nº 1, que regula o processo administrativo no âmbito da ANEEL. Brasília: ANEEL, 2025. Disponível em: <<https://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren20251133.pdf>>. Acesso em: maio 2026.
- [2] AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA — ANEEL. Resolução Normativa nº 1.150, de 27 de janeiro de 2026. Altera o art. 629 da Resolução Normativa nº 1.000, de 7 de dezembro de 2021, para incluir blockchain no rol de tecnologias habilitadoras. Brasília: ANEEL, 2026. Disponível em: <<https://leis.org/institucionais/br/aneel/lei/resolucao-normativa/2026/1150>>. Acesso em: maio 2026.
- [3] AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA — ANEEL. Portaria nº 7.030, de 2 de dezembro de 2025. Aprova a Agenda Regulatória da ANEEL para o biênio 2025-2026. Brasília: ANEEL, 2025. Disponível em: <<https://www2.aneel.gov.br/cedoc/prt20257030.pdf>>. Acesso em: maio 2026.
- [4] CÂMARA DE COMERCIALIZAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA — CCEE. CCEE lança plataforma de certificação de energia renovável com blockchain. São Paulo: CCEE, out. 2024. Disponível em: <<https://geocracia.com/ccee-lanca-plataforma-de-certificacao-de-energia-renovavel-com-blockchain/>>. Acesso em: maio 2026.
- [5] EIXOS. Decisão a favor do digital na Aneel: o que muda com a RN 1133/25. São Paulo: Eixos, fev. 2026. Disponível em: <<https://eixos.com.br/energia-eletrica/decisao-a-favor-do-digital-na-aneel-o-que-muda-com-a-rn-1-133-2025/>>. Acesso em: maio 2026.
- [6] FREITAS FERRAZ ADVOGADOS. Aneel: processo administrativo e mudanças aos agentes regulados. Capital Aberto, mar. 2026. Disponível em: <<https://legislacaoemercados.capitalaberto.com.br/processo-administrativo-da-aneel-o-que-muda-na-pratica-para-os-agentes-regulados/>>. Acesso em: maio 2026.
- [7] WTW — WILLIS TOWERS WATSON. O crescimento do mercado de armazenamento de energia com baterias no Brasil. São Paulo: WTW, fev. 2026. Disponível em: <<https://www.wtwco.com/pt-br/insights/2026/02/o-crescimento-do-mercado-de-armazenamento-de-energia-com-baterias-no-brasil>>. Acesso em: maio 2026.

## CAPÍTULO 2

# Certificado de Origem Renovável

I-REC, CCEE Origem e o mercado de certificação — o que a geradora precisa saber para não ficar de fora



Apenas 10% da energia renovável comercializada no Brasil gera certificado de origem (CCEE, 2024). Para uma matriz elétrica onde 89% da geração já é renovável (MME, 2026), esse número revela uma lacuna de mercado extraordinária — e um problema estrutural que o blockchain pode resolver. O Certificado de Origem Renovável, ou REC (Renewable Energy Certificate), é o instrumento que separa os atributos ambientais da energia física. Uma geradora eólica produz eletricidade e pode, simultaneamente, emitir um certificado que atesta a origem limpa daquela geração. O comprador de energia no mercado livre adquire esse certificado para reportar emissões de Escopo 2, cumprir metas ESG e responder a exigências de cadeias de fornecimento internacionais. O mercado existe, está crescendo e tem demanda real. O problema é que ele ainda opera com ineficiências informacionais que blockchain resolve com precisão — rastreabilidade imutável de ponta a ponta, eliminação do risco de dupla contagem e emissão automatizada de certificados via *smart contracts*.

## FUNDAMENTOS

## 2.1 O que é o Certificado de Origem e por que ele importa

O I-REC (*International Renewable Energy Certificate*) é um sistema global de rastreamento dos atributos ambientais da geração de energia renovável. Criado para permitir o registro confiável de energia produzida por fontes limpas, cada certificado corresponde a exatamente 1 MWh gerado — eólico, solar, hídrico ou biomassa. Uma vez emitido, o I-REC pode ser vendido separadamente da energia física, transferindo ao comprador o direito de reportar aquele megawatt-hora como de origem renovável em seus inventários de emissões (Instituto Totum, 2023).

No Brasil, o órgão emissor local é o Instituto Totum, representante do I-REC Standard no país desde 2011. A geradora que deseja emitir I-RECs precisa registrar seus empreendimentos no Instituto Totum, apresentar documentação técnica, passar por auditoria e demonstrar aderência a pelo menos cinco dos 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU para obter a chancela adicional REC Brazil (Instituto Totum, 2023). O processo é documentado, auditado e renovado a cada dois anos.

Em outubro de 2024, a CCEE lançou a Plataforma Brasileira de Certificação de Energia Renovável, que centraliza dados de todas as usinas geradoras e emissoras de certificações do país, com início efetivo do registro de certificados em janeiro de 2025 (CCEE, 2024). O objetivo central da plataforma é eliminar o risco de dupla contagem — o uso de um mesmo MWh para emitir mais de um certificado — que até então representava uma vulnerabilidade sistêmica do mercado brasileiro de RECs.

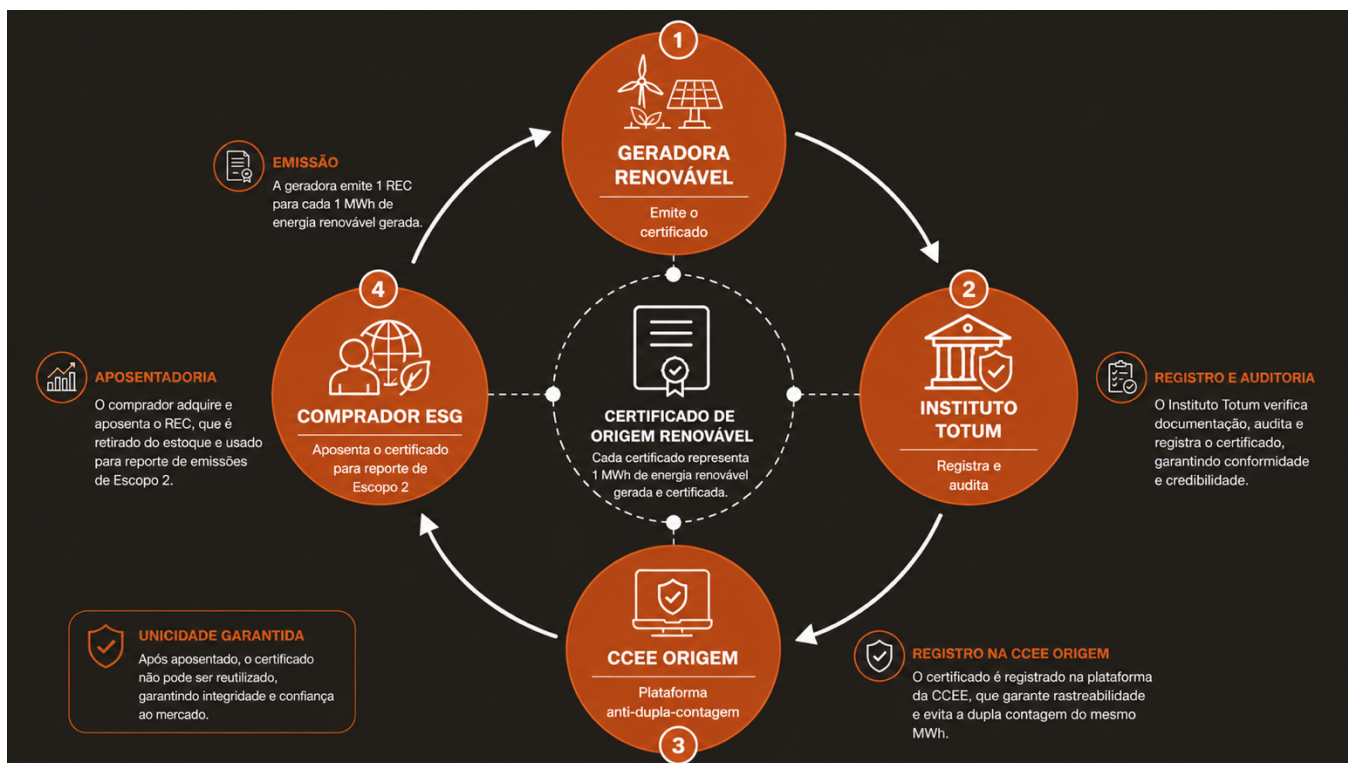


Figura 4. Ecossistema de Certificação de Origem Renovável no Brasil.

Como funciona	Tensões e escolhas	Efeito executivo (	Nível
Registro no Instituto Totum: geradora apresenta documentação técnica, passa por auditoria e demonstra aderência a 5 dos 17 ODS da ONU (Instituto Totum, 2023)	Processo documental exige equipe técnica dedicada; tempo médio de aprovação varia de 30 a 90 dias dependendo do porte e da completude dos documentos	Sem registro, a geradora não pode emitir I-RECs e perde a receita adicional de R\$ 2–4 por MWh certificado — valor pequeno unitariamente, mas relevante em escala	<b>ALTO</b>
Plataforma CCEE Origem: registro centralizado de todos os certificados emitidos no país	Adesão à plataforma é voluntária no estágio atual; compradores sofisticados já	Geradoras que não aderirem à CCEE Origem perderão	<b>ALTO</b>

Como funciona	Tensões e escolhas	Efeito executivo (	Nível
para eliminar risco de dupla contagem (CCEE, 2024)	começam a exigir certificados registrados na CCEE para garantir unicidade	acesso aos compradores ESG mais exigentes nos próximos 12 a 24 meses [cenário provável]	
Certificado I-REC vs. CCEE Origem: dois sistemas coexistentes com reconhecimento complementar — o I-REC tem validade internacional, o CCEE Origem tem rastreabilidade local	A coexistência de dois sistemas cria custo adicional para geradoras que precisam operar nos dois ambientes; há risco de fragmentação do mercado	Estratégia recomendada: emitir I-REC com chancela REC Brazil e registrar na plataforma CCEE Origem — maximiza o alcance do certificado no mercado local e internacional	MÉDIO
Aposentadoria do certificado: após a venda, o REC é 'aposentado' e retirado do estoque, impedindo reutilização — garantia fundamental de unicidade	Se o processo de aposentadoria não for imediato e rastreável, há janela de vulnerabilidade para uso indevido do certificado antes da baixa no sistema	Blockchain resolve essa janela: o registro imutável e a aposentadoria automática via <i>smart contract</i> eliminam a vulnerabilidade de forma auditável	OPORT.

DEMANDA DE MERCADO

## 2.2 Quem Compra e Por Que — A Demanda ESG que Cresce Mais Rápido que a Oferta

O mercado de I-RECs no Brasil saiu de 2 milhões de certificados transacionados em 2019 para 9,2 milhões em 2021 — crescimento de 268% em dois anos — com projeção de atingir 45 a 50 milhões em 2023 (Instituto Totum, 2023). Esse crescimento não é especulativo. É a resposta direta ao avanço das obrigações de reporte de emissões corporativas, especialmente o Escopo 2, que contabiliza as emissões indiretas resultantes do consumo de energia elétrica da rede.

Desde 2018, os I-RECs são aceitos no reporte de emissões de Escopo 2 pelo Programa Brasileiro GHG Protocol, referência internacional em contabilidade de carbono (Instituto Totum, 2023). Isso significa que multinacionais com metas Science Based Targets (SBT) ou compromissos de neutralidade de carbono precisam comprovar que a energia consumida vem de fontes renováveis — e o I-REC é o instrumento padronizado internacionalmente para essa comprovação. A Petrobras, por exemplo, adquiriu I-RECs de AES Brasil, Cemig e Eletrobras/Furnas para certificar 100% de sua energia elétrica de terceiros como renovável, em alinhamento com suas metas de descarbonização 2024–2028 (Petrobras, 2024).

**SINAL DE MERCADO — DEMANDA CORPORATIVA EM ACELERAÇÃO**

"Antigamente, várias empresas me procuravam para explicar o que é certificado de energia renovável, e no último ano, raramente isso aconteceu. Hoje temos mais de 60 empresas que vendem I-RECs, o mercado está crescendo." (Fernando Lopes, presidente do Instituto Totum, Reuters, 2023). A sofisticação dos compradores cresce mais rápido do que a base de geradoras certificadas — criando um desequilíbrio favorável para quem entra agora.

O perfil dos compradores está evoluindo. As primeiras ondas eram dominadas por multinacionais com obrigações de reporte em sede europeia ou americana. A onda atual inclui empresas brasileiras com metas voluntárias de carbono, cadeias de fornecimento de exportação — especialmente agronegócio e manufatura — e, crescentemente, operadores de data centers que precisam comprovar o uso de energia renovável para atender a políticas de sustentabilidade de seus clientes hyperscaler.

Para a geradora, a implicação é direta: o certificado de origem deixa de ser um nicho e torna-se um requisito comercial para acessar segmentos premium do mercado livre. Geradoras certificadas competem em duas dimensões — preço e sustentabilidade. Geradoras não certificadas competem apenas por preço.

Como funciona	Tensões e escolhas	Efeito executivo	Nível
Reporte de Escopo 2 via I-REC: empresas com metas SBT ou GHG Protocol precisam comprovar origem renovável da energia consumida (GHG Protocol, 2018)	A demanda por I-RECs varia com o ciclo de auditoria das empresas compradoras — picos em Q4 para fechamento de relatório anual de sustentabilidade	Geradoras que planejam a emissão de certificados alinhada ao ciclo de demanda dos compradores capturam ágio de sazonalidade [cenário provável]	<b>OPORT.</b>
Mercado de carbono regulado: quando o mercado regulado de carbono for implementado no Brasil, empresas sujeitas a cotas precisarão comprovar origem da energia — impulsionando demanda estrutural por RECs	A implementação do mercado regulado de carbono brasileiro está em tramitação legislativa; incerteza de prazo afeta o planejamento de longo prazo das geradoras	Posicionar-se agora, antes do mercado regulado, garante histórico de certificação e base de clientes que terão necessidade compulsória de RECs	<b>OPORT.</b>
Compradores de data centers: hyperscalers (Microsoft, Google, Amazon, Meta) exigem energia 100% renovável certificada de seus fornecedores locais	Exigências técnicas dos hyperscalers (certificação horária, matching de geração e consumo) vão além do I-REC padrão — exigem granularidade que blockchain viabiliza	Geradora que estruturar certificação com rastreabilidade horária via blockchain estará habilitada a contratar diretamente com hyperscalers instalando data centers no Brasil	<b>ALTO</b>
Ágio do certificado: tendência internacional aponta 5–15% de diferença de preço entre contratos com e sem certificação verificada	No Brasil, o ágio ainda está em formação; compradores mais sofisticados já pagam prêmio, mas mercado de massa ainda decide majoritariamente por preço	Janela de 12 a 24 meses para capturar posição de mercado antes que a certificação se torne commodity e o ágio se comprima [cenário provável]	<b>ALTO</b>

## O PROBLEMA ESTRUTURAL

## 2.3 Por que o Mercado de RECs ainda não Funciona Bem — e o que Blockchain Resolve

Se a demanda por certificados cresce e a oferta de energia renovável é abundante — o Brasil gerou 704 mil GWh em 2025, com 89% de origem renovável (MME, 2026) —, por que apenas 10% dessa energia é certificada? A resposta está em quatro ineficiências estruturais que bloqueiam a escalabilidade do mercado de RECs no Brasil.

A primeira é a ausência de registro central até outubro de 2024. Sem a plataforma CCEE Origem, os certificados eram rastreados de forma descentralizada e manual, abrindo caminho para inconsistências e risco de dupla contagem. A segunda é o custo e a complexidade do processo de certificação: auditorias documentais, renovações bienais e a necessidade de demonstrar aderência a ODS criam barreiras de entrada que desincentivam geradoras menores. A terceira é a latência do ciclo de emissão: o processo tradicional de emissão de I-RECs leva semanas — tempo incompatível com a granularidade exigida pelos compradores mais sofisticados, que querem matching horário de geração e consumo. A quarta é a fragmentação dos sistemas: dados de geração no SCADA, dados de medição na CCEE, dados de certificação no Instituto Totum — três fontes que não se comunicam automaticamente.

### COMO BLOCKCHAIN RESOLVE CADA INEFICIÊNCIA

Registro central → blockchain cria ledger único imutável, auditável por todos os participantes sem depender de intermediário central. Custo de certificação → smart contracts automatizam a emissão, eliminando etapas manuais. Latência → registro em tempo real por MWh gerado, compatível com matching horário. Fragmentação → integração com IoT e medidores inteligentes alimenta o ledger automaticamente desde a geração.



Figura 5. Ciclo de emissão de certificados REC: processo tradicional versus arquitetura baseada em blockchain.

Como funciona	Tensões e escolhas	Efeito executivo	Nível
Dupla contagem: sem blockchain, o mesmo MWh pode ser usado para emitir mais de um certificado — risco de <i>greenwashing</i> sistêmico (CCEE, 2024)	A plataforma CCEE Origem mitiga o problema no nível da certificação, mas não resolve a fragmentação dos dados na ponta da geração	Blockchain integrado ao medidor da usina elimina a dupla contagem na origem — cada MWh gera exatamente um token de certificado imutável	<b>CRÍTICO</b>
Latência de emissão: processo tradicional leva semanas; compradores que exigem matching horário (granularidade 24/7) não são atendidos pelo sistema atual	Matching horário é exigência crescente dos hyperscalers e mercados europeus (EU <i>Energy Attribute Certificates</i> ); Brasil ainda não tem padrão definido	Geradora com capacidade de emissão horária via blockchain posiciona-se para contratos premium antes da regulação exigir o padrão	<b>ALTO</b>
Fragmentação de sistemas: dados de geração (SCADA), medição (CCEE) e certificação (Instituto Totum) em silos independentes sem integração automática	Integrar os três sistemas exige desenvolvimento de adaptadores e APIs; custo varia conforme a plataforma SCADA instalada na usina	nMentors mapeia a arquitetura de integração SCADA–blockchain–CCEE como parte do diagnóstico técnico inicial — evita projetos subdimensionados	<b>ALTO</b>
Smart contracts para automação: cada MWh registrado no medidor dispara automaticamente a emissão do certificado correspondente na blockchain	Smart contracts precisam ser auditados por terceiro antes do go-live; bug em contrato imutável pode travar a emissão ou gerar certificados incorretos	Auditoria de smart contract é item de escopo obrigatório — custo estimado de R\$ 30–80 mil por contrato [cenário provável], mas elimina risco operacional permanente	<b>MÉDIO</b>

ESTRATÉGIA PARA GERADORAS

## 2.4 O Que a Geradora Deve Fazer — e em Que Ordem

A decisão de implementar blockchain para certificação de origem não começa pelo blockchain. Começa pela leitura do estado atual da geradora em relação ao mercado de RECs. Há três perguntas que determinam a estratégia:

Primeira: a geradora já está registrada no Instituto Totum e emite I-RECs? Se não, esse é o ponto de partida — blockchain potencializa um processo que precisa existir antes. Segunda: a geradora adere à plataforma CCEE Origem? Se não, esse é o segundo passo — o mercado de compradores exigentes está migrando para esse padrão. Terceira: o sistema de medição da usina gera dados com granularidade suficiente para integração com blockchain? Se não, há um investimento em infraestrutura de sensoriamento a ser planejado.

Somente após essas três condições estarem estruturadas é que a camada blockchain agrega valor máximo: automatizando a emissão, eliminando a latência, garantindo rastreabilidade imutável e habilitando o acesso a compradores premium que exigem certificação de alta granularidade. A sequência importa porque errar a ordem cria projetos caros sem retorno — e projetos caros sem retorno são o principal argumento que os concorrentes não-digitais usam para convencer geradoras de que blockchain é hype.

**Blockchain não substitui a certificação. Ele a torna mais rápida, mais confiável e mais valiosa — mas apenas quando a base regulatória já está estruturada.**

Como funciona	Tensões e escolhas	Efeito executivo	Nível
Etapa 1 — Registro no Instituto Totum: documentação técnica da usina, auditoria ODS, contrato com emissor local (Instituto Totum, 2023)	Geradoras com menos de 3 anos de operação podem não ter histórico documental suficiente para o processo de auditoria na primeira tentativa	Prazo médio: 30–90 dias com documentação completa; custo estimado: R\$ 15–40 mil dependendo do porte da usina [cenário provável]	<b>ALTO</b>
Etapa 2 — Adesão à plataforma CCEE Origem: registro dos empreendimentos na plataforma centralizada para garantia de unicidade dos certificados (CCEE, 2024)	A plataforma ainda está em fase de expansão de adesão; nem todos os emissores locais estão integrados, o que pode criar inconsistências temporárias	Adesão antecipada posiciona a geradora como referência de conformidade junto aos compradores — vantagem de	<b>OPORT.</b>

Como funciona	Tensões e escolhas	Efeito executivo	Nível
		credibilidade de curto prazo	
Etapa 3 — Diagnóstico de infraestrutura: mapeamento do sistema SCADA, medidores e capacidade de geração de dados em tempo real	Usinas com sistemas SCADA legados (mais de 10 anos) podem exigir substituição de equipamentos para viabilizar integração com blockchain	Investimento em modernização de medidores pode ser amortizado pela receita adicional de RECs em 18–36 meses dependendo do porte da usina [cenário provável]	MÉDIO
Etapa 4 — Implementação blockchain: integração SCADA–IoT–blockchain–CCEE, smart contracts de emissão automática, auditoria do contrato e go-live	Prazo de implementação: 3–6 meses para usina com infraestrutura preparada; 6–12 meses para usinas que precisam modernizar sensoriamento [cenário provável]	ROI positivo estimado em 12–24 meses para usinas acima de 10 MW de capacidade instalada, considerando receita de REC + redução de custo operacional de certificação [cenário provável]	ALTO

## Conclusão do Capítulo

O mercado de certificação de origem renovável no Brasil está em transição acelerada. A plataforma CCEE Origem, lançada em outubro de 2024, estabeleceu a infraestrutura centralizada que faltava. A RN 1.150 deu o respaldo regulatório para blockchain como tecnologia habilitadora. A demanda corporativa por RECs cresce em ritmo que a oferta certificada ainda não acompanha. O resultado é uma janela de mercado — geradoras que estruturarem sua capacidade de certificação com blockchain nos próximos 12 a 18 meses estarão posicionadas para acessar compradores premium antes que o mercado se massifique e o ágio se comprima.

O risco de não agir não é abstrato. É calculável: cada MWh gerado sem certificado é uma receita adicional de R\$ 2 a R\$ 4 que não foi capturada. Para uma usina eólica de 50 MW com fator de capacidade de 40%, isso representa aproximadamente 175 mil MWh por ano — e R\$ 350 mil a R\$ 700 mil de receita de REC que ficou na mesa. Multiplicado por uma vida útil de projeto de 20 anos, o impacto é de R\$ 7 a R\$ 14 milhões em receita incremental não capturada [cenário provável, considerando preços constantes].

**Cada MWh gerado sem certificado é uma receita perdida. Cada mês sem certificação é posição de mercado cedida a quem agiu antes.**

## Referências — Capítulo 2

- [1] CÂMARA DE COMERCIALIZAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA — CCEE. CCEE lança plataforma brasileira para a certificação de energia renovável. São Paulo: CCEE, out. 2024. Disponível em: <<https://www.ccee.org.br/en/web/guest/-/ccee-lanca-plataforma-brasileira-para-a-certificacao-de-energia-renovavel>>. Acesso em: maio 2026.
- [2] CÂMARA DE COMERCIALIZAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA — CCEE. Certificações de energia. São Paulo: CCEE, 2025. Disponível em: <[https://www.ccee.org.br/en/mercado/certificacoes\\_de\\_energia](https://www.ccee.org.br/en/mercado/certificacoes_de_energia)>. Acesso em: maio 2026.
- [3] INSTITUTO TOTUM. I-REC Brasil: regras, critérios e mercado de certificados de energia renovável. São Paulo: Instituto Totum, 2023. Disponível em: <<https://www.institutototum.com.br>>. Acesso em: maio 2026.
- [4] JORNAL DE BRASÍLIA. CCEE lança plataforma para abrigar certificados de energia limpa e evitar greenwashing. Brasília: Jornal de Brasília, out. 2024. Disponível em: <<https://jornaldebrasil.com.br/noticias/economia/ccee-lanca-plataforma>>. Acesso em: maio 2026.
- [5] MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA — MME. Boletim de Monitoramento do Sistema Elétrico Brasileiro — Edição Especial 2025. Brasília: MME, jan. 2026. Disponível em: <<https://cenarioenergia.com.br/2026/05/12/brasil-fecha-2025-com-matriz-eletrica>>. Acesso em: maio 2026.
- [6] PETROBRAS. Petrobras adquire certificados internacionais que garantem origem 100% renovável da energia elétrica usada em suas operações. Rio de Janeiro: Petrobras, mar. 2024. Disponível em: <<https://agencia.petrobras.com.br/w/sustentabilidade/petrobras-adquire-certificados-internacionais>>. Acesso em: maio 2026.
- [7] REUTERS / INFOMONEY. Negociação de certificados de energia renovável no Brasil deve dobrar em 2023, diz instituto. São Paulo: InfoMoney, mar. 2023. Disponível em: <<https://www.infomoney.com.br/negocios/negociacao-de-certificados-de-energia-renovavel>>. Acesso em: maio 2026.

## CAPÍTULO 3

# Blockchain como Infraestrutura de Rastreabilidade

Como a tecnologia funciona, por que blockchain permissionada é a escolha certa para energia e como smart contracts automatizam a certificação

**54.000×****MENOS ENERGIA — POA VS. POW**

Blockchain permissionada com Proof of Authority consome 54.000 vezes menos energia que Bitcoin (Energy Web, 2021)

**350×****MENOR CUSTO DE REDE**

Custo de transação em blockchain permissionada vs. blockchain pública minerada (Energy Web, 2021)

**63%****EMPRESAS COM RELATÓRIO ESG**

Mas apenas 29% têm dados auditados externamente — lacuna que blockchain resolve (ESG Disclosure Yearbook Brasil, 2024)

**< 1s****LATÊNCIA DE TRANSAÇÃO**

Tempo médio de confirmação em Hyperledger Fabric em ambiente corporativo (Androulaki et al., 2018)

Blockchain costuma ser definido pelo que não é: não é Bitcoin, não é especulação e não é descentralização ideológica. Para o executivo de uma geradora de energia, porém, isso não basta. O ponto central é o que blockchain representa, na prática, para o setor elétrico: uma infraestrutura de registros imutáveis e verificáveis que reduz a dependência de intermediários para comprovar a geração, a origem e a transferência de energia. Cada MWh gerado por uma usina eólica, solar ou de biomassa é um evento físico. Hoje, provar esse evento para certificação, auditoria regulatória ou reporte ESG exige documentos, validações e auditorias que consomem tempo e recursos. Blockchain não muda o fato físico, mas o registra de forma que nenhuma parte possa alterá-lo ou contestá-lo sem evidência. Para as geradoras, isso transforma o compliance de custo administrativo em ativo operacional.

## FUNDAMENTOS TÉCNICOS

## 3.1 Como Blockchain Funciona — O Que a Geradora Precisa Saber

Uma blockchain é um ledger — um livro-razão digital — distribuído entre múltiplos participantes de uma rede. Cada entrada nesse ledger é agrupada em um bloco de transações. Cada bloco contém um identificador criptográfico (hash) do bloco anterior, formando uma cadeia em que qualquer alteração retroativa invalida todos os blocos subsequentes — tornando a adulteração computacionalmente inviável (Androulaki et al., 2018). O resultado prático é um

registro que qualquer participante autorizado pode verificar, mas que nenhum pode alterar unilateralmente.

Para o setor de energia, os elementos fundamentais são três. O primeiro é o ledger distribuído: o registro de geração de cada usina é compartilhado entre a geradora, o operador de rede, o emissor de certificados e o comprador, eliminando a necessidade de reconciliação manual entre sistemas diferentes. O segundo é o hash criptográfico: cada lote de MWh registrado recebe um identificador único e imutável — o mesmo mecanismo que a CCEE já utiliza em sua Plataforma de Certificação (CCEE, 2024). O terceiro é o smart contract: um programa que executa automaticamente quando condições predefinidas são atendidas — por exemplo, emitir um certificado I-REC quando o medidor registra 1 MWh de geração renovável verificada.

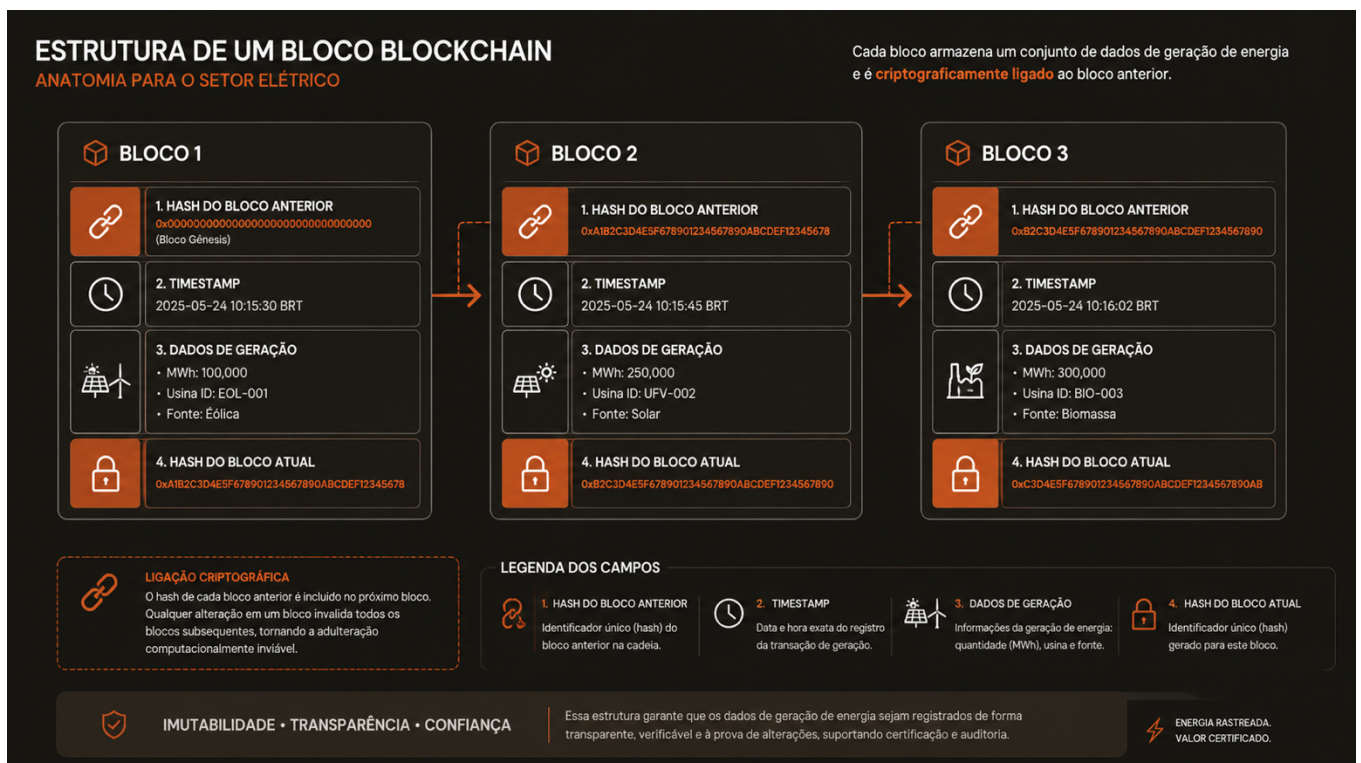


Figura 6. Anatomia de um bloco blockchain aplicado ao setor elétrico.

Como funciona	Tensões e escolhas	Efeito executivo	Nível
Ledger distribuído: registro compartilhado entre todos os participantes autorizados — geradora, CCEE, comprador — sem servidor central único (Androulaki et al., 2018)	Adicionar novos participantes ao ledger requer governança clara: quem aprova novos nós? Como são gerenciadas as permissões de leitura e escrita?	Elimina reconciliação manual entre sistemas da geradora, CCEE e Instituto Totum — reduz custo operacional de certificação estimado em 40–60% [cenário provável]	<b>OPORT.</b>
Hash criptográfico: identificador único imutável por lote de geração — qualquer alteração retroativa invalida toda a cadeia subsequente	A segurança depende da integridade dos dados na entrada: se o medidor físico for adulterado antes do registro, o blockchain registra o dado	Integração com medidores certificados e com telemetria IoT é pré-requisito para garantir que os dados na cadeia reflitam a	<b>ALTO</b>

Como funciona	Tensões e escolhas	Efeito executivo	Nível
	errado com a mesma imutabilidade	realidade física da usina	
Smart contract: programa autoexecutável que emite o certificado automaticamente quando o medidor registra 1 MWh de geração verificada	Smart contracts são imutáveis após implantação — erros de lógica no código não podem ser corrigidos sem <i>deploy</i> de um novo contrato e migração de dados	Auditoria de código por terceiro especializado antes do go-live é obrigatória; custo estimado R\$ 30–80 mil por contrato [cenário provável], com validade permanente	<b>CRÍTICO</b>
Imutabilidade do registro: nenhum participante, nem mesmo o administrador da rede, pode alterar um registro já confirmado na cadeia	LGPD exige direito ao esquecimento para dados pessoais — dado imutável em blockchain cria tensão com essa exigência legal	Para dados de geração de energia (não dados pessoais), a imutabilidade é plenamente compatível com LGPD; dados de identidade de pessoas devem ficar fora do ledger	<b>MÉDIO</b>

ESCOLHA TECNOLÓGICA

### 3.2 Blockchain Pública vs. Permissionada — Por que o Setor Elétrico Escolhe Permissionada

Existe uma divisão fundamental no universo blockchain que determina a viabilidade de qualquer projeto no setor de energia: a diferença entre blockchains públicas e permissionadas. Bitcoin e Ethereum são blockchains públicas — qualquer pessoa pode participar, as transações são visíveis para todos e o consenso é alcançado por mineradores anônimos distribuídos pelo mundo. Esse modelo tem propriedades valiosas em contextos de máxima descentralização, mas apresenta três incompatibilidades críticas com o setor regulado de energia.

Primeiro, o consumo energético: a mineração de Bitcoin usa *Proof of Work* (PoW), um mecanismo de consenso que exige gasto computacional intenso — incompatível com uma infraestrutura que se propõe a certificar energia limpa. Segundo a privacidade: em uma blockchain pública, qualquer pessoa pode ver todas as transações — o volume de geração de uma usina, seus contratos e seus compradores seriam dados públicos. Terceiro, a governança: em redes públicas, as regras são definidas por mineradores e detentores de tokens, não por reguladores — o que cria risco de incompatibilidade com as exigências da ANEEL.

As blockchains permissionadas — como Hyperledger Fabric, Energy Web Chain e R3 Corda — resolvem essas três incompatibilidades. Apenas participantes autorizados e identificados podem ler e escrever no ledger. O consenso é alcançado por mecanismos como *Proof of Authority* (PoA) ou PBFT, que não requerem mineração. E a governança é definida pelo consórcio de

participantes — neste caso, geradoras, CCEE, operadores de rede e reguladores (Hyperledger Foundation, 2018; Energy Web, 2021).

**⚡ VANTAGEM QUANTIFICADA — BLOCKCHAIN PERMISSIONADA NO SETOR ELÉTRICO**

A Energy Web Chain, desenvolvida especificamente para o setor elétrico, utiliza Proof of Authority e apresenta 54.000 vezes menos consumo de energia e 350 vezes menos custo de rede em comparação com blockchains públicas baseadas em Proof of Work. Validadores são organizações identificadas do setor — utilities, operadores de sistema, reguladores — e não mineradores anônimos, o que viabiliza conformidade com GDPR, LGPD e regulações setoriais. (Energy Web Foundation, 2021)

BLOCKCHAIN PÚBLICA VS. PERMISSIONADA COMPARATIVO PARA O SETOR ELÉTRICO		
	BLOCKCHAIN PÚBLICA (Bitcoin / Ethereum)	BLOCKCHAIN PERMISSIONADA (Hyperledger / Energy Web)
QUEM PARTICIPA	<b>Aberta e sem permissão</b> Qualquer pessoa pode participar, criar transações e validar blocos.	<b>Rede restrita e autorizada</b> Apenas organizações verificadas e aprovadas participam da rede.
VISIBILIDADE DAS TRANSAÇÕES	<b>Totalmente pública</b> Todas as transações são visíveis para qualquer pessoa na rede.	<b>Privacidade configurável</b> Transações visíveis apenas para participantes autorizados, conforme necessidade.
CONSUMO ENERGÉTICO	<b>Muito alto</b> Proof of Work consome alta quantidade de energia (ex.: Bitcoin).	<b>Muito baixo</b> Mecanismos eficientes (ex.: Proof of Authority) reduzem o consumo em até 54.000 vezes <sup>1</sup> .
MECANISMO DE CONSENSO	<b>Proof of Work / Proof of Stake</b> Exige grande poder computacional ou staking financeiro; menor eficiência.	<b>Proof of Authority / BFT</b> Baseado em identidade e reputação dos nós; rápido, eficiente e adequado ao setor elétrico.
COMPATIBILIDADE REGULATÓRIA	<b>Baixa</b> Dificuldade para atender LGPD, governança corporativa e exigências regulatórias locais.	<b>Alta</b> Projetada para atender LGPD, auditoria, governança e requisitos regulatórios do setor elétrico.
VELOCIDADE DE TRANSAÇÃO	<b>Baixa</b> Confirmações lentas (minutos a horas) e baixa escalabilidade.	<b>Alta</b> Confirmações em < 1 segundo <sup>2</sup> e alta escalabilidade para aplicações corporativas.

Para o setor elétrico, blockchain permissionada oferece o equilíbrio ideal entre **segurança, desempenho, eficiência e conformidade regulatória.**

<sup>1</sup> Energy Web, 2021 – Blockchain permissionada (PoA) consome até 54.000 vezes menos energia que Bitcoin (PoW).  
<sup>2</sup> Androulaki et al., 2018 – Hyperledger Fabric alcança confirmação em < 1 segundo em ambiente corporativo.

Figura 7. Comparativo entre blockchain pública e blockchain permissionada no setor elétrico.

Como funciona	Tensões e escolhas	Efeito executivo	Nível
Energy Web Chain: blockchain pública específica para o setor elétrico, com validadores identificados (utilities, TSOs, reguladores) e PoA como mecanismo de consenso (Energy Web, 2021)	Sendo pública, qualquer desenvolvedor pode implantar aplicações — risco de coexistência com aplicações de baixa qualidade ou maliciosas no mesmo ambiente	Recomendada para certificação de RECs com reconhecimento internacional; mais de 100 organizações do setor já são validadoras, incluindo Shell, Siemens e operadores europeus	<b>OPORT.</b>
Hyperledger Fabric: blockchain permissionada privada de consórcio, com canais para privacidade granular entre subgrupos de participantes (Androulaki et al., 2018)	Requer infraestrutura própria de nós validadores — custo de implantação e manutenção maior que soluções SaaS baseadas em blockchain pública	Recomendada para redes internas (geradora + CCEE + compradores específicos) onde privacidade contratual é crítica; amplamente	<b>ALTO</b>

Como funciona	Tensões e escolhas	Efeito executivo	Nível
		usado por IBM, State Street e bancos globais	
CPQD Trace: solução brasileira de rastreabilidade baseada em blockchain com integração IoT via plataforma Dojot — ideal para plantas com sensoriamento existente (CPQD, 2022)	Solução proprietária — dependência de roadmap do fornecedor; verificar compatibilidade com padrões internacionais de certificação (I-REC Standard)	Vantagem estratégica: suporte EMBRAPPII pode viabilizar recursos não-reembolsáveis para projeto de implementação; reduz custo de capital inicial do projeto	<b>ALTO</b>
R3 Corda: blockchain permissionada focada em contratos financeiros — relevante para tokenização de BESS e ativos energéticos com componente financeiro (R3, 2016)	Menor adoção no setor de certificação de energia renovável; ecossistema principal é financeiro (bancos, seguradoras) — integração com plataformas energéticas requer desenvolvimento adicional	Avaliar Corda apenas para casos com forte componente financeiro (tokenização, financiamento estruturado); para certificação pura, Energy Web Chain ou Hyperledger são mais adequadas	<b>MÉDIO</b>

SMART CONTRACTS NA PRÁTICA

### 3.3 Smart Contracts — Da Teoria ao Processo de Certificação

*Smart contracts* são programas armazenados na blockchain que executam automaticamente quando condições predefinidas são atendidas — sem necessidade de intervenção humana, sem possibilidade de recusa e sem dependência de um intermediário para executar os termos (Hyperledger Foundation, 2018). Para o processo de certificação de energia renovável, isso transforma o fluxo operacional de forma concreta.

No modelo tradicional, a emissão de um I-REC exige: (1) a geradora consolida os dados de geração do mês, (2) envia relatório ao Instituto Totum, (3) o Totum valida e solicita evidências, (4) a geradora responde, (5) o Totum emite o certificado, (6) o certificado é registrado manualmente no sistema CCEE Origem. Esse ciclo leva de duas a oito semanas e gera custo operacional proporcional ao volume de transações. Com smart contracts, os passos 1 a 6 são substituídos por um único evento: o medidor IoT da usina registra 1 MWh verificado → o smart contract executa → o certificado é emitido e registrado na cadeia em segundos.

O mecanismo funciona por meio de oráculos — componentes que conectam dados do mundo físico (leituras de medidores, telemetria SCADA) ao ambiente blockchain. Um oráculo confiável é um pré-requisito técnico crítico: se o dado que entra no sistema for incorreto, o smart contract executará com precisão sobre um dado errado. Por isso, a certificação de medidores e a integridade da telemetria são tão importantes quanto a qualidade do código do smart contract em si (iCoLab, 2025).

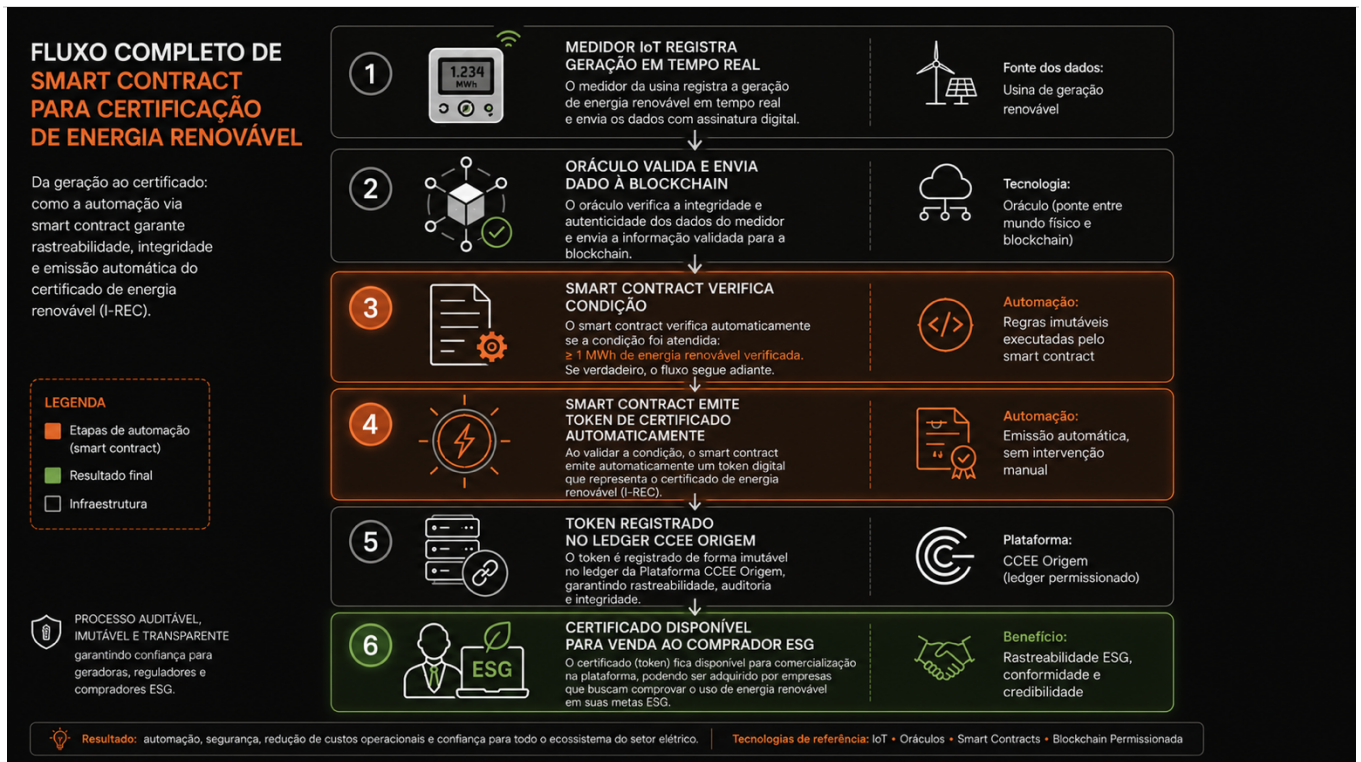


Figura 8. Fluxo automatizado de certificação de energia renovável via smart contracts.

**DADO DE CAMPO — AUTOMAÇÃO JÁ EM PRODUÇÃO**

Sensores IoT conectados a contratos inteligentes já automatizam auditorias ambientais em projetos industriais, registrando emissões, consumo de água e eficiência de transporte em tempo real. No setor de energia, a Power Ledger (Austrália) processou mais de 1,2 milhão de RECs em janeiro de 2025 usando automação via smart contracts, com ciclo de emissão de 30 minutos e redução de custos administrativos de até 72%. (Bahia Econômica, 2025; Power Ledger, 2025)

Como funciona	Tensões e escolhas	Efeito executivo	Nível
Oráculo de medição: componente que conecta o medidor físico da usina ao ambiente blockchain — converte leitura analógica/digital em dado verificável <i>on-chain</i>	Oráculo é o ponto de maior vulnerabilidade do sistema: dado adulterado antes do oráculo entra na cadeia com total imutabilidade — não pode ser corrigido	Medidores devem ser certificados pelo INMETRO e integrados via protocolo padrão (IEC 61968 ou similar); custo de certificação é parte do escopo de implantação	<b>CRÍTICO</b>
Smart contract de emissão: lógica que verifica a condição (≥1 MWh de fonte renovável verificada) e executa a emissão automática do token de certificado	Contrato imutável após deploy — erro de lógica (ex.: emitir 2 tokens por MWh) requer novo contrato e processo de invalidação dos tokens incorretos	Auditoria de código por empresa especializada antes do go-live é obrigatória e deve incluir teste de stress com volumes de pico de geração	<b>CRÍTICO</b>
Smart contract de aposentadoria: executa automaticamente a baixa do certificado quando o comprador confirma o uso, impedindo reutilização em qualquer parte da rede	Integração com sistemas do comprador (plataforma ESG, GHG Protocol) é necessária para que a aposentadoria seja acionada no momento correto do ciclo de reporte	Aposentadoria automática é o diferencial técnico mais valorizado pelos compradores ESG sofisticados — argumento de venda	<b>OPORT.</b>

Como funciona	Tensões e escolhas	Efeito executivo	Nível
		direto para contratos premium	
Interoperabilidade com CCEE Origem: os tokens emitidos na blockchain precisam ser reconhecidos e registrados na plataforma oficial da CCEE para ter validade regulatória	A CCEE Origem ainda não possui API pública para integração direta com blockchains externas — integração requer adaptador e aprovação pela CCEE [cenário provável]	Contratar com fornecedor que já tenha roadmap de integração com CCEE reduz risco técnico e tempo de go-live em pelo menos 3 meses [cenário provável]	<b>ALTO</b>

ARQUITETURA DE INTEGRAÇÃO

### 3.4 A Stack Técnica — Do Medidor ao Certificado

Para uma geradora de energia renovável, a implementação blockchain não é um projeto isolado de TI. É uma integração entre camadas tecnológicas que já existem na usina — SCADA, medidores, telemetria — e uma nova camada digital que adiciona rastreabilidade imutável sobre esses dados. Compreender essa stack é essencial para dimensionar o projeto corretamente e evitar que escopo mal definido resulte em custo excessivo ou entrega insuficiente.

A *stack* técnica de uma solução blockchain para certificação de energia renovável tem cinco camadas. A primeira é a camada física: os medidores de energia certificados e os sensores IoT que capturam a geração em tempo real. A segunda é a camada de conectividade: os protocolos que transmitem os dados dos medidores para o sistema de gestão — IEC 61968, Modbus, MQTT ou protocolos proprietários do fabricante do SCADA. A terceira é a camada de integração: o middleware que traduz os dados do SCADA para o formato esperado pelo oráculo blockchain — esta é frequentemente a camada mais complexa e cara do projeto. A quarta é a camada blockchain: o ledger distribuído, os smart contracts e o mecanismo de consenso. A quinta é a camada de aplicação: a interface para emissão, transferência e aposentadoria de certificados, integrada com a plataforma CCEE Origem e com os sistemas de reporte ESG dos compradores.

**REGRA PRÁTICA — ONDE OS PROJETOS FALHAM**

A maioria dos projetos blockchain em energia fracassa não na camada blockchain, mas na camada de integração (camada 3). SCADA de fabricantes diferentes usam protocolos proprietários. Medidores legados não geram dados com granularidade horária. APIs da CCEE têm especificações que mudam. O diagnóstico de integração — antes de qualquer linha de código blockchain — é o investimento de menor custo e maior retorno do projeto.

Como funciona	Tensões e escolhas	Efeito executivo	Nível
Camada 1 — Medidores certificados: leitura de geração por intervalo (15 min ou horário) com precisão certificada pelo INMETRO e telemetria em tempo real	Usinas com medidores legados (>10 anos) podem não ter capacidade de telemetria em tempo real — substituição pode custar R\$ 50–200 mil por usina [cenário provável]	Avaliar no diagnóstico inicial se os medidores existentes suportam o protocolo de comunicação requerido; incluir upgrade no escopo e no orçamento se necessário	<b>ALTO</b>
Camada 3 — Middleware de integração: componente que converte dados SCADA para formato blockchain via oráculo — frequentemente o maior custo de desenvolvimento do projeto	Cada fabricante de SCADA tem protocolo diferente; projetos com múltiplas usinas de diferentes fornecedores multiplicam o esforço de integração	Uso de plataformas de integração IoT existentes (ex.: CPQD Dojot, AWS IoT, Azure IoT Hub) reduz custo e prazo de desenvolvimento do middleware	<b>CRÍTICO</b>
Camada 4 — Blockchain: ledger distribuído, smart contracts, mecanismo de consenso e governança da rede de participantes	Escolha de plataforma sem considerar ecossistema de parceiros pode resultar em lock-in com fornecedor único — risco de continuidade do projeto	Priorizar plataformas com comunidade ativa (Hyperledger, Energy Web) e suporte de múltiplos integradores no Brasil — reduz risco de lock-in e facilita manutenção futura	<b>MÉDIO</b>
Camada 5 — Aplicação e CCEE: interface de gestão de certificados integrada com plataforma CCEE Origem e com sistemas de reporte ESG dos compradores	A interface precisa atender tanto ao gestor técnico da usina quanto ao comprador que quer visualizar e aposentar seus certificados — dois perfis de usuário muito diferentes	MVP funcional com interface mínima viável reduz custo de primeira fase; expansão de UX pode ser feita em fase subsequente após validação do fluxo técnico	<b>MÉDIO</b>

## Conclusão do Capítulo

Blockchain para o setor elétrico não é uma aposta no futuro. É uma decisão de arquitetura sobre como registrar, comprovar e automatizar fatos que já acontecem — a geração de energia renovável. A escolha entre blockchain pública e permissionada está resolvida para o setor: permissionada, com Hyperledger Fabric ou Energy Web Chain, é a única opção compatível com os requisitos regulatórios, de privacidade e de eficiência energética do setor elétrico brasileiro.

A decisão de arquitetura mais complexa não é a plataforma blockchain. É a camada de integração entre o SCADA da usina e o oráculo que alimenta o ledger. Projetos que negligenciam essa camada — apostando em uma integração simples que na prática é complexa — são os que geram projetos caros, atrasados e sem ROI. O diagnóstico técnico correto, antes de qualquer linha de código, é o que separa uma implementação bem-sucedida de um piloto abandonado.

**Blockchain não é uma camada de inovação. É uma camada de confiança — e confiança, no setor elétrico regulado, tem valor econômico mensurável.**

## Referências — Capítulo 3

- [1] ANDROULAKI, E. et al. *Hyperledger Fabric: A Distributed Operating System for Permissioned Blockchains*. *Proceedings of the Thirteenth EuroSys Conference, Porto*: ACM, 2018. Disponível em: <<https://arxiv.org/pdf/1801.10228>>. Acesso em: maio 2026.
- [2] CÂMARA DE COMERCIALIZAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA — CCEE. *CCEE lança plataforma brasileira para a certificação de energia renovável*. São Paulo: CCEE, out. 2024. Disponível em: <<https://www.ccee.org.br>>. Acesso em: maio 2026.
- [3] CPQD. *Blockchain no CPQD: soluções Trace e SOU iD*. Campinas: CPQD, 2022. Disponível em: <<https://www.cpqd.com.br/blockchain>>. Acesso em: maio 2026.
- [4] ENERGY WEB FOUNDATION. *Energy Web Chain: tecnologia blockchain para o setor de energia*. Zug: Energy Web, 2021. Disponível em: <<https://www.energyweb.org>>. Acesso em: maio 2026.
- [5] HYPERLEDGER FOUNDATION. *Introdução ao Hyperledger Fabric*. Linux Foundation, 2018. Disponível em: <<https://hyperledger-fabric.readthedocs.io/pt/latest/whatis.html>>. Acesso em: maio 2026.
- [6] iCOLAB. *Blockchain no setor elétrico: aplicações, oportunidades e desafios*. São Paulo: iCoLab, set. 2025. Disponível em: <<https://icolab.org.br/noticia/blockchain-no-setor-eletrico-aplicacoes-oportunidades-e-desafios/>>. Acesso em: maio 2026.
- [7] MIND CONSULTING. *Blockchain para empresas: aplicações práticas além das criptomoedas em 2026*. São Paulo: Mind Group, mar. 2026. Disponível em: <<https://mindconsulting.com.br/2026/03/blockchain-para-empresas-aplicacoes-praticas>>. Acesso em: maio 2026.
- [8] NAVA TECHNOLOGY. *Blockchain no setor de energia: como rastrear origem e combater greenwashing*. São Paulo: Nava, fev. 2026. Disponível em: <<https://nava.com.br/blog/blockchain-no-setor-de-energia/>>. Acesso em: maio 2026.
- [9] PERFIL NEWS. *Blockchain e PL 3.434/2024: caminhos para impulsionar a sustentabilidade energética*. Perfil News, abr. 2025. Disponível em: <<https://www.perfilnews.com.br/2025/04/14/blockchain-e-pl-3-434-2024>>. Acesso em: maio 2026.

## CAPÍTULO 4

# Tokenização de Ativos Energéticos

BESS, financiamento via blockchain e o novo modelo de captação para geradoras renováveis

**R\$ 77 bi****POTENCIAL BESS ATÉ 2034**

Estimativa ABSAE para o mercado total de armazenamento de energia no Brasil (ABSAE, 2026)

**R\$ 4 bi****TOKENIZAÇÃO NO BRASIL 2025**

Crescimento de 207% em relação a 2024; projeção R\$ 25 bi até 2027 (Migalhas, 2026)

**80%****CAPEX BESS DOLARIZADO**

Exposição cambial crítica — principal gargalo de financiamento de projetos BESS no Brasil (WTW, 2026)

**55 GW****DÉFICIT DE POTÊNCIA ATÉ 2034**

Projeção EPE — BESS pode atender 9–10 GW desse déficit (ABSAE, 2026)

O Brasil projeta um déficit de potência de 55 GW até 2034. A ABSAE estima que sistemas de armazenamento em baterias (BESS) podem suprir entre 9 e 10 GW desse déficit — um mercado potencial de R\$ 77 bilhões ao longo da década (ABSAE, 2026). O problema não é tecnológico nem regulatório. É financeiro. O CAPEX de um sistema BESS no Brasil é 80% dolarizado (WTW, 2026) — e os bancos locais ainda não têm produtos de crédito estruturados para esse tipo de ativo. O resultado é uma tese de investimento clara e um gargalo de financiamento igualmente claro. A tokenização, via blockchain, oferece uma resposta estrutural a esse gargalo: converte o ativo físico em representação digital fracionada, abre o acesso a uma base de investidores que o mercado de crédito convencional não alcança e viabiliza captação em reais para um ativo com exposição cambial. Não é especulação. É engenharia financeira aplicada à infraestrutura energética — com respaldo regulatório da CVM e do Marco Legal dos Criptoativos (Lei 14.478/2022).

## O MERCADO BESS NO BRASIL

### 4.1 BESS no Brasil — A Oportunidade e o Gargalo

O mercado brasileiro de armazenamento de energia por baterias saiu de aproximadamente R\$ 700 milhões em 2024 para mais de R\$ 2,2 bilhões em 2025 — crescimento superior a 200% em um único ano (WTW, 2026). A Greener estima que o volume comercializado em 2025 ficou entre 1,3 e 1,9 GWh, com aceleração concentrada em aplicações comerciais e industriais (C&I) e projetos instalados "atrás do medidor" (PV Magazine, 2025).

O principal catalisador esperado é o Leilão de Reserva de Capacidade (LRCAP) com produto específico para BESS — o primeiro leilão do tipo na história do setor elétrico brasileiro. O certame

prevê a contratação de sistemas com capacidade mínima de 30 MW capazes de operar quatro horas por dia, com contratos de 10 anos e início de suprimento projetado para agosto de 2028. O presidente da ABSAE projeta que um primeiro leilão de 2 GW mobilizaria aproximadamente R\$ 10 bilhões em investimentos (Brasil BESS, 2026). A PSR Consultores estima que o potencial de contratação pode variar de 500 MW a 2 GW dependendo das premissas regulatórias adotadas (Eixos, 2026).

Esse mercado, porém, tem um gargalo estrutural que o LRCAP não resolve sozinho: o financiamento. Um sistema BESS utility-scale custa entre R\$ 3 e R\$ 7 milhões por MWh de capacidade instalada, com 80% do CAPEX em equipamentos importados — baterias, inversores, sistemas de controle — denominados em dólar (WTW, 2026). Para um projeto de 100 MWh, isso representa R\$ 300 a R\$ 700 milhões de investimento, com risco cambial relevante e prazo de retorno de 10 a 15 anos. O mercado de crédito bancário convencional não tem produto estruturado para esse perfil.

**⚡ CONTEXTO REGULATÓRIO — OBSTÁCULOS DO LRCAP 2026**

O setor aponta três obstáculos concretos ao LRCAP: (1) risco de dupla tarifação TUSD/TUST para carga e descarga — modelo inexistente em qualquer outro mercado desenvolvido; (2) exigência de 85% de eficiência no ponto de conexão, considerada inviável pela indústria (valor realista: ~82%); (3) contratos de 10 anos insuficientes para amortizar o CAPEX — mercado reivindica 15 anos. A WEG anunciou fábrica de BESS em Itajaí/SC com capacidade de 2 GWh/ano para 2027 — sinal de que a indústria acredita no mercado independentemente dos gargalos regulatórios de curto prazo. (Brasil BESS, 2026; PV Magazine, 2025)

Como funciona	Tensões e escolhas	Efeito executivo	Nível
LRCAP 2026: primeiro leilão brasileiro de capacidade específico para BESS — contrata potência firme (MW) por 10 anos com início de suprimento em agosto de 2028 (Portaria MME 878/2025)	Portaria definitiva ainda não publicada até maio de 2026 — risco de postergação para 2027, conforme alerta da ABSAE e análise da PV magazine (ESS News, maio 2026)	Geradoras renováveis com BESS complementar posicionam-se para participar do leilão e capturar receita de capacidade além da receita de energia — duas fontes independentes de retorno	<b>ALTO</b>
CAPEX dolarizado: 80% do custo de um projeto BESS é denominado em USD — exposição cambial direta que impacta o custo do projeto e o retorno do investidor (WTW, 2026)	Projetos com financiamento em BRL e receita em BRL (contratos de capacidade regulados) têm exposição cambial no CAPEX, mas não na operação — o que cria descasamento na fase de construção	Tokenização em BRL do ativo BESS pode isolar o investidor local da exposição cambial de construção — estrutura financeira que nenhum produto bancário convencional oferece	<b>CRÍTICO</b>
Mercado C&I sem leilão: projetos BESS comerciais e industriais atrás do medidor crescem independentemente do LRCAP, com modelo BESSaaS (BESS as a Service)	Modelo BESSaaS transfere risco do cliente para o operador — que precisa de capital para financiar o CAPEX sem retorno imediato via tarifa regulada	Tokenização do portfólio BESSaaS permite ao operador captar com investidores que recebem participação nas	<b>OPORT.</b>

Como funciona	Tensões e escolhas	Efeito executivo	Nível
— Brasol investiu R\$ 150 mi em 2025 (PV Magazine, 2025)		receitas operacionais — modelo análogo a fundos de recebíveis energéticos	

O QUE É TOKENIZAÇÃO

## 4.2 Tokenização de Ativos — O Que É e Como Funciona para BESS

Tokenização é o processo de converter um ativo do mundo real — físico ou financeiro — em uma representação digital registrada em blockchain (ANBIMA, 2025). Essa representação, chamada token, pode ser fracionada em milhares ou milhões de unidades, transferida entre partes de forma instantânea e negociada em plataformas digitais sem necessidade de intermediários tradicionais como bancos custodiantes ou câmaras de compensação.

Em um sistema BESS, a tokenização funciona assim: a geradora estrutura o ativo — o sistema de armazenamento já instalado, com a projeção de receitas de contratos de capacidade e de arbitragem energética — e emite tokens que representam partes desse ativo. Cada token dá ao investidor direito a uma parcela proporcional dos fluxos de caixa gerados pelo sistema, como receitas do LRCAP, de *peak shaving* e de arbitragem intradiária. Esses tokens ficam registrados em blockchain, de forma imutável e rastreável, e podem ser negociados no mercado secundário por investidores habilitados na plataforma.

O mercado brasileiro de tokenização cresceu de R\$ 1,3 bilhão em 2024 para R\$ 4 bilhões em 2025 — crescimento de 207% — com projeção de atingir R\$ 25 bilhões até 2027 (Migalhas, 2026). A CVM colocou tokenização como prioridade da agenda regulatória de 2026, com o Projeto 135 Light revisando as Resoluções CVM 135 e 31 para fortalecer o marco de emissões tokenizadas (CVM, 2025). O ambiente regulatório está se consolidando — não está pronto, mas está se movendo na direção correta.



Figura 9. Fluxo de tokenização de um sistema BESS no mercado brasileiro.

Como funciona	Tensões e escolhas	Efeito executivo	Nível
Fracionamento do ativo: sistema BESS avaliado em R\$ 50 milhões é dividido em 50.000 tokens de R\$ 1.000 cada — acessível a investidores de menor porte sem alterar a propriedade operacional	Fracionamento excessivo pode criar complexidade de governança — muitos investidores com direito a voto ou informação geram custo administrativo elevado	Estrutura recomendada: tokens de utilidade (direito a fluxo de caixa, sem direito a voto) reduzem complexidade; mínimo de R\$ 5.000 por token filtro investidores não qualificados	MÉDIO
Liquidez via mercado secundário: tokens podem ser negociados entre investidores após emissão — transforma ativo ilíquido de infraestrutura em posição com liquidez potencial	Liquidez real do mercado secundário de tokens energéticos no Brasil ainda é muito baixa — poucos compradores, spreads amplos, risco de não conseguir vender no momento desejado	Comunicar a iliquidez potencial claramente no prospecto — tokens de infraestrutura têm horizonte de 5 a 10 anos; investidor deve ser qualificado e ter esse perfil	ALTO
Distribuição automática de receitas: smart contract distribui proporcionalmente a cada token holder a receita gerada pelo BESS no período — sem intermediário financeiro	Smart contract precisa de oráculo confiável que informe a receita real do BESS — dado que vem do operador do sistema, criando risco de conflito de interesse se não houver auditoria independente	Auditoria mensal por terceiro das receitas distribuídas é requisito de governança — custo estimado R\$ 5–15 mil/mês [cenário provável]; aumenta credibilidade com investidores	ALTO
Captação em BRL para ativo com CAPEX em USD: tokenização permite estruturar captação em reais de investidores locais para	Descasamento cambial entre captação (BRL) e CAPEX (USD) exige instrumento de hedge — NDF, opção de câmbio ou estrutura de compra	Estruturar o hedge cambial junto com a emissão dos tokens — custo do hedge deve ser embutido no fluxo	CRÍTICO

Como funciona	Tensões e escolhas	Efeito executivo	Nível
financiar compra de equipamentos dolarizados	antecipada de USD no momento da emissão	de caixa projetado para o investidor, não negligenciado no modelo financeiro	

REGULAÇÃO E COMPLIANCE

### 4.3 O Marco Regulatório Brasileiro — O Que a Lei Permite e O Que Exige

A tokenização de ativos energéticos no Brasil opera em um ambiente regulatório em construção — não no vácuo. O Marco Legal dos Criptoativos (Lei 14.478, de 21 de dezembro de 2022) estabeleceu as diretrizes para prestadores de serviços de ativos virtuais (PSAVs), conferindo ao Banco Central competência supervisora e à CVM jurisdição sobre tokens que se qualifiquem como valores mobiliários (Migalhas, 2026).

Para projetos de tokenização de BESS, o ponto central é definir a natureza jurídica do token. Se ele representar uma fração do ativo com direito a participação nos lucros ou nos fluxos de caixa — como normalmente ocorre em projetos de infraestrutura — será considerado valor mobiliário e ficará sujeito à regulação da CVM. Nesse caso, a emissão pode exigir registro ou dispensa de registro na autarquia, além de conformidade com as Resoluções CVM 88/2022 e 175/2023, aplicáveis a crowdfunding e ofertas restritas, e, em emissões maiores, possivelmente com a CVM 160. Já se o token conferir apenas direito de uso ou acesso a um serviço, sem participação econômica, ele pode não ser classificado como valor mobiliário. Ainda assim, antes de qualquer emissão, é indispensável realizar análise jurídica individual do caso.

O sandbox regulatório da CVM já está em funcionamento, e a Vórtx QR Tokenizadora atua como a primeira plataforma brasileira de negociação de valores mobiliários digitais, usando blockchain para emitir e negociar cotas de fundos e debêntures (Matera, 2026). Ou seja, esse mercado já é uma realidade. Para a geradora que pretende tokenizar seu BESS, a discussão não é mais se isso pode ser feito, mas qual estrutura jurídica melhor se ajusta ao seu perfil e ao público investidor que deseja atingir.

**MARCOS LEGAIS APLICÁVEIS À TOKENIZAÇÃO DE BESS**

Lei 14.478/2022 — Marco Legal dos Criptoativos: define PSAVs, competências BC e CVM. Resolução CVM 88/2022: crowdfunding tokenizado até R\$ 25 mi (revisada em 2025). Resolução CVM 175/2023: fundos de investimento em cotas tokenizadas. Resolução CVM 160: oferta pública restrita a investidores qualificados. Lei 15.269/2025: classifica BESS como ativo de transmissão — impacto na estrutura de propriedade do ativo tokenizado. Análise jurídica caso a caso é obrigatória antes de qualquer emissão.

Como funciona	Tensões e escolhas	Efeito executivo	Nível
Token como valor mobiliário (CVM): tokens com direito a fluxo de caixa do BESS se qualificam como valores mobiliários — sujeitos a registro, prospecto e supervisão da CVM	Processo de registro ou dispensa de registro na CVM leva de 30 a 90 dias e exige assessoria jurídica especializada — custo relevante para emissões menores	Para emissões até R\$ 25 mi, Resolução CVM 88 (crowdfunding tokenizado) oferece processo simplificado — viável para projetos BESS de pequeno e médio porte	ALTO
BESS como ativo de transmissão (Lei 15.269/2025): a classificação legal do BESS impacta a estrutura de propriedade — ativo de transmissão pode ter restrições de transferência que afetam a tokenização	Análise jurídica da interação entre a Lei 15.269/2025 e a tokenização ainda não tem jurisprudência consolidada — risco de interpretação regulatória adversa	Contratar parecer jurídico específico sobre a Lei 15.269/2025 antes de estruturar a tokenização — inclui análise dos contratos de concessão e das regras do LRCAP	CRÍTICO
Sandbox CVM: ambiente regulatório experimental que permite operar com supervisão reduzida — Vórtx QR já opera como exchange de valores mobiliários digitais (Matera, 2026)	Acesso ao sandbox exige aprovação da CVM e implica compromissos de reporte e monitoramento — não é um atalho regulatório, é um laboratório supervisionado	Projetos inovadores de tokenização de infraestrutura energética são elegíveis para o sandbox — acesso à interlocução direta com CVM é vantagem estratégica significativa	OPORT.
DREX (moeda digital do Banco Central): o real digital está em desenvolvimento e pode viabilizar liquidação automática de tokens energéticos em moeda soberana via smart contract	DREX ainda em fase de testes (Piloto Drex, 2024) — não está disponível para transações comerciais em larga escala; prazo de implementação incerto	Monitorar o cronograma do DREX — plataformas de tokenização que integrem DREX desde o início terão vantagem competitiva quando o BC liberar uso comercial	MÉDIO

MODELO FINANCEIRO

## 4.4 Como Estruturar a Tokenização de um Projeto BESS — Passo a Passo

A tokenização de um projeto BESS não começa na plataforma blockchain. Começa na tese de investimento: qual é a fonte de receita do ativo, qual é o perfil de risco-retorno para o investidor e qual é a estrutura jurídica que melhor acomoda essas características. Sem essas três definições, qualquer tecnologia blockchain é prematuro.

No Brasil, a receita de um BESS pode vir de até quatro fontes: (1) capacidade contratada no LRCAP, com fluxo regulado, previsível e em reais por 10 anos; (2) arbitragem intradiária, comprando energia fora de ponta e vendendo no horário de ponta; (3) *peak shaving*, com redução da demanda máxima do consumidor e economia na conta de energia; e (4) serviços

ancilares, como regulação de frequência e tensão, ainda pouco desenvolvidos no país. A combinação dessas receitas define o modelo financeiro representado pelos tokens.

A estrutura recomendada para um projeto piloto de tokenização de BESS no Brasil tem quatro camadas. A primeira é a camada de ativo: a SPE (Sociedade de Propósito Específico) que detém o BESS, com contratos assinados e receita projetada auditada. A segunda é a camada financeira: a estrutura de emissão dos tokens — debêntures simples tokenizadas, CRI (Certificado de Recebíveis do Imobiliário) não se aplica, CRA (do Agronegócio) também não; debêntures ou cotas de fundo são as estruturas mais adequadas. A terceira é a camada tecnológica: a plataforma blockchain, os smart contracts de distribuição de receita e o oráculo que conecta os dados operacionais do BESS ao ambiente blockchain. A quarta é a camada regulatória: o registro ou dispensa na CVM, o prospecto, os contratos de custódia e a plataforma de negociação secundária.



Figura 10. Estrutura de quatro camadas para tokenização de projetos BESS.

Como funciona	Tensões e escolhas	Efeito executivo	Nível
SPE como veículo: constituir uma Sociedade de Propósito Específico para isolar o ativo BESS do balanço da geradora — blindagem patrimonial e clareza jurídica para o investidor	Custo de constituição e manutenção da SPE — contabilidade, auditoria, compliance CVM — pode ser desproporcional para projetos abaixo de R\$ 20 mi de captação	Para projetos menores, avaliar uso de fundo de investimento em vez de SPE — estrutura mais simples com mesma blindagem patrimonial e menor custo operacional	<b>MÉDIO</b>
Debêntures tokenizadas: emissão de debêntures simples registradas em blockchain — instrumento financeiro maduro	Debêntures são dívida — o emissor (SPE) tem obrigação de pagar independente da performance do BESS; se a	Para alinhamento de interesses, estrutura de cotas de fundo com remuneração variável	<b>ALTO</b>

Como funciona	Tensões e escolhas	Efeito executivo	Nível
com rastreabilidade digital adicionada	receita for menor que o projetado, a obrigação permanece	atrelada à receita operacional é mais adequada que debêntures para projetos de infraestrutura	
Oráculo de receita: componente que conecta os dados operacionais do BESS (receitas efetivas, energia armazenada/liberada) ao smart contract de distribuição	Oráculo controlado pelo operador do BESS cria conflito de interesse — operador poderia reportar receitas menores do que as efetivas para reduzir distribuição aos token holders	Oráculo deve ser alimentado por fonte independente — dados do ONS, notas fiscais eletrônicas ou auditoria mensal — contrato de custódia deve especificar isso explicitamente	<b>CRÍTICO</b>
Mercado secundário: plataforma onde investidores podem negociar seus tokens após a emissão — Vórtx QR e outras plataformas CVM já operam esse ambiente (Matera, 2026)	Volume de negociação no mercado secundário de tokens de infraestrutura ainda é baixo no Brasil — spread entre compra e venda pode ser amplo nos primeiros anos	Comunicar claramente o horizonte de investimento recomendado (5–10 anos) e o risco de iliquidez do mercado secundário — investidor qualificado com perfil inadequado gera problema regulatório	<b>ALTO</b>

## Conclusão do Capítulo

O mercado de BESS no Brasil está em um ponto de inflexão. A demanda técnica é incontestável — 55 GW de déficit de potência até 2034, com BESS capaz de suprir 9 a 10 GW. A regulação está se formando — o LRCAP, apesar das incertezas, sinaliza que o governo reconhece o BESS como componente da segurança energética. E o mercado de tokenização cresceu 207% em 2025 e já tem infraestrutura regulatória funcionando na CVM.

O que falta não é nem tecnologia nem regulação. É a estrutura financeira que conecta o ativo físico ao investidor. A tokenização via blockchain é essa estrutura — com a vantagem de que a RN 1.150 da ANEEL já reconhece blockchain como tecnologia habilitadora para o setor elétrico. O conjunto está montado. A execução é o que diferencia as geradoras que capturam esse mercado das que o observam de fora.

***BESS resolve o problema técnico da intermitência renovável.  
Tokenização resolve o problema financeiro do CAPEX dolarizado.  
Blockchain conecta as duas soluções com rastreabilidade auditável.***

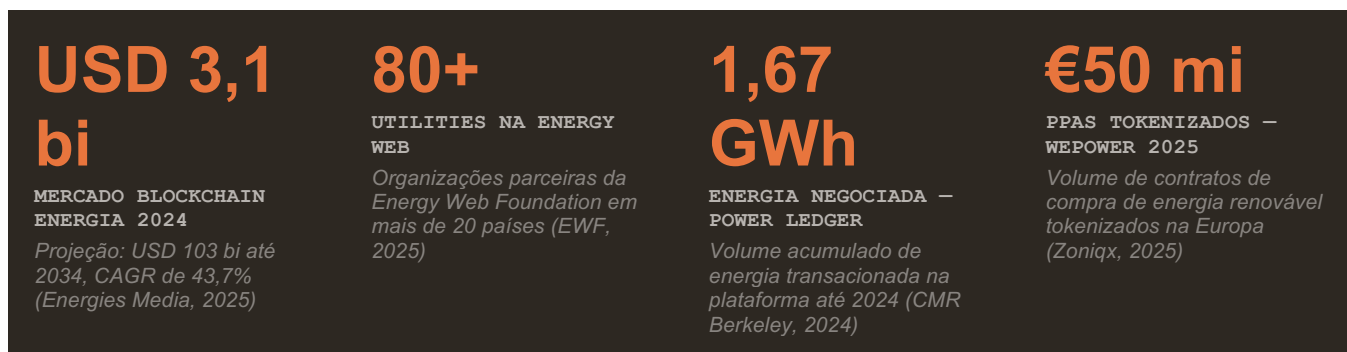
## Referências — Capítulo 4

- [1] ABSAE — ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE SOLUÇÕES DE ARMAZENAMENTO DE ENERGIA. Mercado BESS no Brasil: projeções e gargalos regulatórios. São Paulo: ABSAE, jan. 2026. Disponível em: <<https://brasilbess.com/news/lrcap-2026-baterias-bess-podem-mudar-o-jogo-energ-tico>>. Acesso em: maio 2026.
- [2] ANBIMA. Tokenização de ativos: conceitos iniciais e experimentos em curso. Rio de Janeiro: ANBIMA, 2025. Disponível em: <<https://www.matera.com/br/blog/tokenizacao/>>. Acesso em: maio 2026.
- [3] BRASIL BESS. Preço de BESS em 2025: guia completo de CAPEX do cell ao turnkey. Brasil BESS, abr. 2026. Disponível em: <<https://brasilbess.com/news/futuro-baterias-bess-brasil>>. Acesso em: maio 2026.
- [4] COMISSÃO DE VALORES MOBILIÁRIOS — CVM. Tokenização é prioridade da agenda regulatória da CVM para 2026. Brasília: CVM, dez. 2025. Disponível em: <<https://www.morningjog.com.br/p/tokenizacao-e-prioridade-da-agenda>>. Acesso em: maio 2026.
- [5] EIXOS. Que espaço sobrou para as baterias após o LRCAP? São Paulo: Eixos, maio 2026. Disponível em: <<https://eixos.com.br/politica/que-espaco-sobrou-para-as-baterias-apos-o-lrcap/>>. Acesso em: maio 2026.
- [6] ESS NEWS. Brazil's battery capacity auction risks being delayed until 2027. Energy Storage News, maio 2026. Disponível em: <<https://www.ess-news.com/2026/05/11/brazils-battery-capacity-auction-risks-being-delayed-until-2027/>>. Acesso em: maio 2026.
- [7] MATERA. Tokenização de ativos: guia completo e tendências. São Paulo: Matera, fev. 2026. Disponível em: <<https://www.matera.com/br/blog/tokenizacao/>>. Acesso em: maio 2026.
- [8] MIGALHAS. Tokenização de ativos e registro público no Brasil. São Paulo: Migalhas, jan. 2026. Disponível em: <<https://www.migalhas.com.br/coluna/migalhas-notariais-e-registrais/447765/tokenizacao-de-ativos-e-registro-publico-no-brasil>>. Acesso em: maio 2026.
- [9] PV MAGAZINE BRASIL. Retrospectiva 2025: BESS as a service avança no país à espera do LRCAP em 2026. São Paulo: PV Magazine, dez. 2025. Disponível em: <<https://www.pv-magazine-brasil.com/2025/12/23/retrospectiva-2025-bess-as-a-service-avanca-no-pais>>. Acesso em: maio 2026.
- [10] WTW — WILLIS TOWERS WATSON. O crescimento do mercado de armazenamento de energia com baterias no Brasil. São Paulo: WTW, fev. 2026. Disponível em: <<https://www.wtwco.com/pt-br/insights/2026/02/o-crescimento-do-mercado-de-armazenamento-de-energia-com-baterias-no-brasil>>. Acesso em: maio 2026.

## CAPÍTULO 5

# Casos Internacionais

Seis implementações reais de blockchain em energia — o que funcionou, o que custou e o que o Brasil pode replicar



O argumento mais comum contra projetos de blockchain em energia no Brasil é a falta de precedente local. É um argumento inválido. O que falta não é precedente — falta conhecê-lo. Austrália, Espanha, Estônia, Alemanha, Holanda e mais de 20 países já têm implementações operacionais de blockchain no setor elétrico, com resultados mensuráveis em custo, tempo e confiabilidade. Esses não são pilotos de laboratório. São plataformas em produção, com contratos reais, receitas reais e compradores reais. Este capítulo descreve seis casos — selecionados pela relevância direta ao contexto brasileiro: certificação de origem, tokenização de PPAs, integração com BESS, rastreabilidade em tempo real e padronização setorial. Nenhum desses players concorre com a nMentors no mercado brasileiro. Todos demonstram que o que os capítulos anteriores descreveram em teoria já funciona na prática — e que o Brasil, com a RN 1.150 e a plataforma CCEE Origem, tem as condições regulatórias para replicar e superar o que foi feito no exterior.

## CASE 1 — CERTIFICAÇÃO E NEGOCIAÇÃO DE RECS

## 5.1 Power Ledger / TraceX — Austrália e EUA

Fundada em 2016 em Perth, Austrália, a Power Ledger é uma das plataformas de blockchain energético mais maduras do mundo. Seu produto TraceX é um marketplace digital para negociação de Certificados de Energia Renovável (RECs), operando sobre uma blockchain desenvolvida especificamente para o setor e migrada para Solana em Q4 2025 — o que elevou a capacidade de processamento para 50.000 transações por segundo a custo reduzido (CMR Berkeley, 2024; Crypto News Navigator, 2026).

O problema central que a Power Ledger resolve é a ineficiência do mercado tradicional de RECs: negociação bilateral por e-mail e planilha, sem descoberta de preço em tempo real, sem liquidação automatizada e sem garantia de unicidade dos certificados. O TraceX substituiu esse processo por um marketplace 24/7 com precificação em tempo real, liquidação automática por smart contract e *encumbrance* (bloqueio) imediato do certificado no registro de origem — impedindo dupla contagem.

Em julho de 2025, o TraceX conectou-se ao ERCOT (*Electric Reliability Council of Texas*), passando a processar transações de RECs no maior mercado de energia dos Estados Unidos. Na Índia, a Power Ledger opera o maior piloto de negociação peer-to-peer de energia do mundo, com mais de 1.000 participantes em parceria com a Calcutta Electricity Supply Corporation. Um projeto em Uttar Pradesh demonstrou preços de compra de energia 43% inferiores à tarifa convencional (Energiesmedia, 2025).

#### CASE 1 POWER LEDGER / TRACEX | Austrália · EUA · Índia

*Negociação de RECs via blockchain — certificação de origem em tempo real*

**PROBLEMA** Mercado de RECs operava por negociação bilateral manual — sem descoberta de preço, sem garantia de unicidade e com latência de dias para liquidação

**SOLUÇÃO** TraceX: marketplace blockchain 24/7 com smart contracts para precificação em tempo real, liquidação automática e *encumbrance* imediato no registro de origem. Migrado para Solana (50.000 TPS) em Q4 2025

**RESULTADO** 1,67 GWh de energia negociada; preços 43% menores em projeto na Índia; conectado ao ERCAP/Texas em jul. 2025; CAGR 43,7% no setor blockchain energia

*Fonte: CMR Berkeley (2024); Crypto News Navigator (2026); Energiesmedia (2025)*

Para o Brasil, a lição do TraceX é direta: o mercado de RECs funciona melhor quando a descoberta de preço é pública, a liquidação é automática e a unicidade do certificado é garantida tecnicamente — não por processo administrativo. A plataforma CCEE Origem criou a infraestrutura central; o blockchain é a camada que torna essa infraestrutura programável e interoperável com compradores internacionais.

#### CASE 2 — RASTREABILIDADE DE ORIGEM EM TEMPO REAL

### 5.2 ACCIONA Energía + FlexiDAO — Espanha e Portugal

A ACCIONA Energía, empresa espanhola de energia renovável com operações em mais de 40 países, foi pioneira global no uso de blockchain para rastreabilidade de origem energética. Em parceria com a startup FlexiDAO, desenvolveu o projeto GREENCHAIN — a primeira implementação do mundo que rastreia energia renovável por blockchain em tempo real na Espanha e em Portugal (Energiesmedia, 2025; Acciona, 2020).

O GREENCHAIN resolve um problema específico do mercado ibérico: consumidores e empresas que contratam energia renovável não tinham como verificar, em tempo real, que a eletricidade consumida efetivamente vinha da fonte renovável contratada. O sistema registra cada kWh gerado em blockchain, indicando a planta de origem, o *timestamp* de geração e os atributos ambientais — e disponibiliza essas informações ao consumidor em tempo real via plataforma.

A ACCIONA expandiu o blockchain além da certificação de origem. Desenvolveu o STORE-CHAIN, sistema que verifica a rastreabilidade de energia em processos de armazenamento em tempo real, e usou blockchain para proteger a propriedade intelectual de seus softwares de gestão de ativos renováveis — incluindo ferramentas de manutenção preditiva e otimização de parques eólicos e solares (Acciona, 2020). Em 2025, firmou colaboração com a Iberdrola para verificar origens de energia verde usando blockchain, alinhada às metas de energia renovável do governo espanhol (Coinlaw.io, 2026).

Uma aplicação concreta: em parceria com a IKEA, a ACCIONA instalou postos de carregamento de veículos elétricos nos shoppings da marca na Espanha, fornecendo energia 100% renovável certificada por blockchain — cada kWh rastreado da planta de geração ao ponto de carregamento, disponível para verificação pelo consumidor (Pixelplex, 2025).

## CASE 2 ACCIONA ENERGÍA + FLEXIDAO | Espanha · Portugal · Global

### Rastreabilidade de origem renovável em tempo real — GREENCHAIN

**PROBLEMA** Consumidores sem capacidade de verificar em tempo real se a energia contratada como renovável era efetivamente gerada por fonte limpa — risco de greenwashing estrutural

**SOLUÇÃO** GREENCHAIN: registro em blockchain de cada kWh gerado, com planta de origem, timestamp e atributos ambientais. STORE-CHAIN para rastreabilidade em processos de armazenamento. Plataforma disponível ao consumidor em tempo real

**RESULTADO** Primeira empresa do mundo a rastrear energia renovável por blockchain em tempo real; parceria IKEA com certificação por kWh até o ponto de carregamento de VE; colaboração com Iberdrola em 2025

Fonte: ACCIONA (2020); Energiesmedia (2025); Pixelplex (2025); Coinlaw.io (2026)

Para geradoras brasileiras, o GREENCHAIN é o modelo mais diretamente replicável. A CCEE Origem já provê a infraestrutura central de registro — o que falta é a camada de rastreabilidade em tempo real do medidor da usina ao certificado, exatamente o que a ACCIONA desenvolveu com a FlexiDAO. A diferença é que o Brasil tem a ANEEL regulando essa camada pela RN 1.150, enquanto a Espanha implementou sem marco regulatório específico.

## 5.3 WePower — Estônia e Europa

A WePower é uma plataforma da Estônia que tokeniza contratos de compra de energia renovável (PPAs — *Power Purchase Agreements*). Na prática, ela permite que geradores de energia solar e eólica captem recursos diretamente com investidores ao vender, antecipadamente, tokens lastreados na produção futura de energia. Até 2025, a plataforma já havia viabilizado mais de €50 milhões em PPAs tokenizados na Europa (Zoniq, 2025).

A Estônia oferece condições únicas para esse modelo: cobertura de 100% de *smart meters* em todo o território nacional e a plataforma Estfeed de compartilhamento de dados — infraestrutura digital que permite rastreamento granular de cada unidade de energia da geração ao consumo (Droomdroom, 2024). Essa granularidade é exatamente o que compradores sofisticados — como hyperscalers e multinacionais com metas Science Based Targets — começam a exigir no Brasil.

O modelo da WePower conecta dois mercados que normalmente não se encontram: geradores de energia renovável que precisam de capital para construir novos projetos, e investidores ESG que querem exposição ao setor de energia limpa sem as complexidades de um fundo de infraestrutura convencional. Os tokens funcionam como smart contracts de PPAs: o investidor compra produção futura a preço definido, o gerador recebe capital antecipado, e a distribuição de energia (ou sua representação em token) ocorre automaticamente via blockchain quando a produção é realizada.

### CASE 3 WEPOWER | Estônia · Europa

*Tokenização de PPAs renováveis — capital antecipado via blockchain*

**PROBLEMA** Geradores de energia renovável com dificuldade de acesso a capital para novos projetos; investidores ESG sem acesso direto a ativos de energia limpa sem estrutura de fundo complexa

**SOLUÇÃO** Tokenização de PPAs via blockchain Ethereum: tokens representam produção futura de energia solar e eólica; smart contracts distribuem energia (ou receita) automaticamente quando produção é realizada; integração com smart meters via Estfeed

**RESULTADO** +€50 mi em PPAs tokenizados na Europa até 2025; smart contract automatiza distribuição; modelo que conecta geradores a investidores ESG sem intermediários financeiros tradicionais

*Fonte: Zoniq (2025); Droomdroom (2024); IBM (2025)*

Para o Brasil, o modelo WePower é a referência mais direta para a tokenização de BESS descrita no Capítulo 4. A diferença estrutural é que o Brasil ainda não tem a cobertura de smart meters da Estônia — o que significa que o oráculo de dados precisa ser construído com cuidado maior. Mas a tese financeira é idêntica: geradores com ativos e necessidade de capital, investidores com capital e busca por exposição a energia limpa.

## CASE 4 — BESS E BALANCEAMENTO DE REDE

## 5.4 TenneT + IBM + Sonnen — Alemanha e Holanda

Este é o caso mais relevante para o contexto BESS brasileiro. Em 2017, o operador de transmissão alemão TenneT iniciou um piloto com a Sonnen (empresa de armazenamento doméstico, então parte do grupo Shell) e a IBM, usando a plataforma Hyperledger Fabric para integrar baterias residenciais à rede de transmissão como recurso de balanceamento (TenneT, 2019).

O problema a resolver era concreto: a expansão de geração eólica e solar na Alemanha criava excedentes locais de energia que precisavam ser redistribuídos para regiões com déficit. As soluções tradicionais — redespacho de grandes usinas — eram lentas e caras. A hipótese era que uma rede de baterias residenciais, coordenada por blockchain, poderia ser mais ágil e mais barata.

O piloto durou 18 meses e envolveu centenas de residências no norte e no sul da Alemanha. A Sonnen usou blockchain para comunicar ao TenneT continuamente a capacidade disponível das baterias para redespacho. Quando o TenneT aceitava uma oferta, as baterias em regiões com excedente de energia eólica eram carregadas automaticamente, enquanto baterias em regiões com déficit descarregavam a mesma quantidade simultaneamente. Cada kWh recebeu uma assinatura criptográfica única, criando um registro imutável de toda a operação (Power Mag, 2020; Sonnen, 2019).

O resultado: o piloto demonstrou pela primeira vez que é tecnicamente viável usar blockchain para coordenar recursos de armazenamento distribuído como ativo de balanceamento de rede. Isso levou ao desenvolvimento do Equigy, a plataforma de *crowd balancing* que expandiu o modelo para incluir os operadores de transmissão da Holanda (TenneT), da Itália (Terna), da Suíça (Swissgrid) e da Áustria (APG).

## CASE 4 TENNET + IBM + SONNEN | Alemanha · Holanda

## Blockchain + BESS residencial para balanceamento da rede de transmissão

**PROBLEMA** Excedentes locais de energia eólica precisavam ser redistribuídos rapidamente — soluções tradicionais de redespacho eram lentas e caras para a granularidade do problema

**SOLUÇÃO Rede** de baterias residenciais Sonnen coordenadas por Hyperledger Fabric: TenneT publica necessidade de redespacho; Sonnen oferta capacidade disponível; baterias em regiões com excedente carregam automaticamente enquanto baterias em regiões com déficit descarregam simultaneamente. Cada kWh com assinatura criptográfica

**RESULTADO Prova de conceito bem-sucedida em 18 meses; cada kWh com registro imutável para liquidação; base do Equigy — plataforma de crowd balancing com 4 TSOs europeus; modelo escalável para EV e outros recursos distribuídos**

Fonte: TenneT (2019); Sonnen (2019); Power Mag (2020); Equigy (2021)

Para geradoras brasileiras com projetos BESS, este é o precedente técnico mais sólido disponível. O modelo TenneT/Sonnen prova que a integração blockchain + BESS + operador de rede é viável em produção — não em laboratório. No contexto do LRCAP 2026, que prevê contratos de capacidade para BESS, a arquitetura Hyperledger Fabric usada no piloto alemão é diretamente aplicável para a comunicação entre o BESS e o ONS.

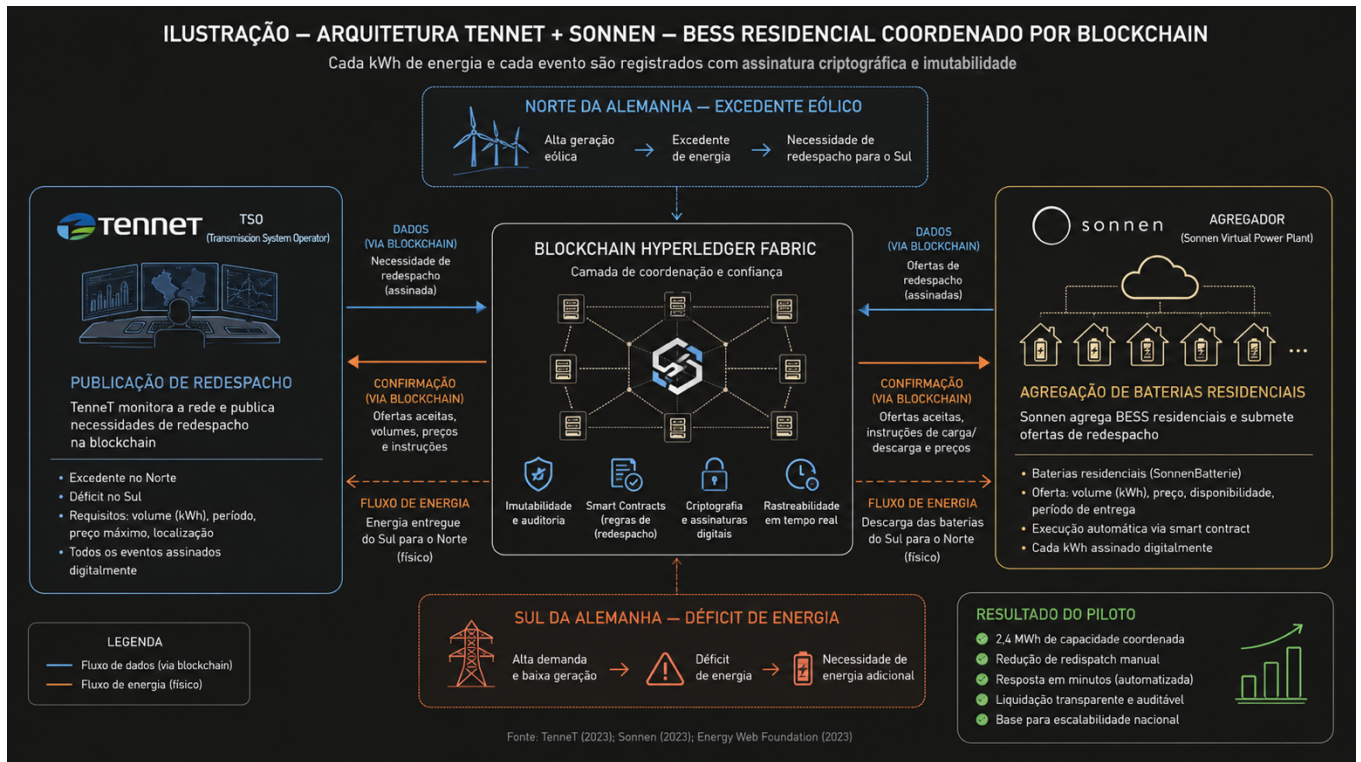


Figura 11. Arquitetura TenneT + Sonnen para coordenação distribuída de BESS via blockchain permissionada.

CASE 5 — CERTIFICADOS VERDES TOKENIZADOS

### 5.5 Siemens Energy — Global

A Siemens Energy, com operações em mais de 90 países, emite certificados verdes de energia registrados em blockchain — tokens que armazenam metadados completos sobre a geração: tipo de ativo, emissões de CO2 associadas, localização da planta, timestamp de geração e quantidade de energia (Pixelplex, 2025; Energiesmedia, 2026).

O diferencial do modelo Siemens em relação aos certificados convencionais está na granularidade dos metadados: enquanto um I-REC padrão comprova apenas que 1 MWh foi gerado por fonte renovável em determinado período, o certificado tokenizado da Siemens permite verificar a planta específica, o momento exato da geração e os atributos ambientais detalhados — o nível de granularidade que compradores como data centers de hyperscalers exigem para cumprir metas de matching 24/7.

Em 2024, a Siemens lançou um projeto-piloto de microgrid usando blockchain para distribuição de energia em comunidades locais, demonstrando que a tecnologia pode ser aplicada tanto na escala de certificação global quanto na escala de gestão local de rede (Energiesmedia, 2026). A empresa também integra blockchain à sua plataforma Spectrum Power de gestão de rede, facilitando troca segura de dados entre operadores de rede e recursos de energia distribuída.

#### CASE 5 SIEMENS ENERGY | Global (90+ países)

*Certificados verdes tokenizados com metadados completos*

**PROBLEMA** Certificados de energia renovável convencionais não capturam granularidade suficiente para o matching 24/7 exigido por hyperscalers e metas avançadas de descarbonização

**SOLUÇÃO** Tokens de certificado com metadados completos: tipo de ativo, CO<sub>2</sub>, localização, timestamp, quantidade. Registro em blockchain permissionada. Integração com Spectrum Power para gestão de rede. Piloto de microgrid com blockchain para distribuição comunitária (2024)

**RESULTADO** Certificados verificáveis por todos os stakeholders em tempo real; compatível com exigências de matching 24/7; piloto de microgrid comunitário lançado em 2024; integração com gestão de rede operacional

*Fonte: Pixelplex (2025); Energiesmedia (2026)*

Para geradoras brasileiras, o modelo Siemens é a referência para a próxima geração de certificação — além do I-REC padrão. O mercado brasileiro ainda está estruturando o I-REC básico, mas as exigências de matching 24/7 já chegam via cadeia de fornecimento de multinacionais com metas SBT. Geradoras que estruturarem certificação com granularidade de metadados desde o início não precisarão migrar a arquitetura quando essas exigências se tornarem padrão.

#### CASE 6 — PLATAFORMA SETORIAL DE PADRÃO ABERTO

### 5.6 Energy Web Foundation — 20+ Países

A Energy Web Foundation (EWF) é uma organização sem fins lucrativos que desenvolveu a Energy Web Chain — a blockchain de código aberto construída especificamente para o setor elétrico, com mecanismo de consenso *Proof of Authority* (PoA) e validadores identificados que são as próprias organizações do setor: utilities, operadores de sistema, reguladores e empresas de tecnologia energética (Energy Web, 2021).

O posicionamento estratégico da EWF é diferente dos demais cases: ela não opera uma plataforma proprietária, mas provê o padrão de infraestrutura que outras organizações usam para construir suas soluções. Em 2025, mais de 80 organizações do setor elétrico global são

parceiras e validadoras da Energy Web Chain — incluindo Shell, Siemens, Vodafone e operadores de sistema de mais de 20 países (Zoniq, 2025).

A relevância regulatória da Energy Web Chain está crescendo rapidamente. A Diretiva de Energias Renováveis III da União Europeia (RED III), que os países membros devem transpor em lei até meados de 2026, estabelece requisitos de rastreabilidade de energia renovável que se alinham diretamente com o que a Energy Web Chain provê. Se o RED III obrigar utilities europeias a validar RECs apenas em plataformas blockchain certificadas, a Energy Web Chain se torna o padrão de referência global — e certificados emitidos em outras blockchains podem ter dificuldade de acesso ao mercado europeu (Crypto News Navigator, 2026).

#### CASE 6 ENERGY WEB FOUNDATION | 20+ Países · Global

*Blockchain setorial aberta com validadores identificados do setor elétrico*

**PROBLEMA** Setor elétrico precisava de uma blockchain que fosse eficiente energeticamente, compatível com regulação, governada por participantes do próprio setor e interoperável entre países

**SOLUÇÃO** Energy Web Chain: PoA com validadores identificados (utilities, TSOs, reguladores); 54.000x menos energia que PoW; tokens EWT para custos de transação; marketplace descentralizado para energia, RECs e créditos de EV; integração com Red III europeu

**RESULTADO** 80+ organizações parceiras em 20+ países; EV charging credits tokenizados; referência provável para conformidade com RED III europeu (transpor até mid-2026); padrão que a Iberdrola usa para certificar origem renovável aos clientes

*Fonte: Energy Web Foundation (2021, 2025); Crypto News Navigator (2026); Zoniq (2025)*

Para geradoras brasileiras, a Energy Web Chain é a plataforma com menor risco de obsolescência — por ser aberta, governada pelo setor e alinhada ao marco regulatório europeu que tende a influenciar padrões globais. Geradoras que exportam ou vendem para compradores com cadeia de suprimento europeia devem considerar a Energy Web Chain como plataforma base para certificação de origem.

#### SÍNTESE COMPARATIVA

## 5.7 O Que os Seis Cases Ensinam ao Brasil

Os seis casos cobrem os três temas centrais do e-book — certificação de origem, integração com BESS e tokenização de ativos — com resultados mensuráveis e em diferentes estágios de maturidade. A tabela a seguir consolida os elementos principais para facilitar a comparação:

Empresa / Projeto	País / Alcance	Tema	Plataforma	Resultado principal
Power Ledger / TraceX	Austrália / EUA	Certificação REC	Solana	<b>Preço 43% menor; 1,67 GWh negociado; escala a 50.000 TPS</b>
ACCIONA GreenChain + FlexiDAO	Espanha / Portugal	Rastreabilidade de origem	Energy Web	<b>1ª empresa a rastrear energia renovável por blockchain em tempo real; parceria IKEA</b>
WePower	Estônia / Europa	Tokenização de PPAs	Ethereum	<b>+€50 mi em PPAs tokenizados; 100% de smart meter na Estônia</b>
TenneT + IBM + Sonnen	Alemanha / Holanda	BESS + balanceamento de rede	Hyperledger Fabric	<b>1ª integração blockchain + baterias residenciais na rede; base do Equigy</b>
Siemens Energy Green Certs	Global	Certificados verdes tokenizados	Blockchain permissionada	<b>Certificados com metadados (tipo, CO<sub>2</sub>, localização, timestamp) — rastreáveis por todos os stakeholders</b>
Energy Web Foundation	20+ países	Plataforma setorial aberta	Energy Web Chain (PoA)	<b>80+ utilities parceiras; EV charging credits; padrão de referência para Red III europeu</b>

**🔑 TRÊS LIÇÕES TRANSVERSAIS DOS CASOS INTERNACIONAIS**

1. Nenhum case começou com blockchain. Todos começaram com um problema operacional concreto — dupla contagem, latência de certificação, gargalo de balanceamento de rede — e escolheram blockchain como a solução mais adequada para aquele problema específico. 2. A plataforma importa menos do que a integração. Todos os cases bem-sucedidos investiram mais em integração com dados do mundo físico (medidores, SCADA, telemetria) do que na própria blockchain. 3. O regulador viabilizou todos os cases. Nenhum deles operou no vácuo regulatório — em todos os casos, houve alguma forma de reconhecimento ou sandbox regulatório que permitiu a implementação.



Figura 12. Casos internacionais de blockchain no setor elétrico e sua convergência para o mercado brasileiro.

## Conclusão do Capítulo

Os seis casos demonstram um padrão consistente: blockchain funciona no setor elétrico quando resolve um problema informacional concreto — não quando é adotado como sinal de modernidade tecnológica. O mercado australiano tinha o problema da dupla contagem de RECs; a Power Ledger resolveu. A Alemanha tinha o problema de coordenar recursos distribuídos de armazenamento; a TenneT e a Sonnen resolveram. A Estônia tinha capital escasso para novos projetos renováveis; a WePower resolveu.

O Brasil tem problemas análogos: 90% da energia renovável gerada sem certificação, gargalo de financiamento para BESS, ausência de rastreabilidade em tempo real da origem energética. As soluções estão mapeadas — em produção, com resultados verificáveis, em países com regulação comparável à brasileira. O que o Brasil tem de diferente, e a seu favor, é a RN 1.150 — que dá respaldo regulatório explícito ao blockchain no setor elétrico — e a plataforma CCEE Origem — que centraliza o registro de certificados. Nenhum dos seis países tinha essas duas condições combinadas quando iniciou suas implementações.

***O Brasil não precisa inventar o modelo. Precisa implementar o que já funciona — com o respaldo regulatório que os outros países tiveram que construir do zero.***

## Referências — Capítulo 5

- [1] ACCIONA. ACCIONA uses blockchain to secure its energy management software. Madrid: ACCIONA, 2020. Disponível em: <<https://www.acciona.com/updates/news/acciona-uses-blockchain-to-secure-its-energy-management-software>>. Acesso em: maio 2026.
- [2] CMR BERKELEY. Powering the energy sector through blockchain. California Management Review, dez. 2024. Disponível em: <<https://cmr.berkeley.edu/2024/12/powering-the-energy-sector-through-blockchain/>>. Acesso em: maio 2026.
- [3] COINLAW.IO. Blockchain in energy trading statistics 2025. Coinlaw, mar. 2026. Disponível em: <<https://coinlaw.io/blockchain-in-energy-trading-statistics/>>. Acesso em: maio 2026.
- [4] CRYPTO NEWS NAVIGATOR. Buy Power Ledger before these three energy mandates hit. Crypto News Navigator, abr. 2026. Disponível em: <<https://www.cryptonewsnavigator.com/academy/article/buy-power-ledger-before-these-three-energy-mandates-hit>>. Acesso em: maio 2026.
- [5] DROOMDROOM. Top energy companies using blockchain technology. Droomdroom, mar. 2024. Disponível em: <<https://droomdroom.com/top-energy-companies-using-blockchain-technology/>>. Acesso em: maio 2026.
- [6] ENERGIESMEDIA. How blockchain powers energy trading: real results from top energy companies. Energies Media, abr. 2025. Disponível em: <<https://energiesmedia.com/how-blockchain-powers-energy-trading-real-results-from-top-energy-companies/>>. Acesso em: maio 2026.
- [7] ENERGIESMEDIA. Top 10 providers of blockchain solutions for the energy sector. Energies Media, jan. 2026. Disponível em: <<https://energiesmedia.com/top-10-providers-of-blockchain-solutions-for-the-energy-sector/>>. Acesso em: maio 2026.
- [8] ENERGY WEB FOUNDATION. Energy Web Chain: tecnologia blockchain para o setor de energia. Zug: EWF, 2021, 2025. Disponível em: <<https://www.energyweb.org>>. Acesso em: maio 2026.
- [9] EQUIGY. Sonnen pilot: how home storage helps to balance grid. Equigy, 2021. Disponível em: <<https://equigy.com/2020/04/09/sonnen-pilot-how-home-storage-helps-to-balance-grid/>>. Acesso em: maio 2026.
- [10] IBM. Revolutionizing renewable energy certificate markets with tokenization. IBM Think, nov. 2025. Disponível em: <<https://www.ibm.com/think/topics/blockchain-for-renewable-energy-certificates>>. Acesso em: maio 2026.
- [11] PIXELPLEX. Blockchain in energy: key benefits and use cases. Pixelplex, mar. 2025. Disponível em: <<https://pixelplex.io/blog/blockchain-energy-industry/>>. Acesso em: maio 2026.
- [12] POWER MAG. Blockchain pilot shows promise for grid balancing. Power Magazine, fev. 2020. Disponível em: <<https://www.powermag.com/blockchain-pilot-shows-promise-for-grid-balancing/>>. Acesso em: maio 2026.
- [13] SONNEN GROUP. Blockchain pilot reveals potential of decentralised home storage systems. Bayreuth: Sonnen, mai. 2019. Disponível em: <<https://sonnengroup.com/blockchain-pilot-reveals-potential-decentralised-home-storage-systems-tomorrows-energy/>>. Acesso em: maio 2026.
- [14] TENNET. TenneT continuing with blockchain after successful pilots. Arnhem: TenneT, 2019. Disponível em: <<https://www.tennet.eu/about-tennet/innovations/crowd-balancing-platform-blockchain-technology>>. Acesso em: maio 2026.
- [15] ZONIQX. Top 10 tokenization platforms for energy and ESG-related funds in 2025. Zoniq, out. 2025. Disponível em: <<https://www.zoniq.com/resources/top-10-tokenization-platforms-for-energy-and-esg-related-funds-in-2025>>. Acesso em: maio 2026.

## CAPÍTULO 6

# Como Avaliar e Contratar

Critérios de seleção, armadilhas comuns, cenários 2030 e o próximo passo para a sua geradora

<b>3–6 m</b>	<b>R\$ 5–7</b>	<b>18–24 m</b>	<b>5</b>
<b>PRAZO DE IMPLEMENTAÇÃO TÍPICO</b> <i>Para usina com infraestrutura preparada — 6–12 meses se precisar modernizar sensoriamento [cenário provável]</i>	<b>CUSTO POR I-REC SEM BLOCKCHAIN</b> <i>Estimativa de custo administrativo por certificado no modelo manual — blockchain reduz em 40–60% [cenário provável]</i>	<b>JANELA REGULATÓRIA FAVORÁVEL</b> <i>Período de menor atrito antes da regulamentação definitiva da ANEEL para blockchain em energia [cenário provável]</i>	<b>CRITÉRIOS INEGOCIÁVEIS</b> <i>Critérios mínimos para avaliar qualquer fornecedor de blockchain para o setor elétrico (nMentors, 2026)</i>

A decisão de implementar blockchain em uma geradora de energia raramente é tomada por um especialista técnico. É tomada em uma reunião de diretoria, por pessoas com agenda curta e poucos dados confiáveis, pressionadas entre a urgência regulatória da ANEEL e a oferta crescente de fornecedores que prometem resultados rápidos com propostas genéricas. Este capítulo existe para mudar essa dinâmica. Não é um guia de TI. É um roteiro de decisão executiva — com os critérios que separam fornecedores competentes de vendedores de conceito, as armadilhas que transformam pilotos promissores em projetos abandonados, os cenários plausíveis para o setor até 2030 e o roadmap que a geradora deve seguir nos próximos 12 meses. A questão não é se blockchain vale o investimento. Os cinco capítulos anteriores responderam isso. A questão é como contratar bem — e como garantir que o projeto entregue resultado.

## CRITÉRIOS DE SELEÇÃO

## 6.1 Os 5 Critérios Inegociáveis para Avaliar um Fornecedor

O mercado de consultoria em blockchain para energia no Brasil ainda é jovem — o que significa que há muitos fornecedores com conhecimento teórico sólido e pouca experiência operacional no setor elétrico regulado. A diferença entre os dois perfis não aparece na apresentação comercial. Aparece no projeto, quando o fornecedor encontra a primeira integração com SCADA legado ou o primeiro questionamento da ANEEL sobre o dossiê de pré-autorização.

Cinco critérios devem ser verificados antes de assinar qualquer contrato de consultoria ou implementação de blockchain para certificação de origem ou tokenização de BESS:

Como funciona	Tensões e escolhas	Efeito executivo	Nível
Critério 1 — Experiência setorial verificável: o fornecedor tem cases documentados no setor elétrico regulado — não apenas em blockchain genérico ou em outros setores	Cases em finanças, agronegócio ou saúde demonstram competência em blockchain, mas não em SCADA, protocolos IEC, CCEE e ANEEL — são contextos radicalmente diferentes	Solicitar referências de projetos no setor elétrico com contato do cliente para verificação direta; caso não existam, avaliar se o fornecedor tem parceiro técnico com essa expertise	<b>CRÍTICO</b>
Critério 2 — Conhecimento regulatório da ANEEL: o fornecedor conhece a RN 1.150, a RN 1.133, o sandbox regulatório e o rito de pré-autorização para atividades inovadoras	Fornecedor que não conhece esses documentos não conseguirá elaborar o dossiê de pré-autorização com qualidade suficiente para passar pelo Circuito Deliberativo Eletrônico	Pedir ao fornecedor que explique, em 5 minutos, o que o § 7º do art. 629 da RN 1.000 exige de um projeto blockchain — quem não sabe a resposta não está qualificado para o projeto	<b>CRÍTICO</b>
Critério 3 — Capacidade de integração com sistemas legados: o fornecedor tem experiência com os protocolos SCADA mais comuns (Modbus, DNP3, IEC 61968) e com plataformas de medição da CCEE	Integração é onde 70% dos projetos blockchain em energia falham ou estouram o orçamento — fornecedor sem essa capacidade entregará um blockchain desconectado da realidade operacional da usina	Pedir proposta técnica detalhada da camada de integração (não da camada blockchain) — é aí que se separa quem sabe fazer de quem sabe falar	<b>CRÍTICO</b>
Critério 4 — Auditoria de smart contracts por terceiro: o fornecedor inclui auditoria de código por empresa independente antes do go-live, ou tem parceiro credenciado para isso	Smart contract com bug implantado em blockchain é imutável — não pode ser corrigido sem novo deploy e migração de dados, o que paralisa a certificação	Auditoria de smart contract deve ser item explícito no escopo e no orçamento; custo estimado R\$ 30–80 mil [cenário provável]; fornecedor que não inclui isso está subestimando o risco	<b>ALTO</b>
Critério 5 — Modelo de preço por entrega, não por hora: o contrato prevê entregas mensuráveis (MVP funcional, integração validada, certificado emitido) com pagamento vinculado a elas	Contrato por hora em projeto de integração complexa é risco integral da geradora — o fornecedor não tem incentivo para ser eficiente	Exigir modelo de preço fixo por fase com critério de aceite definido; pagamentos liberados após validação técnica de cada entrega — não após horas trabalhadas	<b>ALTO</b>

## ARMADILHAS COMUNS

## 6.2 As 5 Armadilhas que Transformam Pilotos em Projetos Abandonados

A maioria dos projetos blockchain em energia que não chegam à produção não falham por problema técnico. Falham por problema de escopo, governança ou expectativa. Conhecer as armadilhas mais comuns antes de iniciar o projeto é o investimento de menor custo e maior retorno disponível.

### ⚠ ARMADILHA 1 — COMEÇAR PELA BLOCKCHAIN, NÃO PELO PROBLEMA

Projetos que começam pela escolha da plataforma blockchain antes de mapear o problema operacional específico da geradora invariavelmente constroem soluções que não encaixam na realidade. A pergunta correta não é 'qual blockchain usar?'. É 'qual é o dado que precisa ser imutável e compartilhado entre quais partes, com qual frequência?'. A resposta a essa pergunta determina a plataforma, o nível de descentralização, o custo de operação e o prazo de implementação. (Nava, 2026)

### ⚠ ARMADILHA 2 — SUBESTIMAR A CAMADA DE INTEGRAÇÃO

A blockchain é a parte mais simples do projeto. A integração com o SCADA da usina, com os medidores certificados e com a plataforma CCEE Origem é onde o orçamento estoura e o prazo atrasa. Em projetos bem conduzidos, 60–70% do tempo e do custo de implementação está na camada de integração — não na camada blockchain. Fornecedor que apresenta proposta com blockchain detalhada e integração genérica está revelando onde não tem experiência. (nMentors, observação de campo, 2026)

### ⚠ ARMADILHA 3 — PILOTAR SEM CRITÉRIO DE ESCALA

Projetos-piloto sem critério claro de escala são projetos sem futuro. Um piloto que funciona em uma usina com 10 medidores e protocolo SCADA moderno pode não escalar para uma usina com 200 medidores e SCADA de 2008. O critério de aceite do piloto deve incluir o teste de stress com o volume máximo de transações esperado na operação plena — não apenas o volume mínimo do ambiente de teste.

### ⚠ ARMADILHA 4 — IGNORAR A GOVERNANÇA DA REDE

Quem administra os nós da blockchain permissionada? Quem aprova novos participantes? Quem atualiza os smart contracts quando a regulação muda? Projetos que não definem governança antes do go-live criam dependência permanente do fornecedor — que passa a ter poder de veto sobre qualquer mudança. A governança da rede deve estar documentada no contrato e ser operada pela geradora, não pelo fornecedor.

### ⚠ ARMADILHA 5 — TRATAR BLOCKCHAIN COMO PROJETO DE TI

Blockchain no setor elétrico é um projeto de negócio com componente tecnológico — não o contrário. As decisões mais críticas não são técnicas: são regulatórias (como estruturar o dossiê ANEEL), financeiras (como modelar o ROI do certificado) e comerciais (como negociar contratos premium com compradores ESG). Projetos liderados pela área de TI sem envolvimento direto da diretoria comercial e jurídica têm menor taxa de adoção interna e menor captura de valor de mercado.

### 6.3 O Que Muda até 2030 — Três Cenários para o Setor

A decisão de implementar blockchain agora ou esperar depende de qual cenário o tomador de decisão acredita ser mais provável. Os três cenários abaixo não são previsões — são ferramentas de planejamento estratégico. Cada um tem sinais precoces observáveis que permitem ajustar a estratégia antes que o cenário se confirme plenamente.

Cenário	Premissas	Sinal precoce	Impacto	Resposta recomendada
<b>Base</b>	ANEEL consolida marco, CCEE Origem escala, mercado livre atinge 60% do consumo	Certificação blockchain vira padrão de mercado — não diferencial	Geradora sem blockchain perde contratos ESG premium	Implementar agora, capturar ágio enquanto existe; tornar-se referência antes do padrão
<b>Otimista</b>	LRCAP de BESS operacional, tokenização regulamentada CVM, DREX integrado	BESS tokenizado vira principal alternativa ao crédito bancário para renovável	Geradoras com estrutura de tokenização captam a taxas 2–4 p.p. (pontos percentuais) menores	Estruturar tokenização BESS em paralelo com certificação — capturar os dois mercados
<b>Estressado</b>	LRCAP postergado, marco CVM atrasa, concorrência de grandes consultorias aumenta	Mercado de certificação cresce, mas pressão de preço comprime margens de fornecedores	Geradoras com blockchain próprio preservam margem; dependentes de intermediários, não	Implementar infraestrutura blockchain internamente — reduzir dependência de plataformas de terceiros

Os três cenários convergem em uma conclusão: em nenhum deles a geradora que implementar blockchain agora perde posição competitiva. No cenário base, ela captura o ágio antes que o blockchain vire padrão. No cenário otimista, ela está posicionada para o mercado de tokenização. No cenário estressado, ela tem infraestrutura própria que preserva margem. O único cenário em que a geradora perde é o que não está na tabela: o de esperar indefinidamente.

#### ROADMAP DE IMPLEMENTAÇÃO

### 6.4 Roadmap — O Que Fazer nos Próximos 12 Meses

O roadmap abaixo é baseado nos prazos reais observados nos cases internacionais do Capítulo 5 e adaptado à regulação brasileira vigente em 2026. Cada fase tem ações específicas e um critério de aceite por evidência — não por julgamento subjetivo do fornecedor.

T+90 DIAS Diagnóstico e Arquitetura	T+180 DIAS MVP e Pré-autorização ANEEL	T+12 MESES Go-live e Mercado
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Diagnóstico regulatório: mapeamento das obrigações RN 1.133 e RN 1.150 para a geradora</li> <li>▪ Diagnóstico técnico: avaliação das 5 camadas (medidores, protocolos SCADA, capacidade IoT, prontidão blockchain, interface CCEE)</li> <li>▪ Seleção de plataforma: Energy Web Chain, Hyperledger Fabric ou CPQD Trace — com justificativa documentada</li> <li>▪ Início do processo de registro no Instituto Totum (se ainda não feito)</li> <li>▪ Contratação de assessoria jurídica para análise regulatória CVM + ANEEL</li> </ul> <p><b>Critério:</b> Relatório de diagnóstico entregue e aprovado pela diretoria — identifica gaps e define arquitetura-alvo</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Desenvolvimento do middleware de integração SCADA–oráculo–blockchain</li> <li>▪ Implantação dos smart contracts de emissão e aposentadoria de certificados</li> <li>▪ Auditoria de smart contracts por terceiro independente</li> <li>▪ Emissão dos primeiros certificados I-REC via blockchain em ambiente de homologação</li> <li>▪ Elaboração e protocolo do dossiê de pré-autorização ANEEL (RN 1.133 + RN 1.150)</li> </ul> <p><b>Critério:</b> Primeiro certificado emitido com sucesso via blockchain e protocolo ANEEL registrado no SEI</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Go-live do sistema em produção: emissão contínua de certificados via smart contract</li> <li>▪ Integração com plataforma CCEE Origem para registro oficial dos certificados</li> <li>▪ Primeiros contratos com compradores ESG premium com cláusula de certificação blockchain</li> <li>▪ Avaliação de viabilidade para tokenização de BESS (se aplicável ao perfil da geradora)</li> <li>▪ Relatório de ROI da fase 1: receita de REC + redução de custo operacional vs. investimento</li> </ul> <p><b>Critério:</b> Sistema em produção há 30 dias sem incidentes + primeiro contrato ESG premium assinado com cláusula de certificação blockchain</p>



## A DECISÃO CENTRAL

## 6.5 A Questão não é Tecnológica

Ao longo deste e-book, descrevemos o contexto regulatório que abriu a porta (Capítulo 1), o mercado de certificação que cria a demanda (Capítulo 2), a tecnologia que resolve o problema (Capítulo 3), o modelo financeiro que destrava o BESS (Capítulo 4) e os cases internacionais que provam que funciona (Capítulo 5). Este último capítulo apresentou os critérios, as armadilhas, os cenários e o roadmap.

O que resta não é uma questão tecnológica. É uma questão de posicionamento competitivo. Geradoras que implementarem blockchain nos próximos 12 a 18 meses estarão em uma posição fundamentalmente diferente das que esperarem 24 a 36 meses. Não porque a tecnologia vai mudar — ela está madura. Mas porque os contratos ESG premium, os relacionamentos com compradores sofisticados e o entendimento direto com a ANEEL são ativos construídos ao longo do tempo, e eles acumulam nos pioneiros.

***A questão não é se blockchain vale o investimento. É quem vai capturar o valor dessa transição — e quem vai observar de fora enquanto outros capturam.***

A nMentors Engenharia existe para garantir que sua geradora esteja no grupo certo.

## nMentors Engenharia

*Consultoria e Implementação de Blockchain para o Setor Elétrico Brasileiro*

### O que a nMentors faz

- Diagnóstico regulatório e de prontidão técnica da geradora
- Seleção e arquitetura de plataforma blockchain (Energy Web Chain / Hyperledger / CPQD Trace)
- Integração SCADA–IoT–blockchain–CCEE Origem
- Desenvolvimento e auditoria de smart contracts de emissão e aposentadoria de certificados
- Estruturação jurídica e financeira de tokenização de BESS (SPE, CVM, smart contracts de receita)
- Elaboração de dossiê de pré-autorização ANEEL (RN 1.133 + RN 1.150)
- PMO Digital — gestão do projeto com rastreabilidade auditável de decisões e entregas

### Como iniciar

Agende uma conversa de 30 minutos. Sem compromisso, sem proposta genérica. Vamos ouvir o problema da sua geradora e indicar o próximo passo mais adequado — seja um diagnóstico, um estudo de viabilidade ou diretamente a arquitetura do projeto.

**Eduardo.Mayer@nMentors.com.br** **nMentors.com.br**

## Referências — Capítulo 6

- [1] AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA — ANEEL. Resolução Normativa nº 1.133, de 22 de setembro de 2025. Brasília: ANEEL, 2025.
- [2] AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA — ANEEL. Resolução Normativa nº 1.150, de 27 de janeiro de 2026. Brasília: ANEEL, 2026.
- [3] ABSOLAR. Energia solar deve adicionar 10,6 GW de potência instalada em 2026. São Paulo: ABSOLAR, jan. 2026. Disponível em: <<https://www.absolar.org.br>>. Acesso em: maio 2026.
- [4] ECHOENERGIA. Setor elétrico 2026: o que muda na energia, no mercado e nas decisões das empresas. Echo Energia, mar. 2026. Disponível em: <<https://echoenergia.com.br/blog/setor-eletrico-2026>>. Acesso em: maio 2026.
- [5] iCOLAB. Blockchain no setor elétrico: aplicações, oportunidades e desafios. São Paulo: iCoLab, set. 2025. Disponível em: <<https://icolab.org.br/noticia/blockchain-no-setor-eletrico-aplicacoes-oportunidades-e-desafios/>>. Acesso em: maio 2026.
- [6] NAVA TECHNOLOGY. Blockchain no setor de energia: como rastrear origem e combater greenwashing. São Paulo: Nava, fev. 2026. Disponível em: <<https://nava.com.br/blog/blockchain-no-setor-de-energia/>>. Acesso em: maio 2026.
- [7] UFOP. Aplicabilidade da tecnologia blockchain no setor elétrico. Ouro Preto: UFOP, 2025. Disponível em: <[https://www.monografias.ufop.br/bitstream/35400000/8101/5/MONOGRRAFIA\\_AplicabilidadeTecnologiaBlockchain.pdf](https://www.monografias.ufop.br/bitstream/35400000/8101/5/MONOGRRAFIA_AplicabilidadeTecnologiaBlockchain.pdf)>. Acesso em: maio 2026.

## CONCLUSÃO

# O Setor Elétrico que Vem

---

Ao longo dos seis capítulos deste e-book, descrevemos uma transformação que está acontecendo — não uma que pode acontecer. A Resolução Normativa ANEEL nº 1.150 reconheceu blockchain como tecnologia habilitadora. A plataforma CCEE Origem entrou em operação. O mercado de tokenização no Brasil cresceu 207% em 2025. O primeiro leilão de capacidade BESS está em tramitação. Cada um desses movimentos, isoladamente, seria um sinal. Juntos, são uma tendência estrutural.

A tese central que percorre este e-book pode ser resumida em uma sentença: o setor elétrico brasileiro está migrando de infraestrutura física passiva para infraestrutura digital programável — e essa migração cria modelos de receita, novas classes de ativos e novas exigências de compliance que as geradoras precisam estar preparadas para atender.

**Três conclusões que merecem ser levadas da leitura para a agenda executiva:**

## 1. O gargalo não é tecnológico — é de sequência

---

As tecnologias descritas neste e-book — blockchain permissionada, smart contracts, oráculos de medição, tokenização de ativos — estão maduras e em produção em múltiplos países. O que determina o sucesso de uma implementação no Brasil não é escolher a plataforma certa. É executar as etapas na ordem correta: primeiro o registro no Instituto Totum, depois a adesão à CCEE Origem, depois o diagnóstico de infraestrutura, só então a implementação blockchain. Projetos que invertem essa sequência — começando pela tecnologia antes de estruturar o processo regulatório — são projetos que estouram o orçamento e não chegam à produção.

## 2. A janela regulatória tem prazo

---

A RN 1.150 abriu o espaço para blockchain sem fechar o design. Isso é a condição mais favorável possível para pioneiros: regulação reconhecida, padrões ainda em formação, possibilidade de influenciar o que será exigido do mercado. Essa janela fecha quando a ANEEL publicar a regulamentação complementar específica para blockchain em energia — estimada para o período 2027-2028. Geradoras que implementarem antes dessa data terão posição de mercado que não poderá ser replicada a posteriori: histórico operacional, relacionamento com o regulador e contratos ESG premium com compradores que escolheram seus fornecedores certificados.

---

### 3. O valor não está na tecnologia — está na posição

---

Blockchain não vale o investimento porque é uma tecnologia interessante. Vale porque resolve problemas específicos com valor econômico mensurável: elimina a dupla contagem de certificados, reduz em 40-60% o custo operacional de certificação, habilita o acesso a compradores ESG premium com ágio de 5-15% sobre contratos convencionais e viabiliza captação de capital para BESS sem dependência exclusiva de crédito bancário dolarizado. Cada um desses benefícios tem um número associado — e esse número deve aparecer no modelo financeiro do projeto antes de qualquer decisão de investimento.

---

#### A pergunta que fica

---

Ao fechar este e-book, o gestor de uma geradora de energia renovável deve ser capaz de responder a uma pergunta simples: em 18 meses, quando um comprador corporativo com meta Science Based Target perguntar qual é o nível de rastreabilidade da energia que está contratando — minha geradora terá a resposta certa?

Se a resposta for incerta, o momento de agir é agora. Não porque a tecnologia vai mudar — ela está pronta. Mas porque os compradores, os reguladores e os concorrentes não vão esperar.

***O setor elétrico que vem não vai precisar de mais geração. Vai precisar de geração verificável.***

# Glossário

---

## A

### API (Application Programming Interface)

Conjunto de regras que permite que dois sistemas diferentes “conversem” automaticamente entre si.

No contexto deste e-book:

- uma API pode conectar o SCADA da usina à plataforma blockchain;
- pode integrar a CCEE Origem ao sistema da geradora;
- pode alimentar smart contracts com dados operacionais.

Tradução executiva

APIs são as “pontes digitais” que evitam troca manual de planilhas e retrabalho operacional.

---

## B

### BESS (Battery Energy Storage System)

Sistema de armazenamento de energia por baterias.

Funciona armazenando energia elétrica em momentos de baixa demanda ou excesso de geração e liberando essa energia em momentos de maior valor econômico ou necessidade do sistema elétrico.

Aplicações típicas

- arbitragem de energia;
- peak shaving;
- reserva de capacidade;
- suporte à estabilidade da rede;
- integração de geração renovável intermitente.

Tradução executiva

BESS transforma energia em ativo despachável e comercializável.

---

## Blockchain

Infraestrutura digital de registro distribuído e imutável.

Cada transação registrada na blockchain é validada por múltiplos participantes autorizados e encadeada criptograficamente aos registros anteriores.

No setor elétrico, blockchain serve principalmente para:

- rastrear origem de energia;
- automatizar certificação;
- registrar ativos energéticos;
- garantir auditabilidade.

O que blockchain NÃO é

- não é Bitcoin;

- não é especulação financeira;
- não é necessariamente público;
- não substitui regulação;
- não elimina necessidade de governança.

#### Tradução executiva

Blockchain é uma camada digital de confiança auditável.

## Blockchain Permissionada

Blockchain onde apenas participantes autorizados podem operar ou visualizar determinadas informações.

É o modelo dominante no setor elétrico porque:

- preserva confidencialidade;
- reduz consumo energético;
- facilita conformidade regulatória;
- permite governança controlada.

#### Exemplos

- Hyperledger Fabric;
- Energy Web Chain;
- R3 Corda.

#### Tradução executiva

É a versão corporativa e regulada da blockchain.

## C

### CCEE (Câmara de Comercialização de Energia Elétrica)

Entidade responsável pela contabilização e liquidação do mercado brasileiro de energia elétrica.

Opera:

- contratos;
- medições;
- liquidação financeira;
- certificações energéticas.

#### Tradução executiva

A CCEE é o “backoffice institucional” do mercado elétrico brasileiro.

## CCEE Origem

Plataforma brasileira de certificação de energia renovável criada pela CCEE.

Seu objetivo é:

- rastrear certificados;
- evitar dupla contagem;
- aumentar confiabilidade do mercado de energia renovável.

## Relação com blockchain

---

Blockchain pode atuar como camada complementar de rastreabilidade e automação sobre a infraestrutura da CCEE Origem.

---

## Compliance ESG

Conjunto de práticas usadas para comprovar conformidade ambiental, social e de governança.

No contexto energético:

- origem renovável;
- rastreabilidade;
- emissões evitadas;
- auditoria de dados;
- integridade dos certificados.

Tradução executiva

É a capacidade de provar, e não apenas declarar, sustentabilidade.

---

## Consenso (Blockchain)

Mecanismo usado para validar transações na blockchain.

Em blockchains corporativas, os mecanismos mais comuns são:

- Proof of Authority (PoA);
- PBFT;
- consenso permissionado.

Tradução executiva

É o sistema que garante que ninguém altere registros sozinho.

---

## D

### DREX

Moeda digital oficial do Banco Central do Brasil.

Projeto de infraestrutura financeira programável que poderá permitir: liquidação automática;

- contratos digitais;
- integração com ativos tokenizados.

Tradução executiva

É o “Real programável”.

---

## E

### Energy Web Chain

Blockchain desenvolvida especificamente para o setor elétrico global.

Focada em:

- rastreabilidade energética;
- RECs;
- mobilidade elétrica;
- integração ESG;
- utilities.

### Tradução executiva

Hoje é uma das plataformas blockchain mais alinhadas ao setor elétrico mundial.

---

## Escopo 2 (GHG Protocol)

Categoria de emissões indiretas associadas ao consumo de energia elétrica.

Empresas usam I-RECs e certificados renováveis para comprovar redução dessas emissões.

---

### Tradução executiva

É a “pegada de carbono da energia consumida”.

---

## G

### Geração Verificável

Conceito central deste e-book.

Refere-se à capacidade de:

- provar origem da energia;
  - rastrear geração;
  - auditar certificados;
  - validar consumo renovável em tempo real.
- 

### Tradução executiva

Não basta gerar energia renovável.

Será necessário provar digitalmente sua origem.

---

## H

### Hash Criptográfico

Identificador matemático único gerado a partir de um conjunto de dados.

Se qualquer informação mudar:

- o hash muda;
  - a adulteração fica evidente.
- 

### Tradução executiva

É a “impressão digital” do registro blockchain.

---

## Hyperledger Fabric

Plataforma blockchain permissionada desenvolvida pela Linux Foundation.

Muito usada em:

- bancos;
  - logística;
  - indústria;
  - utilities;
  - integração corporativa.
- 

### Tradução executiva

Uma das plataformas corporativas mais maduras para blockchain empresarial.

---

## I

### I-REC (International Renewable Energy Certificate)

Certificado internacional de energia renovável.

Cada I-REC representa:

- 1 MWh de energia renovável gerado.
- Usado para:
- metas ESG;
- relatórios de carbono;
- comprovação de energia limpa.

Tradução executiva

É o “comprovante internacional” da energia renovável.

---

### Integração SCADA–Blockchain

Conexão entre os sistemas operacionais da usina e a infraestrutura blockchain.

É a etapa mais crítica dos projetos.

Tradução executiva

É o ponto onde o mundo físico encontra o registro digital auditável.

## L

### Ledger

Livro-razão digital.

Na blockchain:

- é distribuído;
- compartilhado;
- imutável;
- verificável.

Tradução executiva

É o registro oficial das transações.

---

### LGPD

Lei Geral de Proteção de Dados.

No contexto blockchain:

- cria desafios quando dados pessoais são gravados em registros imutáveis.

Tradução executiva

Define o que pode ou não ser armazenado digitalmente sobre pessoas.

---

### LRCAP (Leilão de Reserva de Capacidade)

Leilão regulado voltado à contratação de potência firme para o sistema elétrico brasileiro.

O LRCAP BESS é considerado um marco importante para armazenamento de energia no Brasil.

Tradução executiva

É um mecanismo de contratação de segurança energética.

---

## M

### Matching 24/7

Modelo avançado de rastreabilidade energética.

Busca comprovar que:

- o consumo ocorreu simultaneamente à geração renovável correspondente.

Tradução executiva

É a próxima geração do mercado ESG energético.

---

### Middleware

Camada intermediária que conecta sistemas diferentes.

Frequentemente:

- SCADA;
- IoT;
- blockchain;
- plataformas regulatórias.

Tradução executiva

É o “tradutor” entre sistemas incompatíveis.

---

## O

### Oráculo (Blockchain Oracle)

Componente que leva dados do mundo físico para a blockchain.

Exemplo:

- leitura do medidor;
- geração da usina;
- receita operacional do BESS.

Tradução executiva

É a “ponte de confiança” entre operação física e registro digital.

---

## P

### Peak Shaving

Uso do BESS para reduzir picos de consumo energético.

Permite:

- redução de demanda contratada;
- redução de custo tarifário.

Tradução executiva

É usar bateria para evitar pagar energia no horário mais caro.

---

### PoA (Proof of Authority)

Mecanismo de consenso blockchain baseado em validadores autorizados.

---

Consome muito menos energia que mineração tradicional.

Tradução executiva

É o modelo de consenso preferido por utilities e reguladores.

---

## PPA (Power Purchase Agreement)

Contrato de compra e venda de energia de longo prazo.

Muito usado por:

- geradoras;
- comercializadoras;
- data centers;
- multinacionais.

Tradução executiva

É o contrato que garante receita futura da energia.

---

## R

### REC (Renewable Energy Certificate)

Certificado associado à geração renovável.

Pode existir em múltiplos padrões:

- I-REC;
- GO europeu;
- certificados locais.

Tradução executiva

É a prova comercial da energia limpa.

---

### ROI (Return on Investment)

Retorno financeiro do investimento.

No contexto blockchain energético:

- redução de custos;
- receita ESG;
- eficiência operacional;
- valorização comercial.

Tradução executiva

Quanto o projeto devolve financeiramente ao longo do tempo.

---

## S

### Sandbox Regulatório

Ambiente controlado onde reguladores permitem testes de inovação com supervisão reduzida.

Usado por:

- ANEEL;
- CVM;
- Banco Central.

## Tradução executiva

É um “laboratório regulado” para testar novos modelos.

## SCADA

Sistema usado para supervisão e controle operacional de usinas e infraestrutura industrial.

Monitora:

- geração;
- sensores;
- alarmes;
- medição;
- equipamentos.

## Tradução executiva

É o sistema nervoso operacional da usina.

## Smart Contract

Programa executado automaticamente dentro da blockchain.

Pode:

- emitir certificados;
- distribuir receitas;
- registrar ativos;
- aposentar RECs.

## Tradução executiva

É uma automação contratual auditável.

## T

### Token

Representação digital de um ativo, direito ou valor registrada em blockchain.

Pode representar:

- receita;
- participação financeira;
- energia;
- certificados;
- ativos físicos.

## Tradução executiva

É a versão digital programável de um ativo econômico.

## Tokenização

Processo de converter ativos físicos ou financeiros em representação digital via blockchain.

Exemplos

- BESS;
- debêntures;
- PPAs;

- 
- RECs.

### Tradução executiva

É transformar infraestrutura física em ativo digital negociável.

---

## TRL (Technology Readiness Level)

Indicador de maturidade tecnológica.

Usado para avaliar:

- se uma solução é experimental;
- piloto;
- validada;
- operacional.

### Tradução executiva

É o “grau de prontidão” da tecnologia.

---

## U

### Utility

Empresa do setor elétrico responsável por:

- geração;
- transmissão;
- distribuição;
- comercialização.

### Tradução executiva

Termo internacional usado para concessionárias e grandes operadores elétricos.

---

## V

### Validador

Participante autorizado a confirmar transações na blockchain.

No setor elétrico podem ser:

- utilities;
- operadores de rede;
- reguladores;
- instituições certificadoras.

### Tradução executiva

São os “cartórios digitais” da rede blockchain.

---

## W

### Web3

Conceito de infraestrutura digital descentralizada baseada em blockchain.

No setor elétrico, o termo é usado com cautela porque:

- o setor é altamente regulado;
- governança central ainda é necessária.

## Tradução executiva

Web3 no setor elétrico tende a ser híbrida: descentralizada tecnologicamente, mas regulada institucionalmente.

## SOBRE O AUTOR



## Eduardo Mayer Fagundes

Engenheiro eletricitista com mestrado em Ciência da Computação pela Universidade Presbiteriana Mackenzie, onde também lecionou disciplinas de pós-graduação em governança de cibersegurança, tecnologias disruptivas e ciência de dados.

É fundador e CEO da nMentors Engenharia, empresa de consultoria e implementação de projetos de tecnologia para o setor de energia e infraestrutura, com foco em blockchain, inteligência artificial aplicada e gestão de projetos digitais. É também fundador do eFagundes.com Think Tank, plataforma de inteligência estratégica para executivos dos setores de energia, tecnologia e infraestrutura.

Sua trajetória executiva inclui as posições de CIO da AES Eletropaulo e gerente de TI da Ford South America. Ao longo de mais de 25 anos de atuação, liderou projetos de transformação digital em energia, mobilidade e manufatura em múltiplos países.

É pesquisador e produtor de conteúdo regular sobre a convergência entre inteligência artificial, blockchain e infraestrutura energética — com publicações no eFagundes.com, na nMentors Academy e em veículos especializados do setor elétrico. com frequentes contribuições e entrevistas para veículos como G1, CNN Brasil, UOL/Revista Gama e Sputnik.

### CONTATO E SERVIÇOS

**nMentors.com.br**

Eduardo.Mayer@nMentors.com.br

t

**O setor elétrico que emerge nesta década exigirá  
mais do que geração renovável.**

**Exigirá geração verificável.**

Blockchain, rastreabilidade energética e ativos digitais não são mais hipóteses  
tecnológicas.

São infraestrutura estratégica para o novo ciclo do setor elétrico brasileiro.