



REVISTA BRASILEIRA DE MECATRÔNICA
FACULDADE SENAI DE TECNOLOGIA MECATRÔNICA

**BLOCKCHAIN NO MERCADO DE ENERGIA: PROPOSIÇÃO DE UM MODELO DE
COMERCIALIZAÇÃO DE CERTIFICADOS**

BLOCKCHAIN IN THE ENERGY MARKET: PROPOSING A MODEL FOR TRADING CERTIFICATES

Arthur Oliveira Souza^{1, i}
Hermom Leal Moreira^{2, ii}

Data de submissão: (10/08/2023) Data de aprovação: (18/12/2023)

RESUMO

O Mercado de Energia (ME) e a Eficiência Energética (EE) são alguns dos temas mais discutidos nos últimos anos devido à escassez hídrica e frequentes aumentos nos preços de energia elétrica. Da mesma maneira, a discussão sobre a redução de emissão de CO₂, gradativamente obtém mais relevância no mercado e o conceito de ser mais eficiente em seu processo produtivo também vem sendo muito abordado, pois é uma questão de modernização do mercado elétrico e EE. A temática de modernização do mercado de energia, neste artigo, visa abordar como o *Blockchain*, juntamente aos Contratos Inteligentes (CI) podem incorporar valor otimizando processos de faturamentos no ambiente regulado e livre de energia, segurança, credibilidade, visando assim focar também no uso do *Blockchain*, e identificar quais são as oportunidades de implementação. Entender seus conceitos, os ambientes de aplicação, utilização no mercado livre de energia, assim como a possível aplicação no setor de EE, revisando também os estudos e conceitos aplicados no mercado mundial relacionados a esta tecnologia. Com a utilização do *Blockchain* levanta-se também os desafios que essa tecnologia traz consigo para implementação no âmbito técnico, mercadológico, comportamental, legal e regulatório. Com isso, este artigo irá se aprofundar nesses pontos, assim como seu valor intrínseco, comparação entre os pontos fortes e fracos do uso dessa tecnologia e seus benefícios. Será abordado sobre o modelo de comercialização de certificados de bonificação de ações de EE, com o uso do Blockchain utilizando o Serviço Nacional de Aprendizagem (SENAI) como exemplo e modelo.

Palavras-chave: mercado de energia; *Blockchain*; contratos inteligentes; criptoativos.

¹ Pós-Graduado em Eficiência Energética na Indústria na Faculdade SENAI. E-mail: arthur_oliveirasouza@hotmail.com

² Professor na Faculdade SENAI São Paulo –Campus “Mariano Ferraz”. E-mail: hermom.moreira@sp.senai.br

ABSTRACT

The Energy Market (ME) and Energy Efficiency (EE) are some of the most discussed topics in recent years due to water scarcity and frequent increases in electricity prices. Likewise, the discussion on the reduction of CO₂ emissions is gradually gaining more relevance in the market and the concept of being more efficient in its production process has also been much discussed, as it is a matter of modernizing the electricity and EE market. The theme of modernizing the energy market in this article aims to address how Blockchain, together with smart contracts (CI) and what they can incorporate value by optimizing billing processes in the regulated and free energy environment, security, credibility, thus also aiming to focus on in the use of Blockchain and identify what are the implementation opportunities. Understand their concepts, application environments, use in the free energy market, as well as the possible application in the EE sector, also reviewing the studies and concepts applied in the world market related to this technology. With the use of Blockchain, the challenges that this technology brings with it for implementation in the technical, marketing, behavioral, legal and regulatory scope also arise. Therefore, this article will go deeper into these points, as well as its intrinsic value, comparison between the strengths and weaknesses of using this technology and its benefits. It will be approached about the model of commercialization of EE share bonus certificates, with the use of Blockchain using SENAI (National Service of Industrial Learning) as an example and model.

Keywords: energy market; Blockchain; smart contracts; crypto assets.

1 INTRODUÇÃO

Este estudo envolve aplicações de tecnologia e inovação com foco no mercado de energia e no setor de eficiência energética utilizando o *Blockchain* e suas potenciais aplicações.

Pode-se afirmar que o *Blockchain* é um livro razão de blocos e cada bloco efetua uma transação. Se um bit for adulterado, o *hash* mudará, ou seja, dentro deste sistema de transação de dados pode-se ter uma rastreabilidade de informações e criptografias muito grande, sendo o *hash* (uma função algorítmica do computador não invertível que mapeia uma cadeia e comprimento arbitrário em uma cadeia de comprimento predefinida) que identifica exclusivamente o bloco e permite a conexão com o bloco anterior, identificando-o.

A aplicação do *Blockchain* no mercado de energia possibilita que o comprador, em tempo real, saiba a origem da energia que ele está consumindo, por exemplo, pois ela é 100% renovável, rastreável, segura e não precisa de intermediários, além disso não pode ser modificada (GABRICH; COELHO; COELHO, 2017).

O *Blockchain* também garante a transparência e a segurança da transação, pois esta fica registrada na plataforma de forma fixa, permitindo que todas as partes auditem os resultados. Esta tecnologia torna possível trabalhar com CI, que se auto executam quando as duas partes cumprem o que foi acordado, eliminando intermediários e simplificando o processo. Reduzem-se, assim, os custos e intervenção de terceiros no processo. O *Blockchain* também é uma ferramenta chave para acelerar o processo de descarbonização, descentralização e digitalização do mercado de energia, pois proporciona rastreabilidade, segurança e rapidez nas transações, onde pode-se entender o conceito dos 3Ds (Descentralização, Digitalização, Descarbonização) do ME, onde a descarbonização é uma

necessidade mundial de reduzir o uso de combustíveis fósseis para a geração de energia elétrica. Já a Geração distribuída (GD) é a essência da descentralização do setor elétrico. Por conta da GD, o modelo tradicional de geração centralizada está passando por uma mudança significativa e se tornando mais participativo.

Porém, isso torna a estrutura mais complexa, o que demanda novas tecnologias para controlar toda a operação e armazenar a eletricidade quando há um excesso de geração. A digitalização passa por conceitos como a Internet das Coisas (*IoT*), *Big Data*, *Data Analysis*, *Blockchain* e Inteligência Artificial (IA). Por conta de tais aspectos, a digitalização proporciona a quebra de barreiras, aumentando a flexibilidade de todo o sistema elétrico, sendo o *Blockchain* uma possibilidade viável para tal mudança.

1.1 Objetivo(s)

A relevância deste tema deve-se à necessidade das grandes empresas, tanto do mercado de geração quanto de distribuição de energia e consumidores de grande porte, na busca de melhor controle da energia que é consumida e fornecida. O objetivo principal deste artigo é debater e revisar as aplicações da tecnologia *Blockchain* no mercado de energia elétrica e como ele pode ser aplicado em empresas como o SENAI. Propõe-se também um possível esquema de comercialização de Certificados de Eficiência Energética (CEE) no SENAI.

O enquadramento desta tecnologia dentro do tema EE, principalmente para plantas de geração e cogeração, possibilita ao comércio o excedente de energia, levando em conta que a empresa pode ter o controle e garantir a entrega permitindo que as plantas de cogeração sejam ainda mais rentáveis.

1.2 Justificativa

A implementação de um criptoativo ou certificado branco serve para remunerar as empresas que tem uma produção energeticamente eficiente, de forma comprovada e constatada, sendo, por exemplo, possível bonificá-las com um crédito para cada quilowatt-hora (kWh) poupado através de ações de EE.

Dúvidas sobre seus benefícios e arrecadação ainda persistem no modelo de remuneração por criptoativos, hoje. Contudo, houve tentativas passadas como a criptomoeda (SILVA NETO, 2023). Tal criptomoeda teve uma aceitação inicial positiva, porém, após um tempo, foi perdendo valor, similar aos créditos de carbono (ANDRADE; COSTA, 2008).

Este trabalho consiste em uma pesquisa qualitativa sobre o assunto visando identificar as possibilidades que essa tecnologia oferece aos seus usuários. O referente artigo é composto por três sessões introdutórias, quatro seções que irão analisar o tema trazendo a possibilidade de comercialização de certificados de EE no SENAI, até chegar à conclusão perante o assunto abordado neste artigo.

2 ESTADO DA ARTE

O *Blockchain* é visto como uma grande inovação no mercado de eletricidade em outros setores da sociedade, como o setor de EE. Esta tecnologia pode atribuir rapidamente ativos de geração a pontos de consumo, até mesmo estabelecer uma hierarquia de prioridade na fonte de geração, permitindo ao usuário final obter informações em tempo real, verificando se o que foi contratado está sendo de fato entregue e qual tipo de geração ele está recebendo,

através de blocos criptografados dentro de um *Blockchain* (MAGALHÃES, 2018). Este conceito já está sendo aplicado na Espanha pela empresa Iberdrola, aqui no Brasil conhecida como Neoenergia, onde ela garante para três prédios comerciais que a energia recebida vem de fontes incentivadas de energia (eólica, solar), confirmando a veracidade dessa informação via *Blockchain* (IBERDROLA, 2019).

Já no setor de EE a aplicação do *Blockchain* é comumente relacionada a certificados brancos onde um órgão certificador emite laudos comprovando que a empresa aferida é energeticamente eficiente e que tomou as ações devidas relacionadas à EE, criando, assim, um mercado de comercialização de certificados e um modo da empresa poder apresentar aos seus consumidores finais que é eficiente. O mesmo conceito é utilizado nos certificados verdes. A diferença é que os certificados verdes são emitidos para comprovar que cada kWh gerado por uma determinada planta advém de fontes incentivadas, elevando, desta forma, o grau de rastreabilidade de onde a energia é oriunda.

Possuir a tecnologia do *Blockchain* é fundamental quando existem contratos de compra de energia de longo prazo baseados em ativos renováveis, devido à necessidade de demonstrar a origem da eletricidade fornecida além de ter um grau maior de confiabilidade. Atualmente, esses acordos desempenham um papel fundamental, pois promovem o desenvolvimento das energias renováveis, incentivando grandes empresas a contratarem essa energia. Com os recursos dos CI, o *Blockchain* tende a agregar valor no mercado de energia e contratos de performance em EE.

O *Blockchain* registra as transações realizadas em sua estrutura no formato de um livro-razão responsável pela anotação de um terceiro de sua confiança. A confiabilidade desta tecnologia é similar às instituições financeiras para manter os dados pessoais e financeiros em todas as transações. Embora seja controlado centralmente, no *Blockchain* processam-se os registros de maneira descentralizada, aumentando a disponibilidade e segurança de nossos dados e transações.

O *Blockchain* também pode ser descrito como um bloco preenchido vinculado a outros blocos, formando, assim, uma rede que mantém a ordem e segurança das informações (MOUGAYAR, 2018). Descrevendo o processo mais a fundo, primeiro cria-se um bloco gerando assim uma conta na *Blockchain* de sua preferência e transferindo recursos financeiros para essa conta, onde realiza-se uma transação que vai gerar outra transação que será vinculada ao bloco anterior formando assim uma rede, em que apenas o usuário criador tem acesso a realizar toda a operação como se fosse um extrato bancário. As únicas pessoas que terão acesso aos seus dados serão os mineradores que validarão seus blocos para implementação no *Blockchain*, porém eles só poderão ver um código criptografado chamado *hash* e configurá-lo.

Logo em seguida eles serão recompensados em criptomoedas, após resolver a criptografia atribuída a *hash*. Para padronizar o *hash* e ser embutido no *Blockchain*, o primeiro minerador deve adicionar caracteres à mensagem, fazendo, assim, o *hash* começar com 5 zeros (LAURENCE, 2019).

Após a mineração, o minerador será recompensado e gerará um código chamado *nonce*, após 51% da resolução do mesmo e da transação estar completa. O *hash* irá verificar se realmente possui a transação criptografada e os cinco zeros para este bloco ser registrado no livro-razão, em todos os computadores conectados à rede que terão acesso. Assim, dizemos que o *Blockchain* é um banco de dados descentralizado. Hackers, por exemplo, terão dificuldade de modificar os registros existentes em todos os computadores da rede ao mesmo tempo, tornando esta tecnologia segura e rastreável.

Um *nonce* completo contém histórico completo e informações relacionadas a cada bloco desde a primeira transação na plataforma. *Nonces* completos formam a espinha dorsal do *Blockchain*, pois são vitais para completar uma transação. Quando uma transação é iniciada cada *nonce*, em todo o *Blockchain*, verifica e autentica o bloco. Uma de suas características distintas é a verificação da autenticidade da assinatura em cada transação em bloco. Para verificar a autenticidade da transação, o *nonce* verifica a assinatura digital. Uma assinatura digital geralmente é uma chave privada usada pelo remetente (SOARES, 2021).

A Figura 1 mostra um diagrama de blocos simples para entender os conceitos básicos de *Blockchain*, mostrando a finalidade principal e as informações contidas em cada bloco.

Figura 1 - Diagrama de blocos simples no Blockchain



Fonte: MAGALHÃES (2018)

2.1 Aspectos de regulação no Brasil

O *Blockchain* ainda não é regulado no Brasil de forma específica, mas há algumas iniciativas e leis que podem afetar sua utilização. A questão da Lei Geral de Proteção de Dados Pessoais (LGPD) que entrou em vigor em setembro de 2020 e regulamenta a proteção de dados pessoais no Brasil, pode influenciar diretamente em sua utilização no futuro, ou seja, *Blockchain* pode ser utilizado para armazenar dados pessoais, o que significa que as empresas que usam o *Blockchain* devem estar em conformidade com as disposições da LGPD. Existe também a regulação no setor financeiro, pois as criptomoedas são reguladas no Brasil pela Comissão de Valores Mobiliários (CVM) e pelo Banco Central e em 2019, a CVM emitiu uma instrução que regulamenta as ofertas públicas de criptomoedas no país (KLOWASKI, 2022).

Outro aspecto que diz respeito à regulação do *Blockchain* é com relação ao Banco Central, que está desenvolvendo uma moeda digital para o Brasil, o que pode ter impacto no uso do *Blockchain* no país.

Já a questão política como impostos e o uso do *Blockchain* para transações financeiras pode ter implicações fiscais pois as transações realizadas com criptomoedas são tributadas no Brasil, e as empresas que usam o *Blockchain* devem estar em conformidade com as leis fiscais brasileiras (NUNES; MONTEIRO; BRITO, 2020).

Há também a regulação de CIs, pois a utilização de contratos inteligentes no *Blockchain* pode afetar o direito contratual brasileiro. Atualmente, não há regulação específica

para contratos inteligentes no Brasil, o que significa que as partes envolvidas em um CI devem ter cuidado ao redigir os termos do contrato.

2.2 Projetos-piloto no Brasil e mundo

Os projetos-piloto em andamento no Brasil que utilizam a tecnologia *Blockchain* em diversas áreas, incluindo finanças, saúde e logística, como, por exemplo, os projetos da empresa Electron, startup do Reino Unido, que está desenvolvendo uma plataforma baseada em *Blockchain* para a gestão de dados energéticos. A plataforma permite que diferentes atores do setor energético compartilhem dados de forma segura e transparente, o que pode levar a melhorias na eficiência energética e redução de custos (ELECTRON, 2020).

Existe também a Power Ledger, startup australiana que está criando uma plataforma baseada em *Blockchain* para a negociação de energia renovável. A plataforma permite que os proprietários de painéis solares vendam o excedente de energia gerada para outros usuários em um mercado descentralizado, incentivando a produção e uso de energia limpa. Esses projetos-piloto mostram como a tecnologia *Blockchain* pode ser utilizada para melhorar a eficiência energética e promover o uso de energias renováveis (POWERLEDGER, 2022).

O *Blockchain* permite que diferentes atores do setor energético compartilhem dados e informações de forma segura e transparente, o que pode levar a uma melhor gestão da energia e redução de custos. Além disso, o *Blockchain* pode ser usado para criar mercados descentralizados de energia, incentivando a produção e uso de energia limpa. Esses projetos-piloto demonstram o potencial do *Blockchain* para resolver problemas em diversas áreas, além de impulsionar a adoção da tecnologia no Brasil.

2.3 Contratos inteligentes com uso do *Blockchain*

Antes de adentrarmos nos detalhes dos contratos inteligentes, é preciso entender a definição de contrato, que é um acordo voluntário entre duas ou mais partes, no qual todos cumprirão sua parte para que não sejam punidos por lei no caso de quebra do contrato. Pode-se utilizar CIs quando existem pedidos constantes da mesma quantidade. Além disso, os CIs podem revolucionar a maneira como muitos mercados funcionam hoje. A solução é desenvolvida através da tecnologia *Blockchain* que traz maior segurança aos protocolos digitais. Portanto, quando se fala em CI é importante notar que não envolvem apenas documentos legais. Na prática, todos eles podem ser executados sem intermediários. Dada a aceleração da transformação digital e a chegada das redes 5G, os CI têm potencial de evoluir no ME juntamente com o *Blockchain*.

O *Blockchain* está diretamente envolvido com a maneira que os CIs funcionam (MACHADO et al., 2020). Desta forma, a cadeia de código consiste em condições pré-estabelecidas para cada contrato, ou seja, CIs são contratos digitais autoexecutáveis que usam tecnologia para garantir que os acordos assinados sejam honrados.

CIs são entendidos como um código de programação que define regras e consequências rígidas – assim como documentos tradicionais, prescrevendo as obrigações, benefícios e penalidades de cada parte em diferentes situações. Ao contrário dos contratos tradicionais, os CIs são digitais, não podem ser perdidos ou adulterados e são executados automaticamente, ou seja, eles garantem a segurança da execução do protocolo para o qual é utilizada a tecnologia *Blockchain*.

Os CIs são adequados à legalização do controle compartilhado de processos de transferência de energia em que os autores estejam localizados em diferentes organizações ou diferentes subdivisões (MACHADO et al., 2020). Em resumo, a formulação de CIs requer suporte legal, mas não para verificação e ativação.

Através de CIs, dinheiro, bens, ações ou qualquer coisa podem ser trocados e comercializados. A avaliação é feita de forma transparente e sem conflitos, evitando serviços intermediários. Por serem baseados em *Blockchain*, os CIs herdam alguns recursos interessantes como imutabilidade e segurança, sendo assim, nenhuma das partes pode alterar os termos do contrato por conta própria. Todas as ações geradas por CIs acontecem automaticamente sem a necessidade de intermediário; todas as transações são registradas no *Blockchain* e são irreversíveis; se as condições predefinidas não forem atendidas, a transação não será executada.

2.4 Mercado de energia modelo atual

O atual modelo do setor elétrico nacional foi proposto pelo governo brasileiro em 2003 e aprovado pela Assembleia Nacional em 2004 (BAJAY, 2022). Desde então, segundo o Balanço Energético Nacional (BEN) de 2022, a oferta interna de energia elétrica por fonte é dividida, em 2022, por hídrica, contendo 56,8%, sendo a maior oferta interna, seguida pelo gás natural que representa 12,8% e, logo depois, a eólica com 10,6%, acompanhada de outras fontes geradoras.

2.5 Diferenças entre mercado livre e mercado cativo

Por décadas, a energia hidrelétrica tem sido a principal fonte de geração de energia elétrica no sistema elétrico brasileiro, tanto pela competitividade econômica quanto pela abundância dessa fonte energética em nível nacional. O sistema de geração de energia do Brasil tem capacidade instalada de mais de 181.610 MW total, sendo 110 GW hidrelétrica (BRASIL, 2022).

Essa vantagem decorre da vasta extensão territorial do país, com muitos planaltos e rios caudalosos. O Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS) é o órgão responsável pela coordenação e controle da operação das instalações de geração e transmissão de energia elétrica no sistema interligado brasileiro. O ONS é composto por membros associados e membros participantes, que são as empresas de geração. Nesse vasto e complexo sistema elétrico, os geradores geram energia e os transmissores a transportam do ponto de geração até as subestações nos grandes centros de consumo, onde as distribuidoras a levam até as unidades consumidoras.

A energia gerada pelas usinas individuais é transmitida por longas distâncias por meio de linhas de transmissão de alta tensão até as subestações da distribuidora, que rebaixam essa energia para tensões menores e a fornecem para consumo por meio de uma infraestrutura composta por elementos da rede distribuição. Os consumidores têm duas formas de acesso à energia: por meio de um mercado regulado ou por meio de um mercado livre.

Os consumidores em mercados regulados, conhecidos como cativos, são aqueles que compram eletricidade diretamente de concessionárias locais (AGUIAR e RAMOS 2008). Hoje, representam a grande parte dos consumidores em todo o país. E ainda não possuem opção de compra de energia entre distribuidores. Neste sentido, o *Blockchain*, quando aplicado a

estes consumidores proporciona um nível maior de rastreabilidade e consumo possibilitando escolher tipos de fontes de energia mais eficientes. As distribuidoras compram a energia necessária para atender a expansão de seus mercados cativos em grandes leilões nacionais facilitados pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL).

Já o consumidor livre tem liberdade de escolha e condições pré-estabelecidas no contrato como preço, prazo, índice de reajuste etc. Atualmente, apenas grandes consumidores com demanda contratada superior a 500 kW por unidade de consumo ou com várias unidades com o mesmo CNPJ podem comprar sua energia de fontes renováveis com desconto de 20% a 30% no mercado livre (AGUIAR E RAMOS, 2008).

2.6 Possibilidades do *Blockchain* na eficiência energética

A inovação e novas tecnologias digitais identificaram o interesse do consumidor em EE e, com isso, surgem novas oportunidades para a transição de um sistema de redução de carbono (BARTHOLOMEU; PÉRA; CAIXETA FILHO, 2016). Recentemente, o *Blockchain* ganhou ampla popularidade para tornar o setor de energia mais seguro, transparente e sustentável, principalmente em razão da explosão das criptomoedas. No entanto, esta revisão de literatura mostra que o *Blockchain* ainda é apenas um conceito e não foi totalmente explorado em termos de suas aplicações em EE e mercado de energia. As empresas de *Energy Services Company (ESCOs)* são empresas de engenharia especializadas em serviços de conservação de energia, focadas em promover serviços de EE e consumo de água nas instalações de seus clientes. Essas empresas estão procurando potenciais aplicações do *Blockchain* para reduzir a complexidade dos contratos de desempenho de energia. Assim, a empresa contratada fica responsável pelas economias realizadas com as ações de EE e são remuneradas de acordo com o desempenho das ações de EE (BARTHOLOMEU; PÉRA; CAIXETA FILHO, 2016).

O desafio do modelo de contratos *Engineering Procurement and Construction (EPC)* reúne diversos elementos como a construção, o comissionamento, a compra e montagem de equipamentos, tudo em um só contrato, podendo vincular a parte de rendimento das ações de EE para a realização do seu pagamento. Em português, a sigla EPC significa Engenharia, Gestão de Compra e Construção. O EPC é uma modalidade de contratação na qual o construtor executa o empreendimento em sua totalidade, garantindo a execução integral do escopo, a elaboração dos projetos de arquitetura e engenharia, detalhamentos e esquemas de montagem, além de todos os serviços basilares para a execução do projeto: fornecimento de mão de obra, materiais e equipamentos necessários para a realização das atividades.

Os recursos de CI reduzirão significativamente os custos de transação de energia e economia, de modo que as ESCOs terão a oportunidade de assumir projetos menores, pois o tempo e o custo associados à criação e gerenciamento de cada EPC serão significativamente reduzidos e de mais fácil rastreabilidade e mensuração (KHATOON, et al., 2016). Dessa forma, pode surgir um maior número de projetos realizados por ESCOs (CAPELO, 2011) e, portanto, a quantidade total de economia de energia que pode ser alcançada (GÜRCAN et al., 2018).

Aplica-se a tecnologia *Blockchain* aos contratos de EPC eliminando a necessidade de auditores terceirizados medirem e validarem grandes quantidades de dados de linha de base e consumo real. Se eficazes, os EPCs habilitados para o uso do *Blockchain* podem levar à adoção em massa de contratos similares, gerando, assim, uma ampla economia de energia em um ambiente de várias partes interessadas (por exemplo, operador, proprietário do projeto, usuário). Mais especificamente, o *Blockchain* garante que os dados gravados sejam imutáveis graças à criptografia e altamente replicáveis por meio de protocolos de consenso

distribuídos, armazenando-os sem a necessidade de terceiros, como agências governamentais ou consultores independentes. O *Blockchain* é capaz de fornecer o nível de confiança necessário entre o cliente e a empresa que está propondo as ações de eficiência energética, como a aferição de contratos de desempenho energético. A Figura 2 mostra um breve fluxo da utilização *Blockchain*.

Figura 2 - Exemplificação de um CI aplicado em EE



Fonte: GÜRCAN et al. (2018)

O *American Council for an Energy-Efficient Economy* (ACEEE) também explora como o *Blockchain* pode ser usado para melhorar o processo de Medição e verificação (M&V) e como ele pode facilitar para que se obtenha um mercado de energia mais líquido. O *Blockchain* aplicado em EE também é utilizado no contexto dos esquemas de certificação relacionados à energia.

O uso do *Blockchain* para negociar certificados de origem garantida também conhecidos como certificados verdes (VAN CUSTEM et al., 2020). Os certificados verdes são emitidos por órgãos reguladores e esses certificados verdes documentam quando, onde, como e por quem é gerado.

O certificado também documenta quem possui os ativos verdes relacionados a essa energia limpa. Os certificados podem ser transferidos, comprados, demonstrando, desta forma, que o *Blockchain* pode ser usado para garantir a autenticidade de certificados verdes (VAN CUTSEM, 2020).

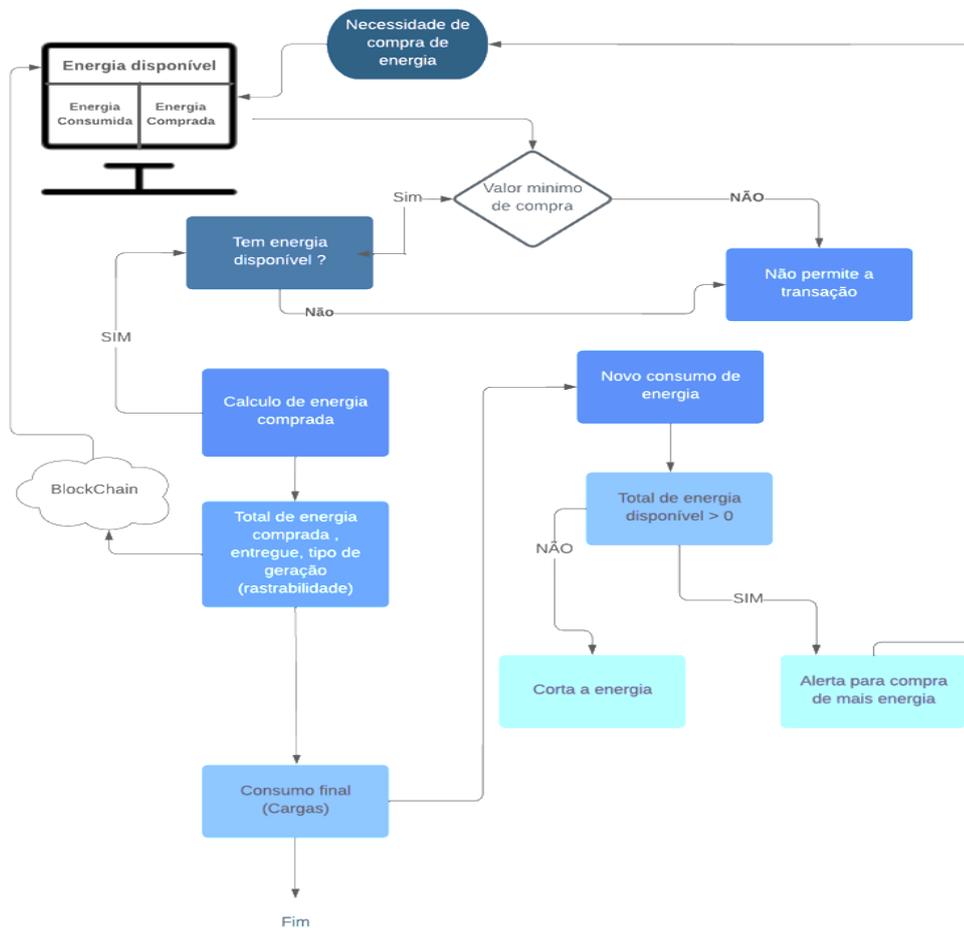
2.7 Mercado de energia com uso do Blockchain

No mercado de energia, o *Blockchain* executa todas as transações, e mesmo as menores são econômicas, permitindo o controle de fornecimento e comercialização de energia. Na venda ou compra de energia, os blocos podem ser organizados em uma tabela com informações sobre geradores, cargas, energia fornecida, duração, demanda, perdas e serviços auxiliares necessários. Os campos do banco de dados (contratados) são o endereço

do fornecedor de energia, preço em kWh, energia total comprada, energia total consumida, energia total disponível, usando assim uma variável booleana indicando que o saldo é positivo e o sistema pode comprar a energia.

Em um contrato como um acordo onde todos têm acesso a determinadas informações e os termos têm suas próprias regras, o conceito desta aplicação é que a energia seja pré-paga. Assim, os consumidores que desejam comprar a energia estão aptos a verificar o custo do kWh no momento da compra e escolher quanta energia comprar e inclusive modelar sua curva de consumo de acordo com as compras de energia realizadas nos horários de maior custo-benefício aos usuários (MARQUES, 2019). Uma das formas dos usuários realizarem essa função é utilizar uma interface web, cuja ideia é exibir informações sobre o contrato em tempo real e ler o valor diretamente do *Blockchain* no medidor de energia ou plataforma similar (PAULA, 2019). A Figura 3 aborda a ideia geral do uso do *Blockchain* no mercado de energia.

Figura 3 - Exemplificação de compra de energia com o uso do Blockchain



Fonte: MARQUES (2019).

2.8 Modelo conceitual da utilização de *tokens* certificados brancos

O objetivo deste modelo é levantar a possibilidade de utilizar um modelo de economia de EE e certificados, agregando a tecnologia do *Blockchain* de acordo com os parâmetros tratados neste artigo, como exemplificado na Figura 2, e utilizando como base os certificados brancos já utilizados em países da Europa (Portugal, Reino Unido, Itália), entendendo sua real aplicação em cada um desses países e trazendo para uma realidade conceitual aqui no Brasil, para o modelo de comercialização entre as escolas do SENAI - SP.

As metas de economia de energia são estabelecidas por órgãos governamentais e se baseiam em sistemas motrizes, condicionamento de ar, gás e eletricidade, e as possibilidades de economia dentro de cada insumo energético. Visando o cenário balanceado de comercialização desses certificados é necessário ter instituições que tenham como obrigação adquirir os certificados brancos, enquanto outras devem gerá-los.

Essas obrigações incluem grandes consumidores de energia, empresas com altas emissões de CO₂, empresas do mercado livre de energia, concessionárias e permissionárias de energia no setor de distribuição e geração.

Os beneficiados são os produtores de energia (eletricidade e calor), os distribuidores de energia (eletricidade, calor e gás), os que compram grandes quantidades de energia e vendem, os fornecedores de energia ou de combustível, que cuidam da última etapa de fornecimento de energia para o usuário final (principalmente comerciais), os próprios consumidores finais (grandes empresas com média tensão, ou que tenham processos produtivos que necessitem de grande quantidade de energia como agropecuária, ferro-ligas, aço, têxtil, alimentos e bebidas, papel e celulose, cerâmica, química, cimento).

Os *tokens* de certificados brancos podem ser usados como créditos para abater valores em KWh da sua conta de energia, onde a concessionária de energia faça o abatimento em KWh direto na conta dos que possuem o *token*, transacionem e verifiquem sua veracidade através do *Blockchain*, podendo a concessionária pegar os *tokens* e revendê-los aos consumidores obrigados a gerar economia, mas que não conseguiram alcançar suas metas, gerando, desta forma, um mercado que se retroalimenta.

O *Blockchain*, neste meio, pode ser aplicado como uma forma de verificar as economias das ações e M&V, onde os investidores e empresa responsável, órgãos garantidores, ESCOs e a própria empresa contratante, consigam conferir as economias alcançadas e geradas, dando credibilidade e confiabilidade ao processo de medição e verificação.

Dentro de cada case de cliente e tipo de projeto, haverá parâmetros de referência para a quantidade de energia economizada em cada indicador energético. Como exemplo hipotético: aquecimento de ambiente: referência: 16 kWh/m². ano; edifício: 18 kWh/m². ano.

As referências e medições serão traçadas por especialistas do mercado de eficiência energética de acordo com o tipo de segmento de cada participante dos certificados brancos. Logo, se o participante for da indústria siderúrgica, suas referências e ações de EE serão diferentes em relação ao cliente do ramo de plásticos e derivados.

2.9 Porcentagem de economia para adquirir certificados

A porcentagem de economia é alcançada, de uma forma geral, juntando todas as economias de EE aplicadas e aferidas na opção C, do Protocolo Internacional para Medição e

Verificação de Performance (PIMVP) e de acordo com as economias alcançadas, serão, também, bonificados com os certificados proporcionalmente às suas economias gerais.

Quadro 1 – Porcentagem anual de economia quantidade de certificados brancos

| | |
|--------------|-------------------------|
| 30% ou acima | 70 CERTIFICADOS BRANCOS |
| 25% | 60 CERTIFICADOS BRANCOS |
| 20% | 50 CERTIFICADOS BRANCOS |
| 15% | 40 CERTIFICADOS BRANCOS |
| 10% | 30 CERTIFICADOS BRANCOS |
| 5% | 20 CERTIFICADOS BRANCOS |
| 3% | 10 CERTIFICADOS BRANCOS |

Fonte: Elaborado pelo autor.

3 METODOLOGIA

Este trabalho foi estruturado por meio da abordagem de pesquisa científica que se baseia fortemente na análise teórica, revisão da literatura, formulação de hipóteses e testes de viabilidade para a aplicação de um modelo ou proposta (CAUCHICK, 2010).

A metodologia aplicada ao tema baseou-se primeiramente na análise teórica e exemplos de aplicação vistos na literatura. Com isso criou-se um cenário com a hipótese de aplicação do *Blockchain*. Os pressupostos foram utilizados e os conceitos apresentados no estudo foram utilizados para verificação da viabilidade da aplicação da proposta/modelo a um caso específico (SENAI).

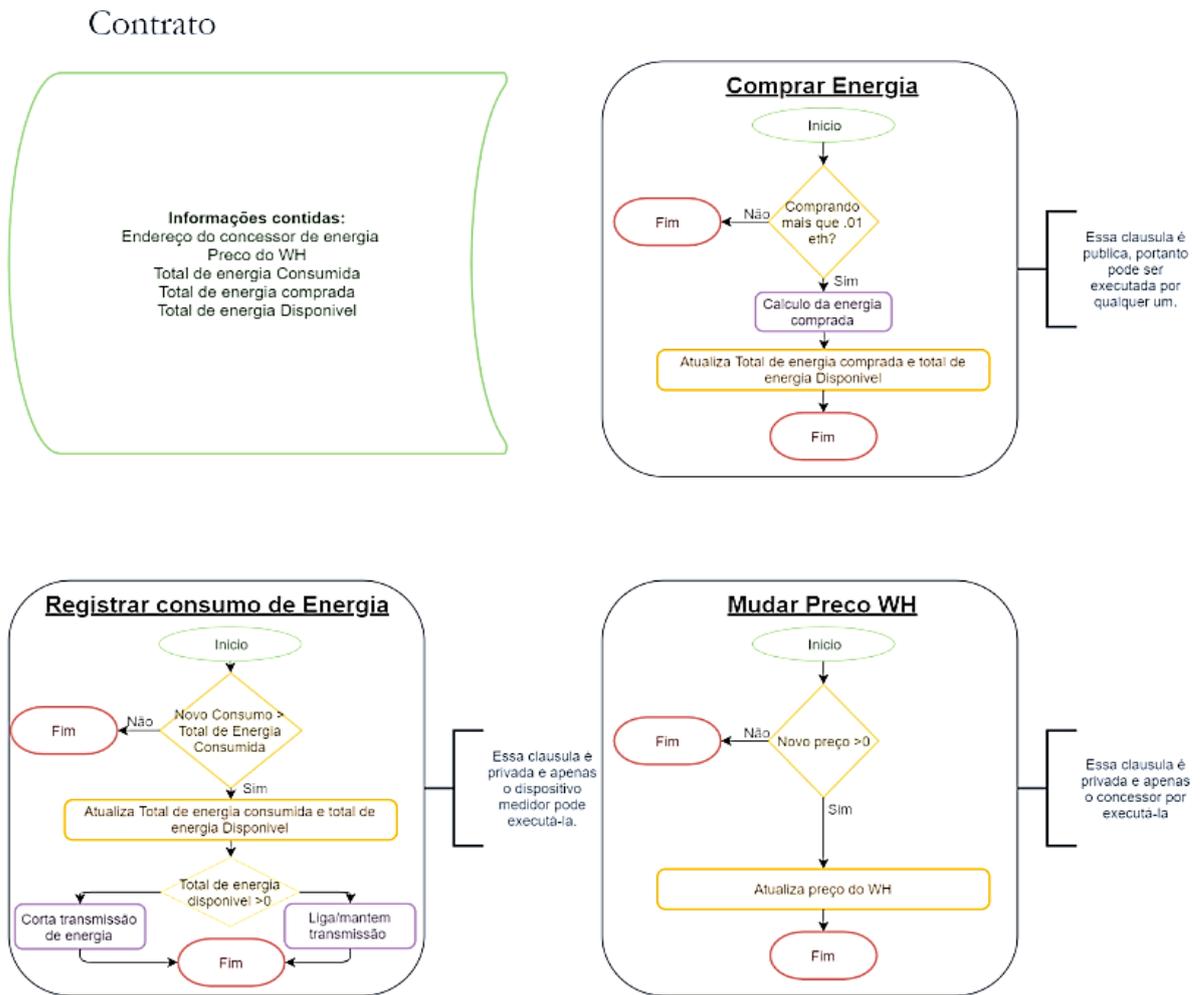
A definição do tema, investigação dos elementos e escolha de aplicação foi desenvolvida no período de 2021 a início de 2023. A partir da leitura de artigos, legislação, teses e dissertações sobre o assunto, buscou-se responder questões relacionadas ao problema da pesquisa.

Por fim, desenvolveu-se a aplicação da ferramenta denominada matriz *SWOT*, uma ferramenta de análise estratégica amplamente utilizada por empresas e organizações para avaliar suas forças - *Strengths*, fraquezas - *Weaknesses*, oportunidades - *Opportunities* e ameaças - *Threats*.

3.1 Estudo de caso de aplicação Blockchain no mercado de energia

A compra e venda de energia via *Blockchain* traz vantagens, aplicabilidades, e seus conceitos são assim aplicados ao ME (TADEU; BERMANN, 2021). *Estes conceitos podem ser testados via* protótipo de comercialização de energia via *Blockchain* com o uso do microcontrolador ESP8266 para adicionar conectividade sem fio a sistemas eletrônicos e projetar sistemas de *IoT* de baixo custo, *Sonoff - Pow R2* usado para medição de energia elétrica, o USB SERIAL FTD1232 dar conectividade de hardware no sistema e *Raspberry Pi* como microcontrolador de integração para prover comunicação entre a rede *Blockchain* e o módulo ESP8266 (DI SANTO et al., 2021). Um estudo específico, por exemplo, utilizou o sistema operacional Linux, distribuição Ubuntu, versão 18.04 LTS, por apresentar total compatibilidade com as suítes, ferramentas e bibliotecas utilizadas (PAULA, 2019). Neste estudo, os materiais a seguir foram usados conforme a Figura 4.

Figura 4 - Contratos de energia ano 2019



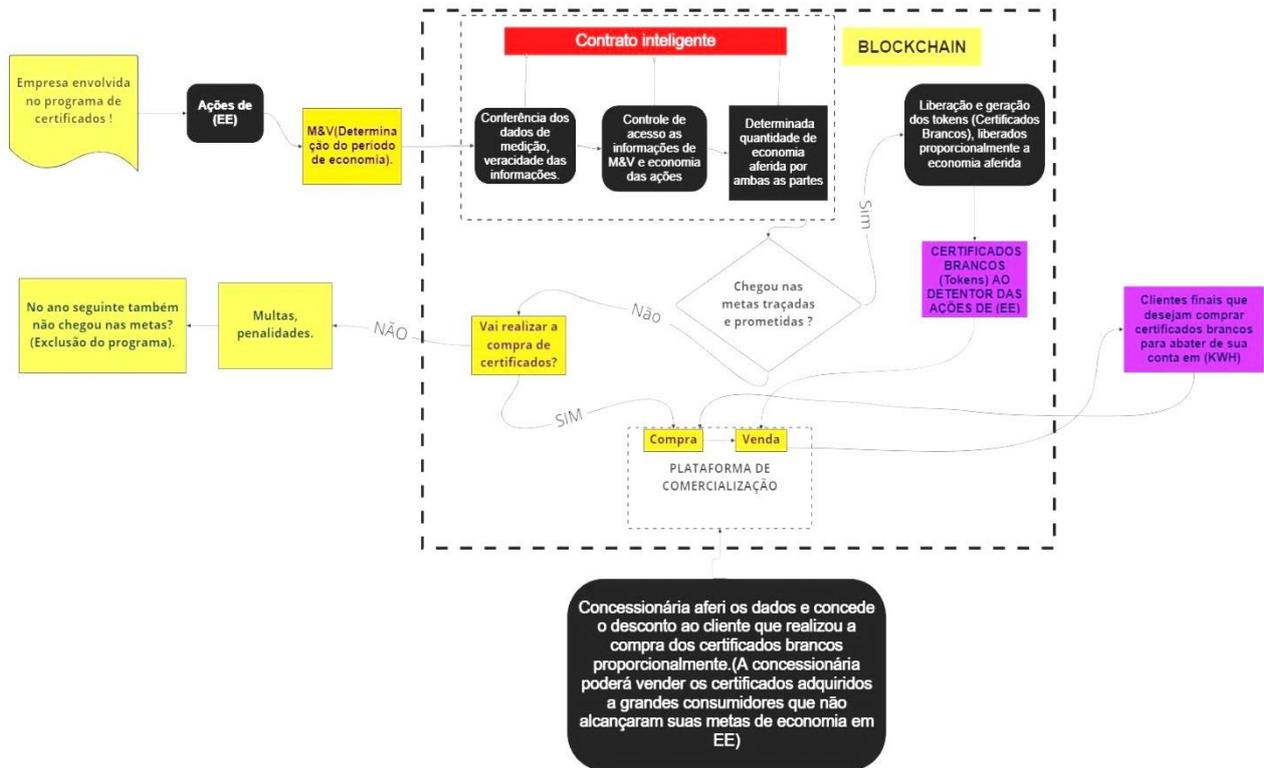
Fonte: PAULA, 2019.

A interface web foi utilizada para auxiliar o usuário na compra de energia e apresenta informações atualizadas do contrato, e pode ser usada para comprar energia. As informações estão representadas no quadro verde, e as cláusulas estão representadas nos quadros brancos.

O conceito da Figura 4 é que energia contratada seja pré-paga. Assim, o consumidor que deseja comprar a energia de um concessionário pode verificar o custo do kWh no momento da compra, e optar por quanto de energia comprar e consumir.

A Figura 5, exemplifica dois importantes processos: Medição e Verificação (M&V) e emissão e negociação de certificados brancos.

Figura 5 - Mercado de comercialização de certificados via Blockchain 2022



Fonte: DI SANTO (2011).

O sistema de CI habilitado para *Blockchain* ajuda os usuários finais a negociar seus certificados de economia de energia com segurança, ajudando um usuário a obter o reconhecimento para suas economias de energia adicionais e, ao mesmo tempo, permitir que outro usuário cumpra com suas obrigações.

O regime de não cumprimento, isto é, o que fazer quando as metas não são cumpridas, sanções (extinção ou não da obrigação), períodos de empréstimo (adiar a aplicação da pena) pode-se dizer também que para cada certificado branco corresponde a uma tonelada equivalente de petróleo (tep) e é emitido pelo regulador sempre que forem feitas economias de energia adicionais em relação à meta.

3.2 Sistema de certificados EE no SENAI

Visto que o SENAI é o maior complexo privado de educação profissional da América Latina, desde sua criação, em 1942, formou mais de 73 milhões de trabalhadores em 28 áreas da indústria. O SENAI está presente em mais de 2 mil municípios brasileiros e oferece cursos em todos os níveis da educação profissional e tecnológica. Seguindo o raciocínio da Figura 2, seguiremos com a definição de condições.

3.2.1 Definição das condições

Devido ao grande número de escolas envolvidas na instituição SENAI, a melhor maneira de delimitar o sistema é focar em escolas específicas no grande ABC (Diadema, Mauá, São Caetano do Sul e São Bernardo) e, depois de aplicado, expandir para outros polos.

É necessário definir os insumos energéticos, usos energéticos, e criar a linha de base (modelo preditivo), assim também concordando com as condições de uso e qualificação de dados de cada escola envolvida no processo, conforme Tabela 1.

Tabela 1 – Definições de usos e insumos energéticos

| % DEFINIÇÃO DOS INSUMOS ENERGÉTICOS | USOS FINAIS DO CONSUMO | UNIDADE DE MEDIDA |
|-------------------------------------|--|--------------------|
| Eletricidade | ILUMINAÇÃO | kWh |
| | MOTORES | kWh |
| | SISTEMAS DE AR CONDICIONADO E VENTILAÇÃO | kWh |
| GLP ou Gás Natural | CALDEIRAS | m ³ |
| Eletricidade ou GLP | AQUECIMENTO DE LIQUIDOS NO GERAL | kWh/m ³ |
| | ESTUFAS, FOGÕES, ETC | kWh/m ³ |
| Eletricidade | REFRIGERADORES, CAMERAS FRIAS | kWh |
| Eletricidade/GLP/DIESEL | MAQUINÁRIO DE ENSINO | kWh/m ³ |
| | Outros | kWh/m ³ |
| DIESEL | GERADORES | kWh |

Fonte: Elaborado pelo autor.

Após a separação e definição dos usos e consumos de cada escola e criação da linha de base, é necessário identificar quais são as oportunidades com maiores ganhos energéticos e com maior representatividade nos usos e consumos, definindo, assim, as ações de eficiência energética que deverão ser aplicadas nas oportunidades mais significativas. Deve-se definir as variáveis independentes e, caso haja algum imprevisto nas economias traçadas, tenha-se parâmetro dos desvios esperados nas economias e usos levantados. Os insumos energéticos devem estar na mesma unidade de medida para que se consiga realizar a comparação entre os usos finais na mesma base e metrificar a economia projetada.

3.2.2 Programação dos contratos inteligentes correspondentes

As condições acordadas na primeira fase são codificadas dentro dos contratos inteligentes, o que os torna imutáveis de fora do processo, levando em consideração o Quadro 1, onde definiu-se que a cada 3% de economia total somam-se 10 certificados brancos. Logo, os passos desse CI seriam: o CI seria criado e armazenado no *Blockchain*; os participantes, como o SENAI ou proprietários de edifícios e indústrias, conectariam seus sistemas de monitoramento de energia (como medidores inteligentes) à rede *Blockchain*; o CI seria configurado para registrar automaticamente a economia de energia em kWh de cada participante, conforme a definição de usos e consumos; o CI seria configurado para emitir certificados brancos de acordo com a seguinte fórmula: 3% de economia em kWh = 10 certificados brancos. Os certificados brancos emitidos seriam automaticamente creditados à conta do participante correspondente no *Blockchain* e poderiam ser negociados entre os participantes da rede ou vendidos para outros compradores interessados, como companhias de energia ou investidores.

3.2.3 Implementação no sistema Blockchain

A implementação proposta desse sistema no *Blockchain* segue os seguintes passos:

- Seleção de uma plataforma *Blockchain*: Escolher uma plataforma de *Blockchain* adequada para o sistema, como o *Ethereum* ou o *EOS*, que permita a criação de CIs, desenvolvimento do CI;
- Utilizar uma linguagem de programação como *Solidity* (para *Ethereum*) ou C++ (para *EOS*) para desenvolver o CI que irá rastrear e recompensar a economia de energia;
- Testes do CI: realizar testes rigorosos do CI para garantir que ele esteja funcionando corretamente e não tenha bugs;
- Implementação: publicar o CI na plataforma *Blockchain* selecionada, conectando-o aos sistemas de monitoramento de energia dos participantes;
- Atualização e manutenção: monitorar e manter o CI para garantir que ele continue funcionando corretamente e atualizá-lo quando necessário.
- Transparência: sistematizar a transparência do sistema para mostrar aos participantes e aos interessados quando os certificados brancos são emitidos e creditados às contas correspondentes.

3.2.4 Executado dentro do *Blockchain*

Em *Solidity*, o CI pode ser escrito como um contrato autônomo que armazena e processa dados de economia de energia. Ele poderia ter funções para registrar a economia de energia em KWh, emitir certificados brancos e creditá-los à conta do participante correspondente. Ele também poderia ter funções para permitir que os participantes negociassem ou vendessem seus certificados brancos.

Em C++ para *EOS*, o CI seria uma aplicação descentralizada (dApp) que se comunica com o *Blockchain* *EOS* e armazena dados de economia de energia. Ele poderia ter métodos para registrar a economia de energia em KWh, emitir certificados brancos e creditá-los à conta do participante correspondente. Ele também poderia ter métodos para permitir que os participantes negociassem ou vendessem seus certificados brancos.

Com um código escrito em *Solidity*, dentro dos parâmetros, a cada 3% de energia anual economizada através da memória de massa do medidor de energia da empresa, esta empresa seja bonificada em sua conta com 10 certificados brancos. A Figura 6, exemplifica um exemplo de código de programação em *Solidity*.

Figura 6 - Linhas de código de programação em *Solidity*; parâmetros de criação de certificados brancos

```

1 pragma solidity ^0.8.0;
2 contract EnergySaving {
3   address public company;
4   uint public energySaved;
5   uint public certificatesEarned;
6   event LogEnergySaved(uint energySaved);
7   event LogCertificatesEarned(uint certificatesEarned);
8   constructor() public {
9     company = msg.sender;
10  }
11  function saveEnergy(uint energy) public {
12    require(msg.sender == company);
13    energySaved += energy;
14    emit LogEnergySaved(energySaved);
15    // Calculate earned certificates
16    uint earnedCertificates = energySaved * 0.03;
17    certificatesEarned += earnedCertificates;
18    emit LogCertificatesEarned(certificatesEarned);
19    // Transfer certificates to company's account
20    company.transfer(earnedCertificates * 10);
21  }
22 }

```

Fonte: Elaborado pelo autor.

Este contrato contém uma estrutura básica para rastrear a energia economizada pela empresa, calcular o número de certificados brancos ganhos e transferir os certificados para a conta da empresa. O contrato também inclui eventos que registram a economia de energia e os certificados ganhos, para que os dados possam ser rastreados e acompanhados fora do contrato. Este é apenas um exemplo e pode precisar ser ajustado para atender às necessidades específicas de sua implementação. Além disso, é importante testar o contrato antes de implementá-lo em uma rede de *Blockchain* real.

3.2.5 Aferição das economias traçadas

A aferição das economias traçadas no sistema de certificação de economia de energia baseado no *Blockchain* pode ser feita de várias maneiras, dependendo da tecnologia utilizada e do nível de precisão desejado. O sistema é composto por:

- 1) Instalação de medidores de energia: instalar medidores de energia em todos os sistemas de iluminação, motores e caldeiras dos participantes do sistema. Esses medidores podem ser conectados à Internet e transmitir dados de consumo de energia em tempo real para o CI.
- 2) Verificação dos dados: o CI pode ser programado para verificar os dados de consumo de energia de cada participante regularmente e calcular a economia de energia em KWh. Ele pode comparar o consumo de energia antes e depois da implementação de medidas de eficiência energética para calcular a economia de energia.

- 3) Emissão de certificados brancos: se a economia de energia for superior ao limite estabelecido (3% para cada 10 certificados branco), o CI pode emitir e creditar certificados brancos à conta do participante correspondente.
- 4) Verificação de auditoria: um auditor de energia pode ser contratado para realizar auditorias regulares a fim de garantir que a economia de energia esteja sendo registrada corretamente e que a emissão de certificados brancos esteja de acordo com as regras estabelecidas.

É importante notar que a aferição precisa e confiável das economias de energia é crucial para o sucesso do sistema de certificação e é importante selecionar medidores e tecnologias confiáveis, além de contratar uma empresa de auditoria confiável para garantir a precisão dos dados. A emissão de certificados brancos de acordo com a economia é dada por:

$$\text{Economia de energia (kWh)} = \text{Consumo atual} - \text{Consumo após as ações de EE} \quad (1)$$

$$\text{Quant. certificados brancos emitidos} = (\text{Economia de energia (em kWh)} * 10) / 3 \quad (2)$$

Os Quadros 2 e 3, demonstram a aplicação das equações (1) e (2), em um sistema hipotético contendo instalações com iluminação, motores elétricos e caldeiras temos:

Quadro 2 – Certificados Brancos (Sistema de Iluminação e Motores)

| Situação 1 | |
|--|-------------------------|
| Consumo de energia atual (sistema de iluminação e motores): | 100 kWh/ano |
| Consumo após as ações de EE (sistema de iluminação e motores): | 94 kWh/ano |
| Resultado 1 | |
| Economia de energia (sistema de iluminação e motores): $100 - 94 =$ | 6 kWh/ano |
| Quant. certificados brancos emitidos (sistema de iluminação e motores): $(6 * 10) / 3 =$ | 20 certificados brancos |

Fonte: Elaborado pelo autor.

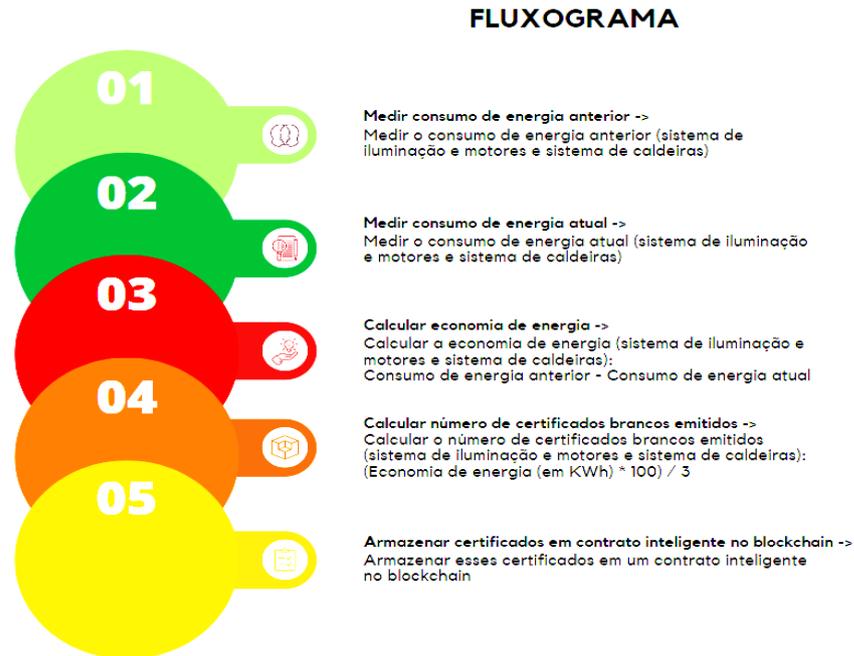
Quadro 3 - Certificados Brancos (Sistema de Caldeiras)

| Situação 2 | |
|--|---------------------------|
| Consumo de energia atual (sistema de caldeiras): | 200 kWh/ano |
| Consumo após as ações de EE (sistema de caldeiras): | 190 kWh/ano |
| Resultado 2 | |
| Economia de energia (sistema de caldeiras): $200 - 190 =$ | 10 kWh/ano |
| Quant. certificados brancos emitidos (sistema de caldeiras): $(10 * 10) / 3$ | 33,3 certificados brancos |

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tais certificados podem ser negociados no mercado de carbono, permitindo aos participantes do sistema monetizar suas economias de energia.

Figura 7 - Fluxograma de processo de criação de certificados brancos



Fonte: Elaborado pelo autor

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

O estudo se apresenta como ponto de partida para a elaboração de trabalhos futuros relacionados à descentralização do mercado de energia elétrica no âmbito estrutural e comercial e EE através de contratos de performance. Foi identificado que a tecnologia é aplicável apesar de ainda ter um percurso de maturação pela frente; a tecnologia do *Blockchain* pode ser usada para comercialização de energia, para aferição de dados confiáveis de medição de contratos de desempenho de EE e comercialização de certificados entre empresas que aplicam estes conceitos abordados no presente artigo.

A aplicação do modelo de certificados brancos de eficiência energética nas escolas do SENAI pode ser feita da seguinte forma:

- 1) Medição do consumo de energia atual das escolas em Diadema, São Bernardo, São Caetano do Sul e Mauá, incluindo a medição do consumo de energia de iluminação, ar-condicionado, motores e caldeiras.
- 2) Identificação de áreas de oportunidade para economia de energia nas escolas, como troca de lâmpadas incandescentes por lâmpadas LED; instalação de sistemas de automação de iluminação e otimização dos processos de aquecimento e refrigeração; implementação de medidas de eficiência energética nas escolas e isso incluiria a troca de equipamentos antigos por novos (mais eficientes); instalação de sistemas de automação e a otimização dos processos.
- 3) Medição do consumo de energia após as melhorias e cálculo da economia de energia. Comparando os dados de consumo antes e depois das melhorias, cálculo do número de certificados brancos emitidos com base na economia de energia e armazenamento deles em um CI, no *Blockchain*. A aplicação do cálculo dos certificados brancos seria: $(\text{Economia de energia em kWh} / \text{ano}) / (3\% \text{ do consumo de energia anterior}) \times 10$ certificados brancos.

- 4) Aferição dos resultados estimados: comparando os dados de consumo antes e depois das melhorias.

Assim, a implementação desse modelo nas escolas do SENAI pode ajudar a reduzir os custos de energia das escolas e melhorar sua imagem de compromisso com a sustentabilidade e redução de emissões de gases de efeito estufa. Além disso, a elaboração de medidas de eficiência energética ajuda as escolas a cumprir regulamentos e metas de eficiência energética estabelecida pelo governo.

4.1 Desafios para implementação

Os desafios para aplicação no mercado de energia e principalmente na indústria ainda existem devido aos desafios em torno da própria tecnologia, como escalabilidade, desempenho, padronização, complexidade, custo e habilidades que estão sendo abordadas.

Atualmente, essa tecnologia possui desafios relacionados à segurança e privacidade para implantação no ambiente de *Smart Grid* (SG) (DI SANTO, 2011).

Resolver tal problema usando *Blockchain* requer assinatura múltipla para realizar um sistema de troca de energia descentralizado e criptografado, permitindo que os participantes negociem anonimamente preços de energia e tornando as transações comerciais seguras. Existem ainda outros desafios associados à implementação de sistemas de *IoT* pois os modelos de dados mais usados hoje não são escaláveis suficientemente para suportar milhões de dispositivos e usuários conectados.

Alguns dos desafios que a tecnologia do *Blockchain* enfrenta: técnicos; mercado e negócios; comportamental e educacional; legal e regulatório. Outros desafios potenciais na prática de um sistema como este, são:

- 1) Integração com medidores de energia: a implantação deste sistema requer a integração com medidores de energia existentes, o que pode ser desafiador, dependendo do tipo de medidores e do acesso às informações;
- 2) Medição precisa de energia: é importante garantir que a medição da energia economizada seja precisa e confiável, o que pode requerer ajustes e calibração dos medidores;
- 3) Segurança: como este sistema trabalha com transações financeiras, é importante garantir que ele seja seguro e protegido contra fraudes e ataques cibernéticos;
- 4) Adoção: a adoção do sistema por parte das empresas pode ser um desafio, pois é preciso garantir que elas estejam dispostas a aderir e a seguir as regras do sistema;
- 5) Integração com outros sistemas: pode ser necessário integrar o sistema com outros sistemas existentes, como sistemas de contabilidade ou de gestão de recursos;
- 6) Governança: é importante estabelecer uma governança clara para o sistema, incluindo regras e procedimentos para lidar com problemas e questões que possam surgir;
- 7) Escalabilidade: é importante pensar na escalabilidade do sistema, pois pode haver necessidade de lidar com muitas transações e participantes;
- 8) Regulamentação: é necessário considerar as regulamentações legais e as setoriais relacionadas ao uso de *Blockchain* e certificados brancos.

Figura 8 - Desafios relacionados ao Blockchain

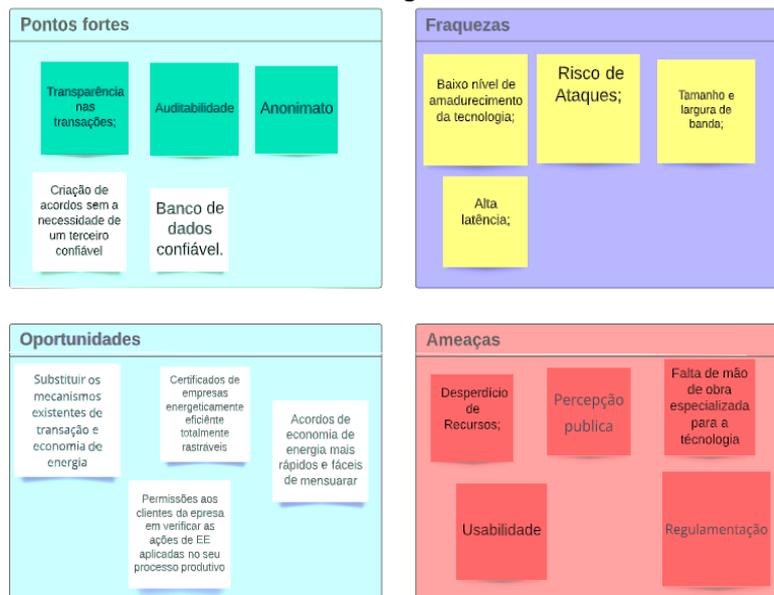
| Técnico | Mercado / Negócios |
|--|--------------------------------------|
| Infraestrutura de ecossistemas subdesenvolvidos | Ativos movendo-se para o Blockchain |
| Falta de aplicações maduras | Qualidade das ideias de projetos |
| Escassez de desenvolvedores | Massa crítica de usuários |
| Ferramentas e meddleware imaturos | Qualidade de Startups |
| Escalabilidade | Capital de risco |
| Sistemas legados | Volatilidade da criptomoeda |
| Prós e contras em comparação aos bancos de dados | Inclusão de novos usuários |
| Falta de padrões | Poucas empresas com casos de sucesso |
| Privacidade | Problemas de custos |
| Comportamental | Legal regulatório |
| Falta de compreensão do valor e potencial | Regulamentações pouco claras |
| Visão executiva limitada | Interferências governamentais |
| Gestão de mudanças | Requisitos de compliance |
| Confiança na rede | Excitação Momentânea |
| Poucas boas práticas | Tributações e demonstrativos |
| Fator de baixa usabilidade | |

Fonte: LAURENCE (2018).

4.2 Vantagens de utilização

A EE tem um enorme potencial para gerar impacto positivo de acordo com o que já foi levantado neste artigo. Com a tecnologia do *Blockchain*, há maior oportunidade aos consumidores de negociar seu excedente de energia gerada e isso pode ser aplicável em plantas de cogeração e geração de energia. Um resumo dos pontos fortes e fracos da tecnologia do *Blockchain* estão descritos na Figura 9, de acordo com a ferramenta de análise SWOT

Figura 9 - Pontos fortes e fracos da tecnologia do Blockchain - Análise SWOT



Fonte: Elaborado pelo autor

Detalhando um pouco mais os pontos fortes e fracos da tecnologia, foram listados 11 (onze) tópicos que melhor descrevem o assunto:

- 1) Criptografia de economia de energia: criptografar a economia de energia e compartilhá-la no *Blockchain* tem o potencial de tornar o mercado seguro. A linha de base de energia e dados de economia é um dos ativos mais importantes para o mercado de EE e diversas transações, de pagamentos bancários a taxas pagas a empresas de serviços de energia e provedores de tecnologia. A proteção de dados tornou-se uma questão crítica neste mundo digitalizado e o *Blockchain* pode fornecer a oportunidade de proteger os dados de economia de energia dos clientes para uma energia mais segura no mercado;
- 2) Troca de economia de energia: para o caso de comércio de energia *peer-to-peer*, onde a comercialização do excesso de geração de eletricidade pode ser acumulada e trocada por uma nova energia, produto de eficiência que se pode querer comprar. Assim é possível equilibrar a conta de energia ou adquirir serviços de energia adicionais;
- 3) Maior transparência: como *Blockchain* é uma tecnologia de contabilidade distribuída, os dados podem ser compartilhados de forma transparente em uma plataforma segura e inviolável. Manipulação de dados compartilhados na plataforma *Blockchain* é um processo altamente caro e tecnicamente inviável;
- 4) Menor custo de transação: *Blockchain* não requer intermediários e a transação pode acontecer *peer-to-peer*, diretamente, conforme já citado anteriormente, o que reduz a complexidade do processo e os custos associados. Dessa forma, pode reduzir significativamente o custo de transação da administração de contratos relacionados à energia;
- 5) Maior confiabilidade: a confiança é importante neste novo mundo, especialmente em torno do gerenciamento de dados. Se os dados fossem armazenados em um único ponto, seria muito difícil rastrear e auditar devido ao tempo necessário para coletar as informações necessárias. Como *Blockchain* é uma tecnologia de contabilidade distribuída, onde os dados são armazenados em diferentes blocos, ele pode melhorar significativamente a confiabilidade do sistema geral;
- 6) Efetividade de ações de EE: Na Europa, mais especificamente na Itália, foi levantada a possibilidade de utilização de certificados de eficiência energética que comprovem o real uso das ações de EE e sua efetividade nos sistemas produtivos da empresa (KHATOON et al., 2019). Além de dar este nível de confiabilidade, permite que as empresas apresentem certificados que correspondem a uma tonelada de petróleo equivalente (tep) que deixaram de ser queimados e emitidos na atmosfera. Esses certificados são emitidos pelo governo.
- 7) Maior sucesso de mercado: Quando a tecnologia *Blockchain* é aplicada à EE, por exemplo, a contratação de desempenho energético pode trazer segurança, transparência, confiança, custo administrativo reduzido, autorização de economia de energia e pagamentos de forma automatizada. Isso trará o próximo nível de sucesso para o mercado de eficiência energética. A tecnologia *Blockchain* permitirá que os usuários finais negociem seus certificados brancos e verdes de forma transparente e segura, ajudando um usuário a obter reconhecimento por suas economias de energia adicionais, enquanto o outro usuário pode cumprir suas obrigações. Também pode ajudar a rastrear os certificados brancos com seu id exclusivo desde sua origem até seu destino (DEBONI, 2020).
- 8) Redução de custos: a implementação de medidas de eficiência energética pode resultar em significativa redução de custos com energia para as empresas, permitindo-as aumentar sua competitividade;

- 9) Melhoria da imagem: as empresas que demonstram compromisso com a sustentabilidade e a redução de emissões de gases de efeito estufa podem melhorar sua imagem perante consumidores, investidores e outros *stakeholders*.
 - 10) *Compliance* regulatório: a implementação de medidas de eficiência energética pode ajudar as empresas a cumprir regulamentos e metas de eficiência energética estabelecidos pelo governo;
 - 11) Financiamento: as empresas podem usar certificados brancos como garantia para obter financiamento para projetos de eficiência energética. Para utilizar certificados brancos de eficiência energética, as empresas podem medir o consumo de energia atual de seus sistemas e identificar áreas de oportunidade para economia de energia, implementar medidas de eficiência energética, como a troca de equipamentos antigos por novos, mais eficientes, instalação de sistemas de automação e otimização de processos, medir o consumo de energia após as melhorias e calcular a economia de energia, calcular o número de certificados brancos emitidos com base na economia de energia e armazená-los em um CI no *Blockchain*, negociar os certificados brancos no mercado de carbono.
- Além disso, é importante mencionar que existem programas governamentais para incentivar a eficiência energética, como o "Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica" (Procel), que pode ajudar as empresas a obter recursos financeiros para executar projetos de eficiência energética.

5 CONCLUSÃO

O objetivo principal tratado neste artigo foi o de debater a possível utilização do *Blockchain* no mercado de energia e eficiência energética, abrangendo questões como a descentralização do mercado de energia através do *Blockchain*, onde os consumidores consigam comprar energia conforme disponibilidade e com menor complexidade e burocracia. Observou-se que a aplicação do *Blockchain* em contratos de performance, aqui tratados como EPCs, é viável e já está sendo estudada em mercados da Europa e América do norte. Além da utilização em contratos de performance, o *Blockchain* é estudado para verificar a veracidade de certificados brancos e verdes, transparência de dados entre as partes interessadas. Foram discutidas as dificuldades de sua aplicação e constatou-se que apesar de ainda ser uma tecnologia nova, sua aplicação no mercado de energia é razoável, não é algo que não se sustente, pelo contrário, seria bem-vinda.

Concluindo, o uso do *Blockchain* e contratos inteligentes para incentivar a economia de eficiência energética pode ser uma forma eficiente e transparente de medir e verificar projetos de economia de energia. A aplicação desse modelo nas escolas SENAI, mostrou como a utilização dos CIs e aferição dos resultados estimados podem ser utilizados para gerar certificados brancos como forma de medir a economia de energia obtida. Esse modelo pode ser adaptado e utilizado nas indústrias brasileiras como incentivo para economia de eficiência energética, fornecendo uma forma mais transparente e econômica de realizar projetos de medição e verificação.

A utilização do *Blockchain* para medição e verificação em eficiência energética pode ser uma ferramenta poderosa para incentivar empresas e indivíduos a economizar energia e reduzir suas pegadas de carbono. Ao recompensar as economias de energia com certificados brancos, os participantes do sistema são incentivados a encontrar maneiras criativas e inovadoras de economizar energia, e essas economias são documentadas e verificadas de forma transparente e confiável. Além disso, a tecnologia *Blockchain* oferece recursos de

segurança e privacidade, o que garante a integridade das informações e transações. Esses certificados brancos podem ser negociados em mercados de carbono e gerar receitas adicionais para empresas e organizações que procuram monetizar suas economias de energia.

A implementação de um sistema baseado em *Blockchain* pode apresentar desafios, mas os benefícios potenciais para a eficiência energética e para o meio ambiente são significativos e podem ser uma solução valiosa para lidar com as mudanças climáticas.

REFERÊNCIAS

AGUIAR, Osmani de Souza; RAMOS, Francisco de Sousa. **O mercado brasileiro de energia elétrica: critérios de decisão na migração de consumidores para o ambiente de contratação livre**. 2008. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Economia, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2008. Disponível em: <https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/3965>. Acesso em: 13 ago. 2023.

ANDRADE, José Célio Silveira; COSTA, Paulo. Mudança climática, Protocolo de Kyoto e mercado de créditos de carbono: desafios à governança ambiental global. **Organizações & Sociedade**, v. 15, n. 45, p. 29-45, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1984-92302008000200002>. Acesso em: 13 ago. 2022.

BAJAY, Sergio Valdir. Avaliação crítica do atual modelo institucional do setor elétrico brasileiro. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA, 13., Rio de Janeiro, 2010. [Anais...]. Disponível em: <https://www.nipe.unicamp.br/docs/publicacoes/avaliacao-critica-do-atual-modelo-institucional-do-setor-eletrico-brasileiro.pdf>. Acesso em: 24 set. 2022.

BARTHOLOMEU, Daniela Bacchi; PÉRA, Thiago Guilherme; CAIXETA-FILHO, José Vicente. Logística sustentável: avaliação de estratégias de redução das emissões de CO² no transporte rodoviário de cargas. **The Journal of Transport Literature**, v. 10, 2016. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/jtl/a/hmCRKy5mgYswyFvrKRCTzvG/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 30 out. 2022.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. **BEN: relatório síntese 2022: ano base 2021**. Brasília: Ministério de Minas e Energia, 2022.

CAUCHICK MIGUEL, Paulo Augusto et al. **Metodologia de pesquisa em engenharia de produção e gestão de operações**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2010.

CAPELO, Carlos. **ESCOs e contratos de desempenho energético: preenchendo o "Gap" de eficiência energética através da economia da performance**. Lisboa: Galp Energia, 2011. Disponível em: https://lisboaenova.org/images/stories/PontodeEncontro/2011/Ecos_GALP.pdf. Acesso em: 05 nov. 2022.

DEBONI, Victor de Magalhães et al. Gestão dos sistemas de redes elétricas através das funcionalidades e potencialidades da tecnologia Blockchain. *In*: CONFERÊNCIA BRASILEIRA SOBRE QUALIDADE DA ENERGIA ELÉTRICA, 14., 2021. [Anais...] Campinas: Galoá, 2021. Disponível em: <https://proceedings.science/cbqee-2021/trabalhos/gestao-dos-sistemas-de-redes-eletricas-atraves-das-funcionalidades-e-potencialid?lang=pt-br>. Acesso em: 11 jan. 2023.

DI SANTO, Dario et al. **The white certificate scheme: the Italian experience and proposals for improvement.** European Council for an Energy Efficient Economy (ECEEE) Summer Study, 2011. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Dario-Di-Santo/publication/323998953_The_white_certificate_scheme_the_Italian_experience_and_proposals_for_improvement/links/5ab7cea70f7e9b68ef51a9f4/The-white-certificate-scheme-the-Italian-experience-and-proposals-for-improvement.pdf. Acesso em: 11 dez. 2022.

ELECTRON.NET. **PLC - Project Recorder is the integration of energy asset data.** 2020. Disponível em: <https://electron.net/projects/project-recorder-uk/> Acesso em: 17 mar. 23.

FERREIRA, Juliandson Estanislau; PINTO, Filipe Gutemberg Costa; SANTOS, Simone Cristiane dos. Estudo de mapeamento sistemático sobre as tendências e desafios do Blockchain. **Gestão.Org.**, v. 15, n. 6, p. 108-117, 2017. Disponível em: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7328726>. Acesso em: 17 dez. 2022.

GABRICH, Yuri B.; COELHO, Igor M.; COELHO, Vitor N. Tendências para sistemas microgrids em cidades inteligentes: uma visão sobre a blockchain. *In*: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL, 49., Blumenau-SC, 27 a 30 de agosto de 2017, p. 1-12. [Anais...]. Disponível em: <http://www.din.uem.br/~ademir/sbpo/sbpo2017/pdf/169695.pdf>. Acesso em: 06 ago. 2022.

GÜRCAN, Önder et al. An industrial prototype of trusted energy performance contracts using blockchain technologies. *In*: **2018 IEEE 20th International Conference on High Performance Computing and Communications; IEEE 16th International Conference on Smart City; IEEE 4th International Conference on Data Science and Systems (HPCC/SmartCity/DSS)**. IEEE, 2018. p. 1336-1343. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8622960>. Acesso em: 19 nov. 2022. Acesso em: 19 nov. 2022.

IBERDROLA. **Blockchain no mercado energético como pode o 'blockchain' confirmar a origem da energia verde?** Inovação, [S. l.], p. 1-1, 29 ago. 2019. Disponível em: <https://www.iberdrola.com/inovacao/blockchain-energia>. Acesso em: 16 dez. 2023.

KHATOON, Asma et al. Blockchain in energy efficiency: potential applications and benefits. **Energies**, v. 12, n. 17, p. 2-14, 2019. Disponível: <https://www.mdpi.com/1996-1073/12/17/3317>. Acesso em: 11 dez. 2022.

KLOWASKI, Felipe Eduardo. **As implicações jurídicas de transações comerciais realizadas por meio da tecnologia blockchain com criptomoedas**. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Direito). Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2022. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/243769/TCC%20%282%29.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 15 jan. 2023.

LAURENCE, Tiana. **Blockchain para leigos**. Rio de Janeiro: Alta Books, 2019.

MACHADO, Solange et al. Novo modelo de comercialização de energia elétrica utilizando blockchain, um estímulo à geração distribuída e aos veículos elétricos. **Revista Brasileira de Energia Solar**, v. 11, n. 1, p. 89-96, 2020.

MAGALHÃES, Rui. **Cadeia de blocos: blockchain**. 2018. Disponível em: <https://ruimagalhaes.net/blockchain/cadeia.htm>. Acesso em: 13 ago. 2022.

MARQUES, Naielly Lopes. **Um modelo para oferta de certificados de energia renovável na Blockchain sob incerteza e flexibilidade**. Rio de Janeiro: PUC-Rio, 2019. Dissertação (Mestrado em Administração de Empresas) Pontifícia Universidade Católica. Rio de Janeiro. Disponível em: <https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/37815/37815.PDF>. Acesso em: 27 nov. 2022.

MOUGAYAR, William. **Blockchain para negócios: promessa, prática e aplicação da nova tecnologia da internet**. Rio de Janeiro: Alta Books, 2018.

NUNES, Flávia Martins Farias; MONTEIRO, Matheus Rodrigues Lobo; BRITO, Pedro Henrique Duarte Medeiros de. **Aspectos tributários dos criptoativos no Brasil**. 2020. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Direito) Centro Universitário do Distrito Federal - UDF. Disponível em: <https://repositorio.fass.edu.br/jspui/bitstream/123456789/1641/1/Flavia%20Martins%20Farias%20Nunes%20Matheus%20Rodrigues%20Lobo%20Monteiro%20e%20Pedro%20Henrique%20Duarte%20Medeiros%20de%20Brito.pdf>. Acesso em: 21 jan. 2023.

PAULA, Vitor Albuquerque de. **Venda de energia por Blockchain**. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação Engenharia de Computação) Escola de Engenharia. Universidade de São Paulo, São Carlos, 2019. Disponível em: https://repositorio.usp.br/directbitstream/be289b50-79a4-40ef-90f7-15e0f3e3a3a7/Paula_VitorAlbuquerque_tcc.pdf. Acesso em: 25 nov. 2022.

POWERLEDGER. **Building a market for granular certificates**. 2022. Disponível em: <https://www.powerledger.io/>. Acesso em: 17 mar. 23.

SANTOS, João Tadeu Alves dos. **Blockchain em sistemas de virtual power plant: estudo para aplicação na Macrometrópole Paulista**. 2021. Dissertação (Mestrado). Disponível em: <https://repositorio.usp.br/item/003056528>. Acesso em: 27 nov. 2022.

SILVA NETO, Cristovão Amaro da. **O advento dos criptoativos sob a perspectiva jurídica da arrecadação tributária no Brasil** / Cristovão Amaro da Silva Neto. - João Pessoa, 2023. 53f.

SOARES, Pedro Henrique Ribeiro Barros. **Contratos inteligentes através da blockchain.**

Goiânia: PUC-GO, 2021. Disponível em:

<https://repositorio.pucgoias.edu.br/jspui/handle/123456789/3560>. Acesso em: 24 set. 2022.

VAN CUTSEM, Olivier et al. Cooperative energy management of a community of smart buildings: a Blockchain approach. **International Journal of electrical power & energy systems**, v. 117, 2020. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0142061519323087>. Acesso em: 29 nov. 2022.

Sobre o(s) Autor(es)

ⁱ ARTHUR DE OLIVEIRA SOUZA



Possui graduação em Engenharia elétrica pela Faculdade FMU(2019), cursando atualmente a Pós-Graduação em Gestão e eficiência energética pela Faculdade SENAI de Tecnologia Mecatrônica (2022). Tem experiência na área de Engenharia elétrica, com ênfase em Projetos e instalações fotovoltaicas, como engenheiro de vendas em diversas empresas. É especialista em eficiência energética pelo Senai São Paulo - SP.

ⁱⁱ HERMOM LEAL MOREIRA



Possui doutorado em Engenharia Elétrica pela Universidade de São Paulo – USP (2021), mestrado Engenharia Elétrica pela UNESP (2015), especialização em Engenharia de Segurança do Trabalho pela UNIC (2007) e graduação em Engenharia Elétrica - Telecomunicações pela UFMT (2006). Atualmente é professor da Escola e Faculdade SENAI - São Paulo “Mariano Ferraz”. <http://orcid.org/0000-0001-8339-7303>