

Área: Sustentabilidade | **Tema:** Cidades Sustentáveis e Inteligentes

O USO DA TECNOLOGIA BLOCKCHAIN EM REDES INTELIGENTES (SMART GRIDS)

THE USE OF BLOCKCHAIN TECHNOLOGY IN SMART GRIDS

Itauana Giongo Remonti, Diego Dorneles Goulart, Filipe Carloto e Luciane Neves Canha

RESUMO

Esse artigo tem como objetivo principal mostrar o princípio de funcionamento da tecnologia Blockchain e sua aplicação no contexto de Smart Grids (redes inteligentes de energia). Sendo o blockchain responsável por ampliar, com segurança, eficiência e privacidade, a comunicação dos dispositivos da Internet das Coisas (IoT). Outro ponto a ser abordado neste artigo é a importância tecnológica que o Blockchain tem no setor elétrico, o qual permite que o armazenamento, o monitoramento e o gerenciamento da energia elétrica na Geração Distribuída utilizando energias renováveis em pequena e média escala, sejam de forma confiável e eficiente. Com o uso dessa tecnologia na Smart Grids é possível transações de créditos de energia entre cliente-cliente, não apenas dependente da concessionária para gerar e distribuir a eletricidade. Desta forma, busca-se mostrar que é necessário e fundamental a regulação dessa tecnologia em redes inteligentes de energia, para que exista uma sincronia entre operador e gerador na transferência dos dados. Esta regulação tarifária será vital para o avanço das Smart Grids no Brasil. Pois, as concessionárias distribuidoras de energia, terão outras funcionalidades e outras posições dentro do setor elétrico, pois o uso da tecnologia blockchain nas smart grids proporcionará um mercado descentralizado, diferente do contexto atual no Brasil.

Palavras-Chave: Blockchain; Redes Inteligentes; Energia Elétrica.

ABSTRACT

This article has as its main objective to show the working principle of Blockchain technology and its application in the context of Smart Grids. Being the blockchain responsible for safely, efficiently and privately extending the communication of IoT (IoT) devices. Another point to be addressed in this article is the technological importance that Blockchain has in the electricity sector, which enables the storage, monitoring and management of electricity in Distributed Generation, using small and medium scale renewable energy to be reliably and efficient. Using this technology at Smart Grids enables customer-to-customer energy credit transactions, not just relying on the utility to generate and distribute electricity. So, approach show that it is necessary and fundamental to regulate this technology in intelligent energy networks, so that there is a synchronization between operator and generator in the data transfer. This tariff regulation will be vital for the advancement of smart grids in Brazil. Because, the power distribution utilities will have other features and other positions within the electricity sector, because the use of blockchain technology in smart grids will provide a decentralized market, different from the current context in Brazil.

Keywords: Blockchain; Smart Grids; Electricity.

O USO DA TECNOLOGIA *BLOCKCHAIN* EM REDES INTELIGENTES (*SMART GRIDS*)

1 INTRODUÇÃO

A tecnologia *Blockchain*, também conhecida como Protocolo de Confiança, é um sistema que funciona como um banco de dados de registro de atividades ou afins de forma distribuída. Em outras palavras, há uma descentralização como forma de segurança ou confiabilidade ao sistema que está sendo utilizado.

Basicamente, o *blockchain* atua como um banco de dados distribuído online e que pode ser atualizado por qualquer participante da rede que o compõem. Também possui um algoritmo de Prova de Trabalho, o qual tem o objetivo de prevenir contra os ataques cibernéticos (Kypriotaki; Zamani; Giaglis, 2015). Utiliza-se de técnicas de criptografia para que cada integrante possa manipular o *ledger* (livro digital onde informações são registradas regularmente), de forma segura e sem a necessidade de um terceiro mediador.

Todo computador, o qual é chamado de ‘nó’, que entra nesse sistema e tem a tarefa de validar e repassar as transações, obtém uma cópia completa do *blockchain* que são inseridos de forma linear e cronológica. Os ‘blocos’ possuem referência sempre ao bloco anterior juntamente com o conteúdo que carregam e isso acaba criando uma impressão digital própria. Ou seja, o bloco posterior sempre vai possuir a impressão digital do bloco anterior. Dessa forma, não é possível burlar uma transação que foi enviada com uma ordem cronológica sem alterar todos os blocos posteriores a ele.

Sendo assim, a partir do avanço tecnológico voltado para *Smart Cities*, surgiu a crescente necessidade de investimentos em equipamentos bem como dos sistemas computacionais para o gerenciamento dos sistemas de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica, as quais compõem as *Smart Grids*. Conjuntamente, o incentivo da geração distribuída utilizando fontes energéticas renováveis para a produção de eletricidade, o *plug-in* para o carregamento dos carros elétricos, faz com que o setor elétrico também acompanhe esse crescimento e essa inovação.

Todavia, a eletricidade é um dos principais meios para que as inovações tecnológicas ocorram. Desde sua descoberta, contribuiu e vem contribuindo para melhorias em todas as esferas da vida humana. Com isso, estudos e pesquisas são realizadas para melhorar e otimizar sua geração, distribuição e armazenamento, o qual surgiu o *Smart Grid* segundo Gao et al. (2018).

Os *Smart Grids* serão as gerações de energia elétrica nas *Smart Cities*, os quais serão responsáveis pelas integrações dos sistemas de informações com a própria rede. Assim como, a possibilidade da comunicação bidirecional com a rede elétrica, pertencente no sistema atual às concessionárias. Os *Smart Grids* surgiram para uma maior confiabilidade, segurança, sustentabilidade energética, otimização de problemas, acompanhamento em tempo quase real, interação com todo o sistema de distribuição, controle na utilização da energia elétrica e o preço a ser pago pelo consumo naquele determinado horário, utilizando tarifas diferenciadas ao longo do dia, (Meng; Ma; Chen, 2014).

Entretanto, há alguns desafios para a implementação segura das redes elétricas inteligentes, como por exemplo: o sistema de informação não é totalmente seguro, podendo as informações dos clientes serem roubadas por invasores quando estas forem transmitidas para o centro de controle; outro desafio é tornar o armazenamento e o compartilhamento dos dados da rede elétrica inteligente em um nó descentralizado, para que ele seja seguro e confiável, de forma a impedir que os dados sejam adulterados; na rede elétrica há centenas de milhões de equipamentos, os quais são difíceis de supervisionar e acompanhar em tempo real, precisando

assim, melhorar a otimização de supervisão da *Smart Grid*, para que a mesma tenha um melhor gerenciamento e custo de operação adequado (Mochan; Xiaohong, 2019).

Desta forma, observa-se que para o sistema elétrico do *Smart Grid* ter maior confiabilidade, segurança e eficiência, é necessário que os dados de informações de cada cliente não sejam adulterados e muito menos roubados. Com isso, surge a necessidade de uma tecnologia para proteger a rede do cliente, de forma que seja descentralizada (sem a necessidade de intermediário para a troca dos dados de informações). Sendo assim, a tecnologia *blockchain* possui um elevado potencial para garantir essa comunicação entre o cliente-cliente e/ou cliente-concessionária.

O uso da tecnologia *blockchain*, apesar dos desafios que ainda possui para a implementação em grande escala nos *Smart Grids*, ainda sim, é promissora dada a confiabilidade, segurança e eficiência na troca de dados, por ser um sistema sobretudo descentralizado, *mult-signatures* e criptografia, fazendo com que os clientes negociem entre si a troca de energia, assim como, o preço em tempo real. Isso torna a *Smart Grid* transparente, segura e com um gerenciamento quase em tempo real (Aitzhan; Svetinovic, 2016).

2 DESENVOLVIMENTO TEÓRICO

Smart Grid é uma rede inteligente, a qual possui seu funcionamento e suas características com fluxos bidirecionais, tanto na geração, transmissão e distribuição da energia elétrica quanto para o envio de informações com a rede e/ou cliente. Para tal, necessita-se de tecnologia *IoT* (*Internet das Coisas*) para conectar os componentes, gerenciar e controlar a operação. Portanto, é imprescindível que os envios desses dados sejam de forma confiáveis e eficientes, dessa forma, utilizando a tecnologia *blockchain*.

2.1 PRINCIPAIS APLICAÇÕES DO *BLOCKCHAIN* NO SETOR ELÉTRICO

A partir da tecnologia *Blockchain 1.0* empregada nas criptomoedas digitais, como por exemplo o *Bitcoin* e muitas outras. Com isso, observou-se a evolução através de um elemento transformador, o *Blockchain 2.0*, em vários outros setores da economia, inclusive no setor elétrico. Cabe ressaltar que o setor elétrico difere do setor financeiro por transacionar um produto físico, a eletricidade. As transações econômicas não envolvem apenas valores e informações, mas, também, a troca de energia, a qual é transportada por meio da infraestrutura da rede física (Castro; Lima; Pereira, 2018).

Assim, no cenário de difusão da microgeração e minigeração distribuída, a tecnologia *blockchain* auxiliará as empresas do setor elétrico com um conjunto cada vez mais complexo de transações entre produtores (pequenos e grandes) e os consumidores. Ainda, no contexto da digitalização, as tecnologias de redes inteligentes, inteligência artificial e sistemas de monitoramento de energia oferecem um controle cada vez maior, mas trazem novos desafios, como por exemplo a coordenação das informações, a interpretação das informações e a segurança dos dados. O *blockchain* mostra-se como uma alternativa ao permitir resolver a questão da coordenação das informações dos diferentes aparelhos, sistemas e instrumentos, além de prover segurança dos dados, devido à criptografia (Castro; Lima; Pereira, 2018) e (Gabrich; Coelho; Coelho, 2017).

Ressalta-se que a digitalização aportará uma série de benefícios para as redes elétricas inteligentes. Do lado da oferta, permite o aumento da produtividade de operação e a eficiência dos ativos, além do controle dos sistemas de transmissão e de distribuição por meio de monitoramento remoto, controle e automação. Do lado da demanda, os consumidores poderão se beneficiar de novas soluções tecnológicas das concessionárias e de outros fornecedores de

bens e serviços para o setor elétrico (Castro; Lima; Pereira, 2018) e (Gabrich; Coelho; Coelho, 2017).

Além disso, com esta tecnologia, as empresas de energia poderão ter uma série de benefícios para suas atividades e consumidores, tais como: a redução de riscos; a melhoria de processos de *back office*; a redução de custos; a proteção contra possíveis ataques cibernéticos; e a coordenação de dados entre diferentes aparelhos nas residências (Castro; Lima; Pereira, 2018).

O *blockchain* pode oferecer às empresas uma maneira mais eficaz de registrar e processar dados, além de permitir aos consumidores um modo mais eficiente de administrar suas faturas de energia elétrica, uma vez que, pela plataforma, os usuários poderiam ter acesso aos dados e às transações em andamento.

A seguir, apresenta-se as principais aplicações do *blockchain* no setor elétrico, como o *Marketplace* descentralizado, a resposta da demanda, o pré-pagamento de energia e os certificados de geração de energia por fontes renováveis.

2.1.1 *Marketplace* descentralizado para comercialização de energia elétrica

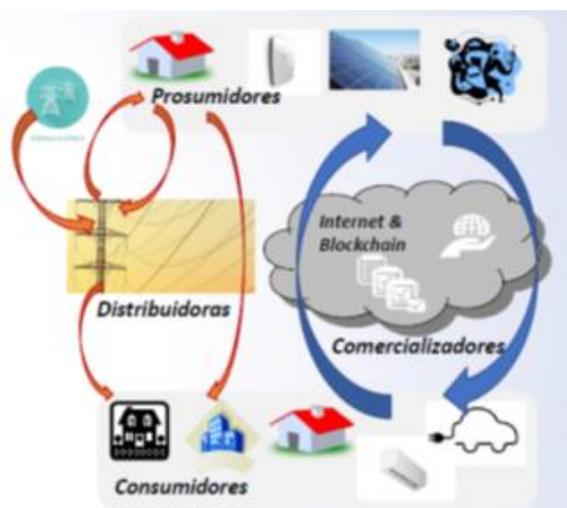
O *Marketplace* descentralizado representa a principal aplicação do *blockchain* considerando-se os mercados avançados de energia elétrica (Rolim, 2018).

A aplicação da tecnologia *blockchain* na criação de um *Marketplace* de energia tem como motivadores:

- A disseminação da mini e microgeração distribuída na base de consumidores em baixa tensão;
- A crescente importância das fontes renováveis na evolução da matriz de energia elétrica;
- A inserção dos veículos elétricos e sistemas de armazenamento de energia;
- A menor atratividade econômica da Geração Distribuída (GD) - já observada em alguns mercados, seja com *net-metering* ou tarifas *feed-in*.

Pode-se observar na Figura 1 uma parte do fluxograma do *Marketplace* descentralizado no setor elétrico.

Figura 1 - *Marketplace* descentralizado de energia



Fonte: Rolim, 2018.

O funcionamento da plataforma baseada na tecnologia *blockchain*, conforme (Castro; Lima; Pereira, 2018), para trocas de energia elétrica, apresentado acima na Figura 1, é composto, a priori, pelas seguintes etapas:

- Primeiro, o prosumidor gera um excedente de energia;
- Depois, esta energia é exportada para a rede e registrada em um medidor inteligente antes de ser registrada no *blockchain*;
- Em seguida, a energia exportada é representada por um *token* (por exemplo, 1 token = 1 kWh);
- Os *tokens* podem ser registrados no mercado aberto para que os consumidores possam adquiri-los;
- E por fim, os consumidores têm acesso a uma lista com as vendas que estão ocorrendo, com o tipo de geração que foi realizada e a localização precisa.

Com o uso da tecnologia *blockchain*, pode-se saber quanto um usuário poderia contribuir em termos de energia, uma vez que, na rede elétrica haveria informações sobre quanto ele produziu e quanto deseja consumir, em kWh. O *blockchain* seria, portanto, um mecanismo de definição das preferências de consumo e de geração dos prosumidores, operacionalizando as regras preestabelecidas, por meio de contratos inteligentes, em função das variações de preço, de hora, de fluxo e de estoque de energia (Castro; Lima; Pereira, 2018).

No *Marketplace* descentralizado, cria-se um ambiente rápido, flexível e, se desejável, sem intermediários para a compra e venda de energia elétrica a preços competitivos entre seus participantes:

- Consumidores cativos;
- Prosumidores;
- Empreendimentos de GD compartilhada;
- Comercializadores varejistas;
- Distribuidoras de energia;
- Microgrids.

O mercado alvo são os consumidores cativos e os prosumidores do grupo B, onde a Geração Distribuída está se expandindo, inclusive no Brasil. Os prosumidores podem encontrar no *Marketplace* descentralizado melhores ofertas para seus excedentes de energia e negociá-las diretamente, ou via intermediários, com outros consumidores.

Em termos de operação do *Marketplace* tem-se que:

- Mercado livre de energia, sujeito, portanto, a algum nível de regulamentação;
- Participantes publicam suas demandas e ofertas de energia no *Blockchain*;
- *Smart Contracts* são os objetos da mineração, sendo firmados com base nas demandas e ofertas publicadas;
- Comercializadores, consumidores e prosumidores mineram os *Smart Contracts*, sendo remunerados de acordo com as regras de consenso;
- Comercializadores podem atuar sob delegação dos prosumidores e consumidores;
- A energia não comercializada pode ser remunerada em uma base previamente acertada.

A seguir, na Figura 2, é demonstrado a relação entre oferta e demanda dos *Smart Contracts* (Contratos Inteligentes), os quais são dispostos no *blockchain* para que todos possam ter acesso às informações do excedente gerado e da demanda de consumo de energia elétrica.

Figura 2 - Relação Oferta x Demanda em *Smart Contracts*

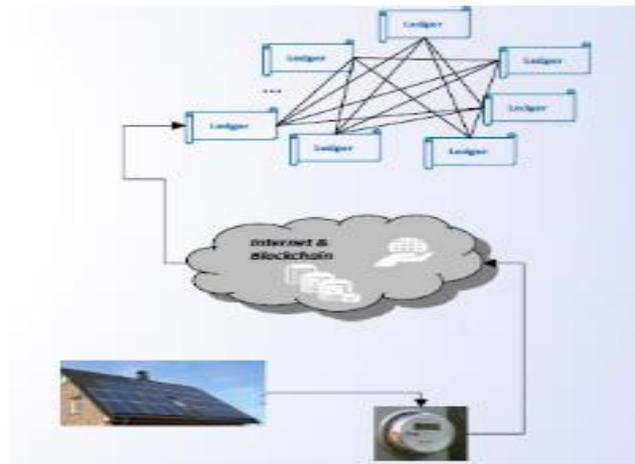


Fonte: Rolim, 2018.

Na Figura 2, percebeu-se de forma clara a importância do *blockchain* nos *Smart Contracts*. A seguir, na Figura 3, apresenta-se a Validação da Medição, explanada abaixo os critérios:

- A validação (mineração) consiste em resolver um desafio matemático, associando ofertas de energia que atendem, em parte ou em um todo, às demandas publicadas, firmando assim, um *Smart Contract*;
- É necessário, portanto, validar a posteriori o fornecimento da energia especificada na oferta do *Smart Contract*;
- Medidores de energia, acreditados para operar no *Marketplace*, publicam periodicamente o número de kWh, consumidos e injetados, na rede de distribuição;
- Uma vez validados a origem e a autenticidade das medições, os registros correspondentes são inseridos no *Blockchain*.

Figura 3 - Validação da Medição



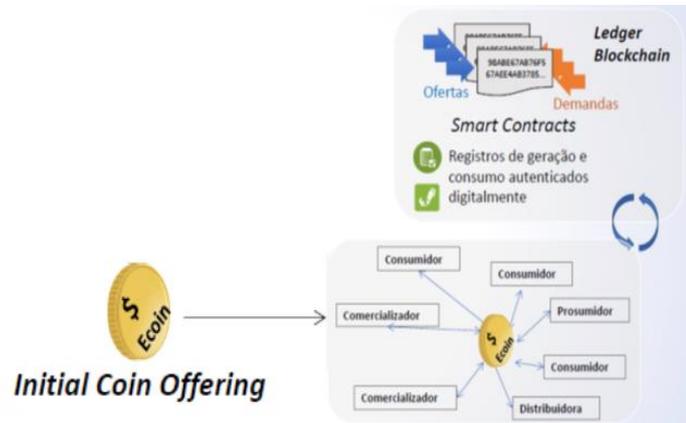
Fonte: Rolim, 2018.

Acima, na Figura 3, apresentou-se de forma sucinta o fluxograma da Validação da Medição. Com isso, segue-se como se dá o acerto das transações, apresentadas na Figura 4 e explanadas abaixo, como:

- O acerto de contas é feito tipicamente por meio de uma criptomoeda que valora as transações no *Marketplace*;
- Em geral, o *Marketplace* é uma iniciativa de um ou mais comercializadores, financiados por meio de *ICO – Initial Coin Offerings* – instrumento de conversão de moeda nacional em criptomoeda;

- O *Marketplace* fornece mecanismos para converter os saldos em criptomoedas em moeda nacional.

Figura 4 - Pagamentos e Acerto de Contas – Arranjo Típico



Fonte: Rolim, 2018.

Acima, na Figura 4, apresentou-se as formas de pagamentos e acerto de contas, levando em consideração o arranjo típico. Já abaixo, na Figura 5, é apresentado abaixo as formas de pagamentos e acerto de contas, levando em consideração o arranjo alternativo, que são:

- Alternativamente, as transações podem ser especificadas em kWh e valoradas em moeda oficial, o que permite uma comparação direta do valor da energia comercializada no *Marketplace* com as tarifas reguladas;
- Desta forma, um acerto de contas deve ser realizado periodicamente com as informações armazenadas no *blockchain*, levando em consideração os *Smart Contracts* e os registros das medições;
- Uma *Clearing House* realiza o acerto de contas, considerando inclusive os serviços de conexão à rede elétrica que são prestados pelas distribuidoras de energia elétrica.

Figura 5 - Pagamentos e Acerto de Contas – Arranjo Alternativo



Fonte: Rolim, 2018.

Acima, na Figura 5, observa-se o arranjo alternativo dos pagamentos e acerto de contas dos *Smart Contracts*.

2.1.2 Respostas da demanda de energia elétrica

Orquestração de registro de ações de Resposta da Demanda (DR) a partir de eventos e do estado da rede de distribuição, apresentada abaixo na Figura 6.

Figura 6 - DSM via *IoT* - *Blockchain*



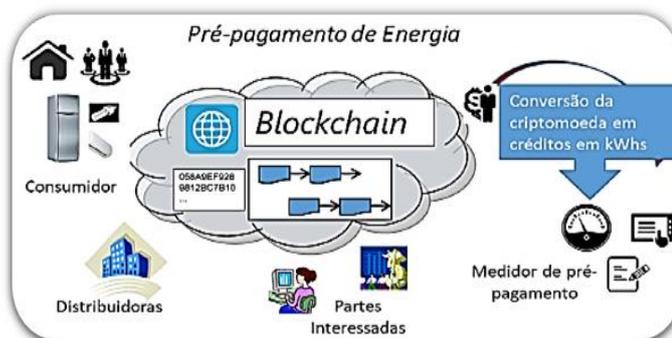
Fonte: Rolim, 2018.

Observa-se acima, na Figura 6, o gerenciamento pelo lado da demanda utilizando a *Internet* das Coisas e a tecnologia do *blockchain* para o registro de informações, via DMS para otimizar as transições de informações.

2.1.3 Pré-pagamento de energia elétrica

Estimula a participação em ações de eficiência energética e promoção do uso racional da energia por meio de créditos de energia em criptomoedas, apresentadas abaixo na Figura 7.

Figura 7 – Pré-Pagamento de energia elétrica



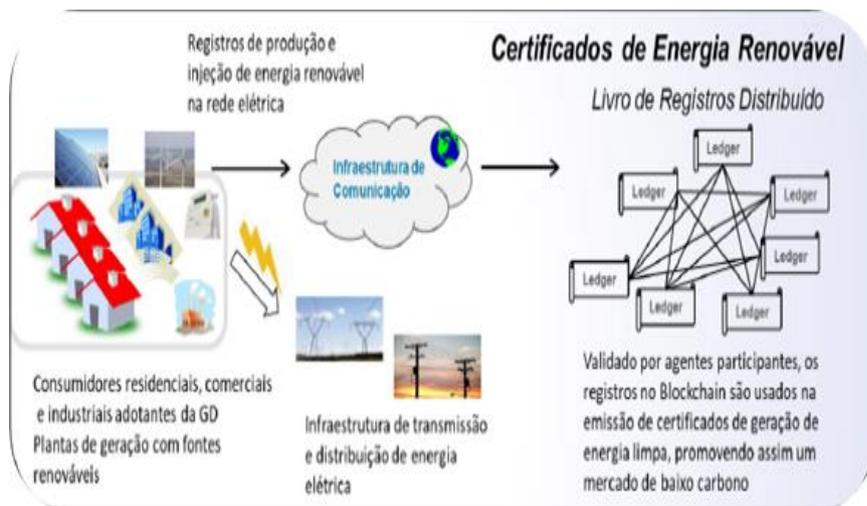
Fonte: Rolim, 2018.

Observa-se acima, na Figura 7, como funciona o pré-pagamento de energia utilizando o *blockchain*, sendo ele através da conversão da criptomoeda em créditos de energia em kWhs. Sendo de forma bidirecional entre as partes interessadas, levando em consideração um sistema descentralizado, o qual as concessionárias passam a ter outro posicionamento e outras funções dentro do setor elétrico.

2.1.4 Certificados de geração de energia por fontes renováveis

Registros de produção de energia renovável armazenados em um *blockchain* podem ser usados na promoção de um mercado de baixo carbono, podendo ser observado abaixo na Figura 8.

Figura 8 - Certificados de Energia Renovável



Fonte: Rolim, 2018.

Acima, na Figura 8, pode-se observar de forma clara a geração de energia elétrica utilizando fontes de energias renováveis para a mesma. Com isso, diminui de forma significativa a produção de Gás Carbônico, o qual é emitido na geração de eletricidade com fontes não renováveis.

Com isso, observa-se também como se dão os Certificados de Energia Renovável, sendo através do livro de registros distribuído entre os *ledgers*, os quais são validados pelos agentes participantes registrados no *blockchain*.

2.1.5 Administração de contratos de energia e auditoria dos registros de medição

A tecnologia *blockchain* fornece transparência e proveniência, sendo utilizada para mitigar problemas relacionados com crime cibernéticos. Um contrato inteligente, que executa procedimentos estabelecidos para fornecer um sistema baseado em confiança entre os participantes da rede também é implementado. Pode oferecer um sistema eficiente, pois o usuário pode monitorar como a eletricidade é usada, e também fornece uma plataforma a qual não há manipulação de qualquer uma das partes quase em tempo real.

2.2 EXEMPLOS DE SOLUÇÕES COM BLOCKCHAIN EM SISTEMAS DE ENERGIA ELÉTRICA EM OUTROS PAÍSES

As empresas americanas *IDEO CoLab*, *Nasdaq* e *Filament* em conjunto criaram um projeto chamado *Smart Solar*, cuja essência é usar a tecnologia *blockchain* e a Internet das Coisas, através da qual painéis solares podem auto avaliar a quantidade de energia gerada e *REC (Renewable Energy Certificate)*. O protótipo foi criado, o que já mostrou que é possível promover o desenvolvimento da energia solar sem ter que usar nenhuma empresa intermediária. Uma parte deste projeto foi a combinação de painéis solares separados em uma rede (*smart*

microgrid), que permitiria rastrear cada kWh de energia enviada ao cliente final. Além disso, se a energia for produzida por pequenos geradores, como um painel solar de uma casa, será possível vender o excedente dessa energia diretamente para outro comprador. Por exemplo, um vizinho, que precisa disso naquele momento (Kushch; Castrillo, 2017).

A empresa australiana *Power Ledger* e algumas outras empresas em diferentes países testaram uma tecnologia que permite que proprietários de imóveis que possuem sua própria fonte de energia (painéis solares, geralmente) vendam eletricidade sem intermediários. O vendedor e o comprador podem acompanhar o movimento da eletricidade, bem como o movimento do dinheiro de forma transparente através do *blockchain*. Já houve casos em que o proprietário vendeu uma parte de sua energia solar para um vizinho (Kushch; Castrillo, 2017).

Outro projeto semelhante é o de uma empresa dos Estados Unidos da América, chamada *Brooklyn Microgrid*. O projeto *Brooklyn Microgrid* permite que moradores e empresas vendam o excesso de energia solar em uma bolsa de valores virtual, independentemente das principais redes de energia. A plataforma é baseada no *blockchain* - um registro distribuído em que cada usuário pode acompanhar facilmente a transação. Enquanto a plataforma *Brooklyn Microgrid* registrou apenas 50 pessoas, os criadores do projeto planejam criar uma rede de distribuição bem desenvolvida com base no registro distribuído da *blockchain*. Os organizadores do projeto foram a *LO3 Energy* e a *Siemens*. A bolsa de valores independente permitiu que os residentes do *Brooklyn* vendessem o excesso de energia sem qualquer envolvimento da parte das empresas de energia e serviços públicos. Os usuários conseguiram gerenciar a energia solar gerada e colocá-la à disposição, sem precisar enviá-la para uma rede comum. Micro redes desse tipo operam independentemente da rede principal e podem funcionar mesmo durante interrupções no fornecimento de eletricidade devido a desastres naturais ou ataques terroristas. Os participantes receberam créditos de energia renovável - os certificados que são usados para rastrear a quantidade de energia exportada para a rede a partir de fontes renováveis, uma vez que não é permitido vender energia diretamente. Corporações e empresas de energia podem comprar esses créditos e, assim, aumentar sua simpatia ambiental. Todas as operações e dados de energia podem ser rastreados em um aplicativo móvel que é baseado no *blockchain* e protegido por algoritmos criptográficos (Kushch; Castrillo, 2017).

Atualmente, algumas grandes empresas de geração de energia estão tentando introduzir o *Blockchain* nos sistemas de distribuição, armazenamento e contabilidade. Por exemplo, a operadora europeia de redes elétricas *TenneT* e a fabricante de baterias solares *Sonnen GmbH* lançaram um projeto piloto conjunto que usa o *blockchain* para redistribuir a potência das baterias domésticas. A energia excedente limpa produzida por turbinas eólicas e painéis solares é muitas vezes desperdiçada ou provoca um declínio artificial na geração de energia. As empresas *TenneT* e *Sonnen* querem redistribuir esta energia através da combinação de sistemas domésticos de armazenamento de eletricidade. Como resultado, o excedente de energia eólica acumulado no norte da Alemanha pode ser redistribuído por meio de uma rede de baterias domésticas no sul do país, onde a energia limpa é insuficiente (Kushch; Castrillo, 2017).

As empresas irão conectar cerca de 6.000 residências ao projeto, as quais devem ter painéis solares e um sistema de armazenamento de energia em sua própria casa. O projeto funcionará com base no uso da tecnologia *Blockchain*, desenvolvida pela *IBM (International Business Machines Corporation)*. Os sistemas caseiros de armazenamento de energia solar, por si sós, são muito menos eficazes do que quando usados coletivamente, e é por isso que *TenneT* e *Sonnen* querem criar uma grande linha de energia virtual. Para começar, os parceiros querem conectar pelo menos 24 MW de armazenamento ao projeto. Se depois de dez anos, apenas 10% de todos os lares na Alemanha instalarem um sistema de armazenamento de energia em casa, ele criará pelo menos 6 GW de capacidade, o equivalente a seis reatores nucleares (Kushch; Castrillo, 2017).

3 CONCLUSÃO

De acordo com as vantagens do *blockchain* podemos concluir que ele está trazendo novas formas de resolução de problemas antigos, como: confiabilidade e segurança na transação de dados e informações. Sua característica de funcionamento permite que as informações ali inseridas tenham segurança, sejam rastreáveis e sejam comprovadas mediante indexadores dos blocos transacionados.

Dessa forma, os *smart grids* e o *blockchain*, representam tópicos de alto interesse no setor elétrico e fazem parte de um mercado em crescimento justamente por trazerem à tona uma nova forma de compra e venda de energia no mercado nacional consumidor. Contudo, o *Blockchain* é ainda uma tecnologia em maturação, e atua como habilitador de aplicações disruptivas.

No caso específico do *Marketplace* descentralizado, é necessário evoluir o arcabouço regulatório e comercial do setor elétrico, de forma a permitir a criação dos novos modelos de negócio associados. Entretanto, em um primeiro momento, há oportunidades para uso dos recursos do *blockchain* em algumas aplicações de interesse para o setor de energia elétrica, com foco, principalmente, em requisitos ainda não atendidos por tecnologias tradicionais.

Assim, pode-se destacar:

- Há espaço para as empresas de energia elétrica, assim como, para entrantes e demais atores atuarem no desenvolvimento de aplicações que extraiam valores dessas tecnologias e contribuam para a formação do futuro ecossistema do mercado de energia elétrica;
- Há cenários propícios para explorar o potencial dos *Smart Grids* e do *Blockchain* em áreas relacionadas ao setor de energia no Brasil. Para tanto, é fundamental a criação de um ambiente dinâmico que fomente a inovação, desenvolva projetos pilotos, e leve estas soluções ao mercado;
- Há *expertise* nacional nas áreas relacionadas e oportunidades para sermos protagonistas na formação do ecossistema de energia do futuro, contemplando as particularidades do nosso mercado e contribuindo para o desenvolvimento tecnológico nacional.

No que se refere a aplicação das principais tecnologias de *blockchain* na transação de energia distribuída, pode-se citar:

- O acoplamento da tecnologia *blockchain* e do sistema de energia regional deve basear-se no modelo físico do sistema energético. O modelo físico do sistema de energia distribuída é fraco no sistema de energia atual. Não devemos exagerar cegamente a aplicação da tecnologia *blockchain* na transação de energia distribuída, enquanto ignoramos a construção do modelo físico do sistema de energia distribuída;
- A tecnologia *blockchain* precisa melhorar e atualizar constantemente. A aplicação completa da tecnologia *blockchain* nos sistemas regionais de energia exige muito tempo. Atualmente, a eficiência computacional do *blockchain* não poderia satisfazer os requisitos em tempo real do sistema de produção de energia. Além disso, existem alguns defeitos na análise de tolerância a falhas da tecnologia *blockchain*;
- A tecnologia *blockchain* deve ser mesclada com *big data*, tecnologia de computação em nuvem e assim por diante. O atual sistema de informação de energia, automação e capacidade de processamento de dados não poderia atender aos requisitos em tempo real, o que requer o *blockchain*, *big data*, tecnologia de computação em nuvem, comunicação de informações e outras tecnologias avançadas para integrar e coordenar profundamente;
- Pesquisa sobre *blockchain* de energia baseada em contrato inteligente. Balanço de energia e modelo físico de produção e consumo de energia dependem de contrato inteligente, como mercado balanceado, micro rede, usina virtual, equipamentos de armazenamento de

energia, etc. A arquitetura básica e modelo de aplicação de *blockchain* de energia baseado em contrato inteligente devem ser profundamente estudados.

Portanto, para aproximarmos os planejamentos do setor elétrico com a matriz energética brasileira, hoje um dos principais desafios no setor de energia, o uso da tecnologia *blockchain*, pode contribuir significativamente na confiabilidade, segurança e eficiência na troca de dados entre cliente-cliente e/ou cliente-concessionária. Além do mais, a possibilidade de monitoramento quase em tempo real do sistema elétrico, mas para isso acontecer deve-se analisar o sistema físico atual, remodelar a comunicação de dados, regulamentar e sincronizar sempre o planejamento do setor elétrico com a matriz energética.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES/PROEX) - Código de Financiamento 001.

REFERÊNCIAS

AITZHAN, N. Z.; and SVETINOVIC, D. *Security and Privacy in Decentralized Energy Trading through Multi Signatures, Blockchain and Anonymous Messaging Streams*. *IEEE Transactions on Dependable and Secure Computing*, Oct. 2016;

CASTRO, Nivalde de; LIMA, Antônio; and PEREIRA, Guillermo (2018). **Perspectivas da tecnologia blockchain no Setor Elétrico: Aplicações na Europa, na Austrália e nos Estados Unidos**. Disponível em: <http://www.canalenergia.com.br/artigos/53058212/perspectivas-da-tecnologia-blockchainno-setor-eletrico-aplicacoes-na-europa-na-australia-e-nos-estados-unidos>. Acesso em: 25/07/2019;

GABRICH, Yuri B.; COELHO, Igor M.; and COELHO, Vitor N. (2017). **Tendências Para Sistemas Microgrids em Cidades Inteligentes: Uma Visão Sobre a Blockchain**. XLIX Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional. Blumenau-SC, 27 a 30 de Agosto de 2017. Disponível em: <http://www.sbp2017.iltc.br/pdf/169695.pdf>. Acesso em: 28/07/2019;

GAO Jianbin; ASAMOAH, K. O.; SIFAH, E. B.; SMAHI, A.; XIA, Q.; XIA, H.; ZHANG, X.; and DONG, Guisan. *Grid Monitoring: Secured Sovereign Blockchain Based Monitoring on Smart Grid*. *IEEE Trans. Blockchain and Smart Grid*, vol. 6, pp. 9917-9925, Feb. 2018, to be published. [Online] Available: <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=8303679>;

KYPRIOTAKI, K. N.; ZAMANI, E. D.; and GIAGLIS, G. M. *From bitcoin to decentralized autonomous corporations: Extending the application scope of decentralized peer-to-peer networks and blockchains*. *ICEIS 2015 - 17th International Conference on Enterprise Information Systems*, 2015. 284-290;

MENG W. X.; MA R.-F.; and CHEN H. H. *Smart Grid neighborhood area networks: a survey*. *IEEE Network*., vol. 28, no. 1, pp. 24-32, Jan. 2014;

MOCHAN, Fan; and XIAOHON, Zhang. *Consortium Blockchain Based Data Aggregation and Regulation Mechanism for Smart Grid*. *IEEE Trans. Blockchain and Smart Grid*, vol. 7, pp. 35929-35940, March 2019, to be published. [Online]Available: <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=8667824>;

ROLIM, Luiz. (2018). **Novos Horizontes da Energia na Era Digital: Redes Inteligentes, Blockchain e Big Data nas Redes de Energia Elétrica do Futuro**. Disponível em: <http://fenergia.com.br/2018/wp-content/uploads/2018/06/03-Luiz-Rolim.pdf>. Acesso em: 28/07/2019;

KUSHCH, S.; and CASTRILLO, F. P. *The review of the applications of the Block-chain technology in smart devices and distributed renewable energy grids*. *ADCAIJ: Advances in Distributed Computing and Artificial Intelligence Journal, Regular Issue*, Vol. 6 N. 3 (2017), 75-84;