

Marketplace Descentralizado Blockchain para a Geração Distribuída

Premio CIER de Innovación: Ing. José Vicente Camargo Hernández

3er puesto: Categoría Descentralización

Autores

Luiz Rolim, Frank Toshioka, Fábio K. Taniguchi, Aghatta Moreira

Empresa

COPEL

Resumo

Impulsionado pelas tecnologias digitais, movimentos de eletrificação como a mobilidade elétrica e a descentralização dos recursos energéticos, o setor elétrico vem sendo submetido a intensas transformações, que têm buscado alinhar compromissos de garantia e qualidade do suprimento com iniciativas de descarbonização da matriz energética, fundamentais para o combate às mudanças climáticas. Nesse contexto, a geração distribuída (GD) tem um

importante papel por ser baseada em fontes renováveis, atender uma parcela expressiva da demanda dos adotantes e pelo potencial de comercialização dos excedentes de produção diretamente entre prosumidores e consumidores, sendo capaz, portanto, de constituir um Marketplace descentralizado para transações de energia renovável, tema do projeto de P&D desenvolvido pela Copel Distribuição e Fundação CPqD, e patrocinado pela ANEEL – agência encarregada da regulação do setor elétrico brasileiro. Recentemente agraciado com a terceira colocação no prêmio CIER de Inovação, categoria descentralização (2021), o projeto explora a tecnologia Blockchain como instrumento habilitador de um ambiente transacional concebido como um modelo de mercado para promover a expansão da GD e oferecer alternativas de remuneração dos excedentes de produção e aquisição de energia limpa a consumidores e prosumidores. Este trabalho apresenta o modelo de operação do Marketplace concebido no projeto, enfocando os seus atores, regras de negócio, instrumentos monetários e estrutura de governança.

Introdução

A geração distribuída é predominantemente baseada em fontes renováveis como a solar fotovoltaica e a eólica, e se caracteriza pela utilização de geradores conectados diretamente às redes de distribuição de energia elétrica. Nos últimos anos, sua penetração no Brasil e no mundo tem aumentado consideravelmente devido ao crescimento da demanda por energia limpa e a programas de incentivos governamentais. No Brasil, a resolução 482/2012, regulamentou as condições gerais de acesso à GD e o sistema de compensação pela energia excedente injetada na rede elétrica. Conhecido como *net-metering*, este mecanismo permite compensar os excedentes de produção nos momentos em que a geração renovável não atende integralmente o consumo das instalações (ANEEL, 2012). Posteriormente, a resolução 687/2015 criou novas modalidades para participação, como o autoconsumo remoto e a geração compartilhada, contribuindo assim para a expansão da GD (ANEEL, 2015). Com isto, o parque instalado chegou a mais de 676 mil prosumidores, correspondentes a 7,8 GW de potência instalada, dos quais cerca de 97,5 % são sistemas fotovoltaicos (FV) (ANEEL, 2021a).

Seguindo a agenda regulatória, a ANEEL lançou a audiência pública 01/2019, que contempla a revisão das bases de compensação do *net-metering* (ANEEL, 2019). Motivada pela necessidade de reduzir possíveis distorções causadas por subsídios cruzados entre adotantes e não adotantes, esta revisão tende a reduzir a atratividade econômica da GD em alguns cenários, podendo de alguma forma afetar o padrão de crescimento observado até o momento. Adicionalmente, iniciativas para a abertura do ambiente de contratação livre e inserção da tarifa binômica em baixa tensão podem também causar impactos no mercado da GD, o que fomentará futuros debates sobre aprimoramentos nas regras de compensação e comercialização de

energia. Com isto, configurou-se um cenário propício para arranjos comerciais inovadores que proporcionem aos prosumidores mecanismos complementares para remuneração dos excedentes de produção injetados na rede elétrica e, aos consumidores, a oportunidade de adquirir energia comprovadamente renovável para atendimento das suas demandas.

Neste sentido, a Copel Distribuição e a Fundação CPqD, sob patrocínio da ANEEL – agência reguladora nacional, desenvolveram o Projeto P&D Marketplace Descentralizado para Transações de Energia baseado em Blockchain. Iniciado em agosto/2019 e finalizado em novembro/2021, o projeto concebeu um modelo de comercialização da energia da GD diretamente entre consumidores e prosumidores, de forma alinhada com as especificidades do setor elétrico brasileiro. No âmbito deste *Marketplace*, o ativo comercializado corresponde à energia elétrica em si, representada pelo componente de energia presente nas tarifas aplicadas aos consumidores. Quanto à escolha do *Blockchain*, foi devida ao fato desta tecnologia prover, de forma nativa, mecanismos para a criação de ambientes descentralizados em que as transações de energia podem ser estabelecidas pelos participantes de forma rápida, segura, confiável, e, se desejável, sem intermediários.

O projeto compreendeu a concepção, o desenvolvimento, os testes e a avaliação de um Modelo de Mercado Transacional entre consumidores e prosumidores. Desta forma, a energia elétrica renovável poderá ser comercializada diretamente entre os participantes do mercado das distribuidoras de energia em baixa tensão, promovendo o uso das fontes limpas e estimulando sua expansão. Em linhas gerais, o *Marketplace* buscou atender os seguintes objetivos:

- fomentar a expansão sustentável da GD, incentivando a instalação de sistemas de maior porte; e

- oferecer aos prosumidores alternativas para remuneração dos seus ativos, e aos consumidores a oportunidade de adquirir energia renovável em um ambiente competitivo;

Cabe destacar também que o projeto buscou avaliar aspectos relacionados à sustentabilidade econômica do *Marketplace*, considerando as empresas tradicionais de energia, consumidores, prestadores de serviços e entrantes. Desta forma, os trabalhos envolveram o ecossistema como um todo, compreendendo a construção de uma estrutura de governança e mecanismos de remuneração que assegurassem a sustentabilidade econômica dos investimentos, além de um modelo de operação adequado para o uso da tecnologia *Blockchain* no setor de energia elétrica.

Visão Geral sobre a Tecnologia Blockchain

A tecnologia *Blockchain* está associada ao surgimento das criptomoedas digitais, como o Bitcoin e o Ethereum, e à sua utilização como elemento de suporte às transações monetárias efetuadas pelos detentores desses ativos. Em termos práticos, o *Blockchain* pode ser tratado como um livro de registros (*ledger* em inglês) distribuído replicado nos computadores de nós validadores que participam de uma rede *Peer-to-Peer* (P2P) (Deloitte, 2017). A consistência e a integridade dos dados armazenados são mantidas pelas regras definidas na rede *Blockchain*. Quanto ao acesso, pode ser público, como nas criptomoedas, ou privado, como tende a ocorrer nas aplicações corporativas, categoria em que se enquadra o *Marketplace* (Andoni et al, 2019).

De modo geral, o *ledger* armazena transações de qualquer natureza, tais como transferências de ativos

monetários, registros de medições, eventos, etc., podendo conter componentes programáveis denominados de *smart contracts*. Ativados em condições específicas e pré-determinadas, *smart contracts* permitem automatizar relações contratuais, diminuindo custos transacionais associados ao acordo estabelecido entre as partes (Schechtman et al, 2019). Desta forma, eles flexibilizam a construção do ambiente e das regras de negócio que regem os mercados.

Agrupadas em blocos, estas transações são submetidas à validação dos nós da rede *Blockchain*. Uma vez validados, os blocos são encadeados por meio de técnicas criptográficas, vindo daí a origem do termo *Blockchain*. Para tanto, são utilizadas regras de consenso previamente acordadas, que possibilitam a implementação de um ambiente distribuído, resiliente, seguro e auditável, capaz de garantir a imutabilidade das informações armazenadas e suportar o estabelecimento de relações de confiança entre participantes desconhecidos, como tende a ser o caso típico entre os prosumidores e consumidores envolvidos nas transações de energia elétrica. Neste sentido, cabe notar que a possibilidade de poder operar de forma permissionada, i.e. com a validação das transações efetuadas por entidades devidamente habilitadas, tem posicionado o *Blockchain* como uma tecnologia transformadora em vários setores da economia.

Blockchain no Setor Elétrico

No âmbito do setor elétrico, a crescente disseminação dos Recursos Energéticos Distribuídos (REDs), como o armazenamento de energia, a própria GD, a gestão pelo lado da demanda e os veículos elétricos, tem motivado estudos sobre aplicações baseadas em *Blockchain* e a realização de pilotos (Li et al, 2018), o que tem estimulado o surgimento de startups em diversos países.

Em comum, muitas dessas iniciativas estão voltadas à modernização do sistema elétrico, buscando promover o aumento da eficiência energética e a promoção da energia renovável por meio de novas formas de relacionamento entre os atores do mercado e modelos comerciais (SolarPlaza, 2019). Dentre as experiências analisadas, as seguintes se destacaram no desenho do Marketplace objeto do projeto:

- **Brooklyn-NY Microgrid (BMG):** um dos casos pioneiros em transações P2P baseadas em *Blockchain*, compreende um ambiente simulado cujo objetivo é mostrar aos reguladores a importância atribuída à energia limpa gerada localmente e ao valor da comercialização direta entre pares. Devido ao pioneirismo, tem sido uma referência para iniciativas similares e estudos, como o realizado por (Mengelkamp et al, 2017) que identificou os critérios fundamentais a serem observados na construção de *Marketplaces* de energia;
- **LO3 Energy:** provedora da infraestrutura da experiência da microrrede do Brooklyn-NY, tendo cunhado o termo *Transactive Energy* para designar um ambiente em que se realizam transações seguras de compra e venda de energia com preços definidos pelo mercado, expansível, escalável e apto a suportar serviços de valor agregado para o sistema elétrico. Na visão da LO3 Energy, devem ser consideradas as ineficiências associadas ao suprimento de energia, decorrente das etapas de conversão e transporte, bem como o acoplamento temporal da produção e consumo de energia, consolidados no conceito de *Exergy*, que designa a energia que entregue a um dado ponto de consumo com o mínimo de ineficiências (LO3 Energy, 2019).

Adicionalmente, entidades como a Dena (Agência de Energia Alemã) e o EPRI (Electric Power Research

Institute) têm estudado a aplicação da tecnologia no setor elétrico, enfocando os potenciais benefícios, desafios e barreiras à adoção (Dena, 2019) (EPRI, 2019). As análises dessas entidades apontaram um consenso em relação à utilização de Blockchain na transformação do setor elétrico e à criação de novas formas de relacionamento entre os atores do mercado. A tecnologia mostrou-se fortemente associada a questões ambientais, com destaque para a expansão da oferta da energia renovável e promoção de instrumentos para comercialização da energia excedente da GD, aspectos fortemente alinhados aos objetivos do projeto de P&D Marketplace Copel, dentre os quais se destacam:

- Governança, mecanismos de consenso, incentivos e sustentabilidade econômica;
- Arcabouço regulatório vigente e os aprimoramentos necessários;
- Desempenho, escalabilidade e segurança das implantações;
- Aspectos temporais e locais da produção e consumo de energia;
- Integração com os sistemas operativos e as Redes Elétricas Inteligentes.

Concepção do Marketplace Blockchain de Energia

Em se tratando de um ativo essencial para sociedade, o modelo de operação de um *Marketplace* de energia deve manter um forte alinhamento com o arcabouço regulatório vigente e considerar os debates previstos na agenda regulatória. Desta forma, a concepção do

Marketplace deve avaliar os desdobramentos regulatórios necessários para a inserção do novo modelo de comercialização no mercado de energia elétrica. Atualmente, a regulação brasileira não contempla instrumentos que possibilitem a um prosumidor comercializar parte da energia injetada na rede elétrica com outros consumidores, o que poderia se tornar uma fonte de remuneração adicional e estimular o avanço da GD. Assim, para a operação do *Marketplace* serão necessários aprimoramentos para particionar os kWhs injetados na rede elétrica entre o *net-metering* e o *Marketplace*, conforme ilustrado na **Figura 1**. Para tanto, estabelece-se como premissa que esses instrumentos habilitarão os prosumidores a comercializar parte da energia injetada na rede elétrica e estimulará a expansão da capacidade instalada da GD, criando assim as bases para um novo mercado de energia renovável.

Cabe notar que sob uma perspectiva econômica, o atendimento ao suprimento de energia às UCs tende a continuar sendo a principal motivação para adoção da GD, uma vez que a compensação do *net-metering* contempla todos os componentes da tarifa de energia elétrica. Entretanto, alguns desses pontos podem ser modificados como parte do processo de revisão atual-

mente em discussão pela ANEEL. Por outro lado, o ativo comercializado no *Marketplace* compreende unicamente o componente energia da tarifa de distribuição. O prosumidor comercializa, portanto, os kWhs injetados na rede elétrica não necessários para atender o seu consumo próprio, o que se traduz em oportunidades adicionais de remuneração dos investimentos. É importante também considerar a eventual abertura do mercado livre para consumidores em baixa tensão. Assim, a concepção do *Marketplace* deve considerar esta tendência, mantendo-se alinhada com a evolução dos arranjos comerciais.

Retomando o conceito de Exergy apresentado anteriormente, observa-se um alinhamento em relação à fonte de energia, que na GD é de natureza renovável. Por outro lado, o mecanismo de compensação do *net-metering* requer funções equivalentes às de um armazenamento gratuito, que fica a cargo das distribuidoras e causa um deslocamento temporal dos momentos de geração e consumo. Desta forma, para atender plenamente os requisitos temporais e locais, a concepção do *Marketplace* requer que as transações de energia ocorram em tempo quase real e entre pontos de geração e consumo fisicamente próximos. Em termos práticos, a energia renovável

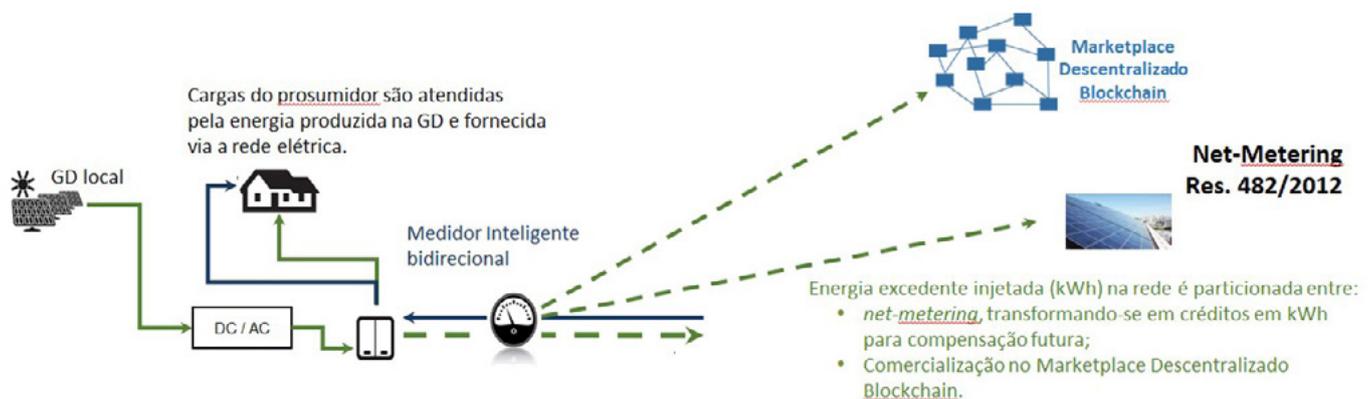


Figura 1. Particionamento da energia injetada na rede elétrica.

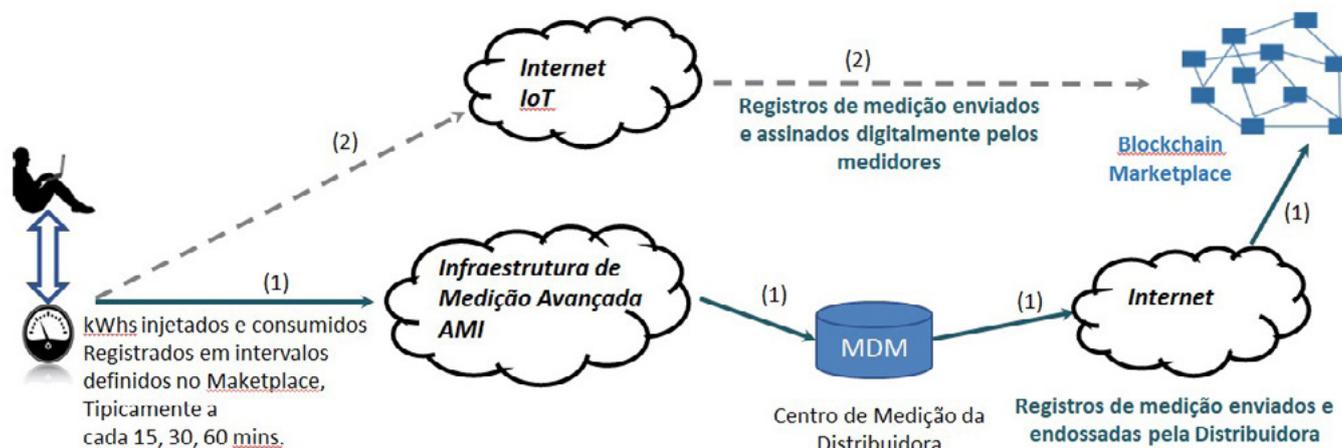


Figura 2. Infraestruturas de comunicação para o Marketplace.

vel será consumida no momento de geração e serão também contemplados os custos envolvidos no transporte da energia, possibilitando assim remunerar de forma proporcional a utilização dos sistemas de distribuição.

Por operar em um ambiente distribuído, o *Marketplace* depende de uma infraestrutura de comunicação pervasiva, cuja cobertura abranja os participantes e equipamentos da rede elétrica. Formada por redes de comunicação digitais, esta infraestrutura provê os meios para o registro das medições de energia, acesso aos registros armazenados no *ledger*, definição dos parâmetros para estabelecimento das transações, etc. Neste contexto, a Internet tradicional, a Internet das Coisas (IoT) e as Redes Elétricas Inteligentes terão certamente um papel determinante (ver **Figura 2**).

No caso das Redes Elétricas Inteligentes, a infraestrutura de medição avançada (AMI na sigla em inglês) integra os medidores das UCs com os centros de medição das distribuidoras, e alimenta os bancos de dados dos centros de medição (MDM – Master Data Management) com os registros da energia consumida e injetada na rede elétrica. A AMI se posiciona

como um meio efetivo para transportar os dados de medição, coletados em intervalos de tempo definidos na operação do *Marketplace* e armazenados no *ledger* mantido pelas distribuidoras, que atuariam como entidades endossantes dessas informações.

Neste contexto, consumidores e prosumidores devem possuir uma assinatura digital que os identificam univocamente no *Marketplace*, vinculada ao medidor inteligente instalado na UC. Esta assinatura é usada para identificar a origem dos registros de medição de energia e certificar as interações com o *Marketplace*.

Modelo de Operação

O modelo de operação é apresentado na **Figura 3**, que destaca a infraestrutura *Blockchain* de suporte às transações com suas regras de negócio implementadas em *smart contracts* e a estrutura da Governança, cujas funções incluem o monitoramento do mercado, a elaboração das regras de negócio, a avaliação dos indicadores de desempenho, a estruturação das funções e demais aspectos operacionais.

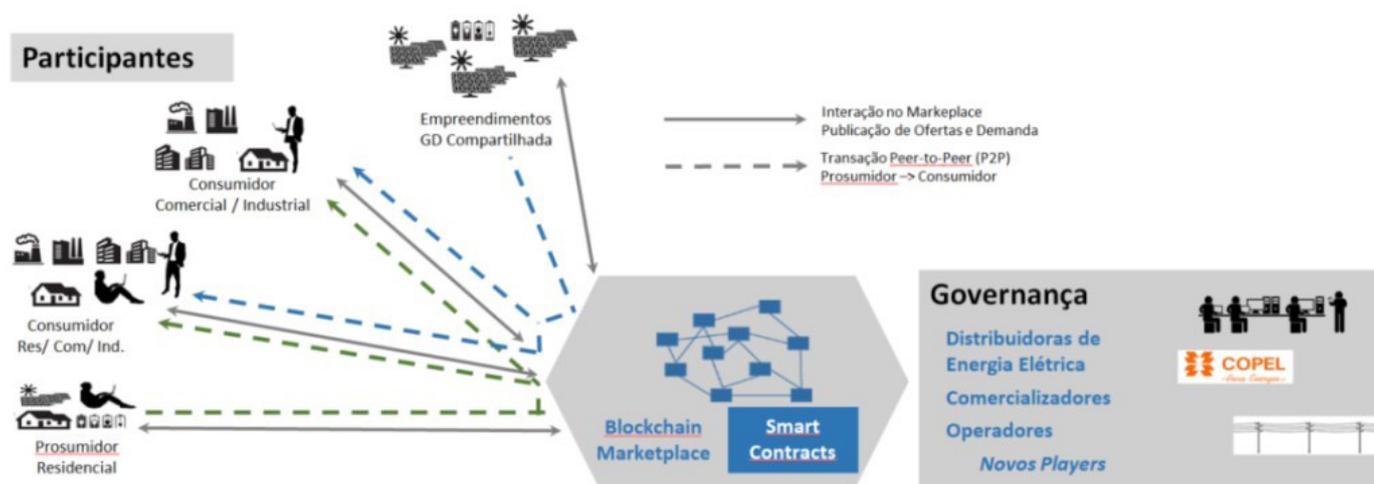


Figura 3. Modelo de operação do Marketplace.

Consumidores e prosumidores têm um papel fundamental no *Marketplace* por representarem as unidades consumidoras (UCs) em que estão instalados os medidores que emitem os registros de consumo e injeção de energia. Para tanto, devem se cadastrar utilizando portais na Internet ou aplicativos dedicados. O cadastro fornece duas chaves criptográficas, sendo uma pública e outra privada, utilizadas respectivamente como identidade digital e assinatura certificadora das transações armazenadas no *Blockchain*. Desta forma, a identidade digital permite anonimizar as informações armazenadas, assegurando a privacidade dos participantes.

A comercialização ocorrerá com base na parcela dos excedentes injetados na rede elétrica que não precisam ser convertidos em créditos de energia para abatimento do consumo da instalação. Para tanto, os prosumidores podem estimar os montantes a serem disponibilizados no *Marketplace* com base no histórico de créditos acumulados no *net-metering* e na produção estimada do sistema da GD, e eventualmente contar com o suporte de algoritmos inteligentes.

As principais regras compreendem um instrumento monetário digital denominado *E-token* e um leilão da energia renovável disponibilizada para comercialização. O *E-token* compreende, portanto, a moeda digital do *Marketplace*. Assim, os consumidores devem adquiri-los para realizar suas transações por meio da conversão de moeda fiduciária em *Exchanges* autorizadas. Assim, as conversões são registradas em transações no *Blockchain* e refletidas na carteira digital dos consumidores, habilitando-os a participar dos leilões. Desta forma, *E-tokens* permitem automatizar todo o processamento das transações via *smart contracts*, e liquidar as operações de compra e venda de forma transparente, segura e auditável. Por sua vez, prosumidores receberão *E-tokens* pela energia renovável fornecida, os quais também são utilizados para remunerar os membros da Governança e o uso dos sistemas de distribuição.

O ciclo de vida dos *E-tokens* tem início quando eles são ofertados pelas *Exchanges* e se encerra no momento em que os prosumidores os convertem em moeda fiduciária. Neste momento, os tokens são destruídos e removidos da carteira dos prosumidores. Os

E-tokens podem assumir os seguintes estados ao longo do ciclo de vida:

- **Em oferta:** A *Exchange* coloca tokens à venda para serem adquiridos pelos consumidores;
- **Disponíveis:** Os consumidores adquirem tokens com moeda fiduciária, e ficam associados às respectivas carteiras digitais;
- **Reservados:** Os consumidores adquirem energia no *Marketplace*. Com isto, os *E-tokens* necessários são reservados para a liquidação das transações;
- **Disponíveis:** Após a liquidação, os *E-tokens* são transferidos para os prosumidores, ficando associados às respectivas carteiras digitais;
- **Destruídos:** Com a conversão dos *E-tokens* em moeda fiduciária, estes são destruídos e deixam de fazer parte do *Marketplace*.

Cabe notar que mesmo após a destruição dos tokens, todo o histórico de transações continua registrado no *Blockchain*, o que permite realizar auditorias e desenvolver novas funcionalidades, como a emissão de certificados de produção e consumo de energia renovável.

Leilão de Energia Renovável

As transações são estabelecidas por meio de um *smart contract* ativado periodicamente e que executa um leilão da energia disponibilizada ao *Marketplace* pelos prosumidores. A execução do leilão se dará no modo $D + n$, onde D é o dia em que ocorreu a geração e n indica um número configurável de dias a serem decorridos para a realização do leilão. Des-

ta forma, n se comporta como uma latência para garantir que as medições de energia elétrica sejam consolidadas no *Blockchain*. Tipicamente, n assumirá o valor 1 e os resultados das transações poderão ser divulgadas aos participantes no dia seguinte ao das transações de energia.

Para atender os aspectos temporais e operar em tempo quase real, os leilões são realizados em intervalos de 15, 30 ou 60 minutos, compreendendo um total de 96, 48 ou 24 rodadas independentes por dia. Cabe notar que cada rodada considera apenas a energia consumida e disponibilizada para o *Marketplace* nos respectivos intervalos.

Para participar do leilão, consumidores publicam seus lances em *E-tokens* / kWh, indicando o máximo que estão dispostos a pagar pela energia elétrica a ser consumida em um intervalo. De forma similar, prosumidores publicam suas ofertas, também em tokens / kWh, indicando o mínimo que esperam receber pela energia fornecida. O formato do leilão foi adaptado do modelo apresentado por (Megelkamp et al, 2017) em artigo sobre a experiência com *Blockchain* na microrede do Brooklyn-NY, e compreende os seguintes passos:

1. Os lances são ordenados de forma decrescente, assegurando a preferência aos consumidores dispostos a pagar valores mais altos pela energia renovável;
2. As ofertas são ordenadas de forma crescente, assegurando a preferência àqueles que estejam dispostos a vender energia por valores mais baixos;
3. O preço de liquidação (*clearing price*) é calculado como a média entre o maior lance e menor oferta. Toda a energia elétrica transacionada é comercializada a este preço;

4. Estabelece-se uma linha de corte baseada no *clearing price* para selecionar os participantes elegíveis para transacionar energia: consumidores com lances maiores ou iguais ao clearing price e prosumidores com ofertas menores ou iguais ao mesmo *clearing price*;
5. Por fim, a energia renovável é alocada aos consumidores com base nas listas ordenadas nos passos 1 e 2, sendo emitidas transações para transferência dos *E-tokens* da carteira dos consumidores para os prosumidores, sinalizando a quitação da energia transacionada.

Esses passos são executados de forma independente em cada um dos intervalos do dia D. É possível que alguns consumidores elegíveis não sejam contemplados no leilão caso a energia dos prosumidores já tenha sido inteiramente alocada aos consumidores que publicaram lances mais altos. Por outro lado, alguns prosumidores classificados como elegíveis podem também ficar de fora do leilão por terem publicado uma oferta mais elevada que os demais. Para tratar casos como esses, o *Marketplace* deverá publicar estatísticas com informações sobre os resultados dos leilões, de forma a orientar os participantes na atualização dos preços dos seus lances e ofertas.

Estrutura de Governança

Para assegurar a operação do mercado em conformidade com seus objetivos, o *Marketplace* requer uma estrutura de Governança, cujas principais atribuições compreendem a operacionalização das regras de negócio, o monitoramento do desempenho do mercado, e a sinalização dos referenciais para a

conversão de Reais em tokens e do preço da energia, em *E-tokens/kWh*, no *Marketplace*. Importante notar que esses referenciais deverão orientar a publicação dos lances e ofertas dos participantes e manter a competitividade econômica da energia comercializada no *Marketplace* em relação à energia provida pelas distribuidoras, cujo custo está embutido na tarifa de energia aplicada aos consumidores.

Num contexto descentralizado, o termo Governança pressupõe que estas atribuições não sejam realizadas por uma única entidade, mas sim de forma descentralizada e colaborativa pelos membros de uma rede *Blockchain* permissionada, como a mostrada na **Figura 4**, composta por partes interessadas como distribuidoras de energia, comercializadores, *Exchanges*, observatórios independentes e novos atores.

Nesta rede, cada um dos membros deverá manter uma cópia consensuada do *ledger* do *Marketplace*, participando da validação das transações armazenadas no *Blockchain* e da execução dos leilões conforme as regras de consenso definidas para a operação do mercado. Para tornar o modelo economicamente sustentável, é fundamental que estes membros sejam adequadamente remunerados pela manutenção da rede e efetivação das transações, o que deverá ocorrer por meio de uma parcela dos *E-tokens* utilizados nas transações e por outros mecanismos a serem avaliados no decorrer do projeto.

No caso das distribuidoras de energia, observa-se que elas têm um papel de destaque na governança devido ao relacionamento já estabelecido com os participantes, por proverem a infraestrutura de medição avançada que fornecerá as medições de consumo e injeção de energia na rede elétrica, e por serem a única entidade habilitada a endossar os dados de medição que são a base para a operação do *Marke-*

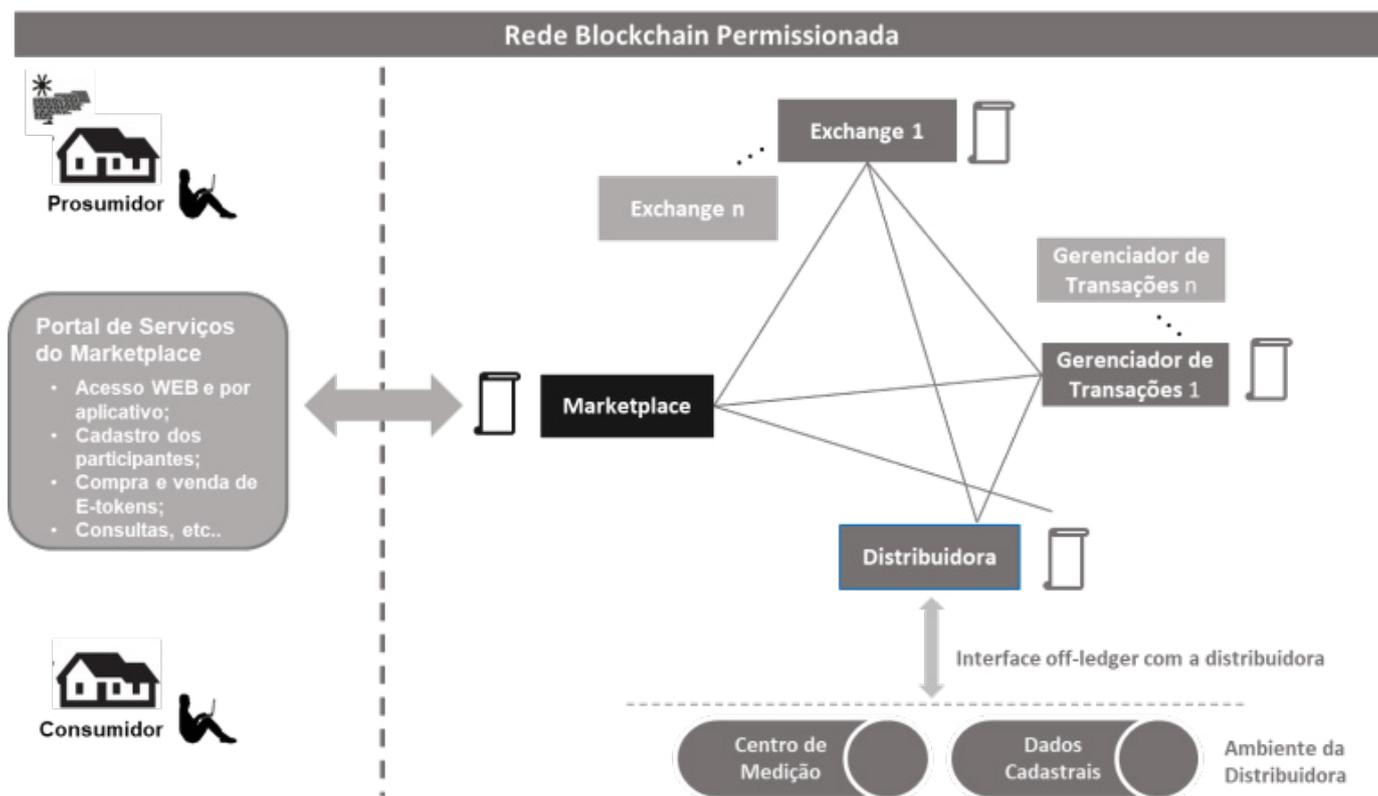


Figura 4. Estrutura da Governança do Marketplace (Rolim et al, 2020).

tplace. Desta forma, além da remuneração advinda da validação das transações e execução dos leilões, o modelo proporciona oportunidades de remuneração pelo uso dos sistemas de medição e dos recursos da operação da rede elétrica necessários para suportar as transações de energia.

Conclusões

O crescimento da geração distribuída nos últimos anos e a sua reconhecida contribuição no combate às mudanças climáticas evidenciaram a importância de se buscar novos mercados para os excedentes da produção de energia renovável proveniente desta modalidade de geração, o que está em linha com os propósitos estabelecidos para o *Marketplace* apre-

sentado neste trabalho, cuja ênfase está na sustentabilidade ambiental, diversificação dos mercados e descentralização dos recursos energéticos. Neste sentido, o modelo de *Marketplace* concebido e validado por meio de simulações de um mercado representativo da Copel demonstra que a tecnologia *Blockchain* apresenta os atributos necessários para tratar as particularidades de um mercado intrinsecamente descentralizado, como é o caso dos consumidores e prosumidores servidos em baixa tensão. Como apontado ao longo do trabalho, este mercado requer instrumentos transacionais transparentes, rápidos e flexíveis, capazes de estimular a adesão dos potenciais participantes, o que pode ser provido por uma infraestrutura baseada em *Blockchain* e por elementos programáveis, como os smart contracts.

Os estudos desenvolvidos indicaram também que

o potencial de aplicação do *Blockchain* no setor de energia tem estimulado startups, empresas, institutos de pesquisas e agências reguladoras a avaliar os possíveis cenários de aplicação, desenvolver plataformas e realizar pilotos em diversas escalas. Este potencial foi incorporado na concepção do *Marketplace*, que considerou aspectos associados ao modelo correntemente adotado pela GD e identificou os aprimoramentos regulatórios e comerciais necessários para sua inserção no mercado de energia, tais como o particionamento da energia elétrica entre o *net-metering* e o *Marketplace*, a utilização de *E-tokens* como instrumento monetário para a quitação das transações, a alocação da energia entre os prosumidores e consumidores participantes, e a estrutura de governança, fundamental para a operação segura e sustentável do novo mercado.

Por fim, cabe enfatizar o papel a ser desempenhado pelas distribuidoras de energia por conta do relacionamento já existente com os participantes e pela infraestrutura dos sistemas de medição de energia, aspectos relevantes que podem originar fontes adicionais de remuneração para essas empresas. Importante destacar também os novos atores e as oportunidades de negócio que deverão surgir nesta nova modalidade de comercialização, e a relevância dos mecanismos de remuneração do novo mercado, essenciais para garantir a sustentabilidade econômica do modelo e o atingimento dos resultados esperados.

Referências Bibliográficas

- [1] ANEEL. Res. 482/2012 – Condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição. Disponível em <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>, 2012;
- [2] ANEEL. Res. 687/2015 – Alterações da Res.482/2012. Disponível em <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2015687.pdf>.
- [3] ANEEL. Banco de Dados das Unidades Consumidoras com Geração Distribuída. Resumo por Modalidade. Acesso em janeiro/2020, disponível em http://www2.aneel.gov.br/scg/gd/GD_Fonte.asp.
- [4] ANEEL. Revisão das Regras de Geração Distribuída. Audiência Pública 01/2019. Acesso em janeiro/2020, disponível em <https://www.aneel.gov.br/>.
- [5] Andoni, M., Robu, V., Flynn, D., Abram, S., Geach, D., Jenkins, D., McCallum, P., Peacock, A. Blockchain technology in the energy sector: A systematic review of challenges and opportunities, 2019. Elsevier, Renewable and Sustainable Energy Reviews 100 (2019) 143–174.
- [6] Coincentral, What is Power Ledger (POWR) – The Complete Guide, 2018. Acesso em outubro/2019, disponível em: <https://coincentral.com/power-ledger-beginnerguid/>.

[7] **Deloitte**. Blockchain – A Technical Primer. 2017, disponível em www2.deloitte.com/content/dam/insights/us/articles/4436_Blockchainprimer/DI_Blockchain_Primer.pdf

[8] **DENA/ESMT Berlin** - Blockchain in the energy transition. Acesso em setembro/2019, disponível em https://www.esmt.org/system/files/force/dena_esmt_studie_Blockchain_english.pdf?download=1.

[9] **EPRI**. Blockchain – U.S. and European Utility Insights Market Intelligence Briefing Report, junho 2019.

[10] **Li, Z., Kang, J., Yu, R. Ye, D., Deng, Q. Zhang, Y.** Consortium Blockchain for Secure Energy Trading in Industrial Internet of Things, 2018. IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRIAL INFORMATICS, VOL. 14, NO. 8, AUGUST 2018.

[11] **LO3 Energy**. Exergy Business Whitepaper – Policy Paper. Acesso em setembro/2019, disponível em <https://Exergy.energy/wpcontent/uploads/2019/03/TransactiveEnergy-PolicyPaper-v2-2.pdf>.

[12] **Mengelkamp E., Gärttner J., Kessler S., Mengelkamp E., Orsini L., Rock K., Weinhardt C.** Designing microgrid energy markets. A Case Study: The Brooklyn Microgrid. Applied Energy, 2017.

[13] **Schechtman, D.** Introdução à Implementação de Smart Contracts. Acesso em 17 dez. 2019, disponível em: https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=3412187#.

[14] **Rolim, L., Toshioka, F., Kussler, P., Vinícius, M.**, Marketplace Descentralizado para a Geração Distribuída – estrutura, governança e contribuições para o debate regulatório. Disponível em <https://sbpe.org.br/index.php/rbe/article/view/566>.

[15] **SolarPlaza**. Overview of Blockchain Activity in European Energy Sector, 2019. Disponível em <https://europe.Blockchain2energy.com/Blockchaincontent/2019/1/8/Blockchain-amp-energy-in-europe>.