

Um Novo Mecanismo de Negociação de Certificados Brasileiros de Energia Renovável e Crédito de Carbono via Blockchains

Leonardo Lima Gomes, IAG PUC-Rio, 21 21389201, E-mail: leonardolima@iag.puc-rio.br
Paulo Vitor J. G. Silva, IAG PUC-Rio, 21 21389301, E-mail: rjdagama@hotmail.com
Luis Felipe Carvalho, IAG PUC-Rio, 21 21389201, E-mail: luis.carvalho@prof.iag.puc-rio.br

*Os autores agradecem à Queiroz Galvão Energia e à ANEEL pelo suporte a essa pesquisa via programa de P&D ANEEL.

Resumo

A blockchain é um sistema de dados distribuído que registra e realiza transações tal como um grande livro razão de contabilidade que realiza validações por meio de criptografia, assinaturas digitais e consenso da rede. O registro gerado pela blockchain é distribuído e validado automaticamente por meio das partes (os usuários), em que o software é rodado. Considerando essa tecnologia, o objetivo deste estudo foi desenvolver e analisar um novo modelo de negócio utilizando a tecnologia das blockchains como veículo de acesso de empresas de energias renováveis brasileiras aos mercados voluntários de crédito de carbono e energias renováveis. O ponto de partida foi evidenciar como é o funcionamento desses mercados voluntários, como operam, como são as regras internacionais e seus veículos de distribuição. O conceito deste novo modelo de negócio é que por meio da tecnologia blockchain, a empresa brasileira geradora de energia renovável possa vender créditos de carbono ou de energias renováveis em outros países e mercados - de uma maneira ágil, desburocratizada, também contribuindo dentro de um contrato inteligente com parte dos lucros para o desenvolvimento social, prevendo-se, ainda, provisões para tributação. Como resultado do trabalho, foi desenvolvido o desenho de um modelo de negócio disruptivo tendo como principal conclusão a evidenciação de que o modelo de negócio tem de fato potencial para prosperar.

Palavras-chave: Blockchain; Mercado Voluntário; Mercado de Carbono; Energias Renováveis; Setor Elétrico Brasileiro.

1. Introdução

A partir da década de 80, questões relativas às mudanças climáticas, ao aquecimento global e ao efeito-estufa passaram a ser destacadas como ameaças. A maior conscientização dos países em relação ao aumento da concentração dos gases de efeito estufa na atmosfera desencadeou algumas políticas de redução de emissões, dentre as quais a criação de mercados de créditos de carbono. De acordo com o Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (2001, 2008), diversos tratados foram criados com o intuito de reduzir os efeitos da ação do homem no clima do planeta.

A Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas (CQNUMC, e do inglês UNFCCC), por exemplo, é um tratado ambiental internacional que visa estabilizar as concentrações de gases de efeito estufa na atmosfera resultantes das ações humanas, a fim de impedir que interfiram de forma prejudicial e permanente no sistema climático do planeta. Desde a entrada em vigor da CQNUMC, anualmente ocorre a Conferência das Partes (COP). Ali é avaliado o progresso dos membros em lidar com as mudanças climáticas e se estabelecem as obrigações para reduzir as emissões de gases de efeito estufa.

Em 1997, a COP-3, realizada em Kyoto, aprovou a principal e mais conhecida atualização da Convenção, o Protocolo de Kyoto. Como observa Rocha (2003), este foi um esforço entre as nações para melhoria das condições ambientais globais. Este tratado complementar à Convenção, ratificado por 192 países, definiu metas mais rígidas e propôs um calendário pelo qual os países membros (principalmente os desenvolvidos) teriam a obrigação de reduzir a emissão de gases do efeito estufa em, pelo menos, 5,2% em relação aos níveis de 1990 no período entre 2008 e 2012. O Protocolo teve sua duração estendida para 2020 na COP-18, realizada em Doha, Qatar, em 2012. Segundo os termos do Protocolo de Kyoto, ficou estabelecido que tanto os países industrializados, quanto os países em transição para uma economia de mercado, deveriam reduzir as suas respectivas emissões de GEE em 5,2% em relação aos níveis registrados em 1990. Também ficou estabelecido que tais reduções deveriam ser comprovadas no período de 2008 a 2012. Foi criado assim um mercado de certificados de redução e de certificados de carbono.

Adicionalmente à criação dos créditos e mercados de carbono, ainda em 1997 foi idealizada uma padronização contábil de carbono fruto de uma parceria entre o *World Resources Institute (WRI)* e o *World*

Business Council for Sustainable Development (WBCSD) conhecida como Protocolo GHG, o qual tinha como finalidade criar padrões que permitiam a empresas e governos evidenciarem seus balanços de emissões de carbono. O GHG atualmente é bastante difundido no mundo e conta com a participação de diversas empresas no Brasil, fortalecendo iniciativas quanto à criação de instrumentos de mercado para a redução de emissões de carbono.

Uma dessas iniciativas que ganhou vulto em nível mundial foi o estabelecimento dos Certificados de Energia Renovável – CERs. O CER (ou *REC – Renewable Energy Certificates*) consiste em uma identificação de procedência de que certo lote de energia foi gerado a partir de fonte renovável, podendo ser negociado sendo ainda passível de contabilização pelo protocolo GHG. A negociação de CERs conta com o apoio da agência ambiental americana (*EPA*) tendo também um sistema de contabilização internacional padronizado chamado de *International REC Standard*.

A partir desse contexto, os instrumentos de mercado ligados à redução de emissões de carbono ganharam corpo, quer sejam os créditos de carbono ou os CERs. Contudo, esses instrumentos para serem emitidos devem passar por processos de certificação que podem ser burocráticos, prejudicando a evolução para mercados de certificados com maior dinamismo e liquidez. Adicionalmente, os mercados são normalmente locais e de balcão, sendo portanto bastante convencionais.

Por sua vez, em 2009, surgia com o lançamento do Bitcoin a tecnologia das *Blockchains* com uma perspectiva disruptiva quanto a forma de se armazenar dados e transacionar ativos. Como observa Luther (2016), Extance (2015), Schwingel (2015) e Maftai (2014), a *Blockchain* é um sistema de dados distribuído, que registra e realiza transações tal como um grande livro razão de contabilidade que realiza validações por meio de criptografia, assinaturas digitais e consenso da rede. Diferente de outros sistemas, o registro gerado pela *Blockchain* é distribuído e validado automaticamente por meio das partes (os usuários), em que o software é rodado. A verificação das transações é feita por meio de chaves de criptografia, e a *Blockchain* é vista como um banco de dados que é formado a partir de uma série de blocos que juntos formam uma cadeia.

A partir da evolução da tecnologia embutida nas *Blockchains* foi observada a oportunidade de uso dessa nova fronteira para a negociação de CERs e certificados de carbono que poderá dinamizar esses mercados. Esse trabalho descreve assim esta nova oportunidade, mostrando um potencial novo mecanismo de negociação de certificados evidenciado a partir da descrição de um modelo de negócio disruptivo. A metodologia utilizada no trabalho foi de caráter exploratório. A partir de um modelo de negócios conceitual foram testadas algumas hipóteses quanto à demanda, oferta, tipo de *Blockchain*, e governança de distribuição de renda entre partes relacionadas.

O trabalho está estruturado da seguinte forma: a seção 2 apresenta uma revisão da literatura sobre as *Blockchains*, (seu funcionamento, dinâmica de utilização e utilidade no setor elétrico). A seção 3 apresenta características do mercado de Certificado de Energias Renováveis (CER) e de Crédito de Carbono (CC); a seção 4 descreve a metodologia utilizada para a pesquisa; a seção 5 apresenta a conclusão do trabalho e perspectivas para estudos futuros.

2. Blockchains

2.1. Conceito

A *Blockchain* é um sistema de dados distribuído, que registra e realiza transações por meio de criptografia, assinaturas digitais e consenso da rede. A verificação das transações é feita por meio de chaves de criptografia, e a *Blockchain* é vista como um banco de dados que é formado a partir de uma série de blocos que juntos formam uma cadeia.

Embora a *Blockchain* tenha nascido a partir do conceito de uma criptomoeda específica (*Bitcoin*), ela pode ser utilizada para uma diversidade de aplicações que vão desde transações imobiliárias até registros governamentais. Sua grande vantagem advém do fato de manter cópias dos registros de transações distribuídas em diversos pontos do mundo, garantindo a segurança e permitindo assim que ativos representados em formatos de criptomoedas (ou *tokens*) possam ser transferidos e registrados sem uma verificação externa.

Está surgindo com as *Blockchains* uma grande quantidade de provas de conceito, que são representativas do tipo de inovação que está por vir nos próximos anos. Também é possível observar a questão fundamental que está sendo solucionada com a tecnologia de *Blockchain*. Podemos defini-la como um novo protocolo de troca

de valor que cria uma espécie de nova camada na internet, simplificando e globalizando a capacidade de realizar transações entre pares distantes.

Grande parte das transformações trazidas pela internet não vieram somente do aumento da capacidade de conexão, mas sim da mudança na estrutura de custos de transmissão de informação. Antes da internet, o custo marginal para transmissão da informação entre dois pontos distantes era muito alto e, com isso, diversas aplicações digitais, por mais que pudessem ser imaginadas, eram simplesmente inviáveis. O que vemos hoje em dia é que este custo marginal de distribuição da informação foi reduzido a um valor muito próximo a zero. Com isso, estas aplicações que antes eram inviáveis financeiramente, passaram a fazer sentido e naturalmente ganharam vida. Hoje, fazem parte do nosso cotidiano e mudaram a forma como ouvimos música, lemos as notícias, chamamos um táxi, buscamos hospedagens em viagens, estudamos para um exame, enfim, qualquer aplicação que tenha a informação como elemento base.

De forma análoga, se os protocolos de comunicação da internet alteraram profundamente os custos de distribuição da informação, os protocolos baseados na tecnologia de Blockchain estão alterando a estrutura de custos de transações. Isso inclui transações entre partes remotas, desconhecidas, transações assíncronas, transmissão de valor, registro de transações e de informações de maneira que sejam imutáveis e seguras. O que estamos presenciando é o nascimento de um sistema que está apto a avaliar regras sem a intervenção humana e transmitir confiança sem precisar depositar esta confiança em um agente humano diretamente envolvido no processo de transação. Se uma nova transação é criada entre duas partes, qualquer agente da rede pode validar esta transação de forma independente, mesmo sem conhecer previamente as partes envolvidas na transação ou ter que perguntar para alguém que conheça. Isso é possível porque cada agente mantém permanentemente atualizada localmente uma cópia de todo o livro de registro de transações digitais previamente validadas pela rede - uma espécie de cópia atualizada da "verdade" ou consenso em relação aos eventos de transações passadas. Fazendo uma analogia, é como se um cartório pudesse dar fé a um documento de compra e venda de uma casa sem ter conhecimento prévio de quem está comprando a casa, quem está vendendo a casa ou mesmo sem possuir o registro da casa em seus livros - já que a mesma não foi registrada anteriormente neste cartório, mas sim em um registro público que pode ser acessado por este cartório e por ele entendido como verdadeiro. Este é um sistema de regras que existe independente de atores humanos, que existe baseado nesta topologia de rede.

Entender as potencialidades de aplicação da tecnologia de *Blockchain* é tentar entender seu impacto em diversas áreas como comércio, identidade, governança, organizações, filantropia, educação, além de verticais de mercado como seguros, bancos, entretenimento, dentre muitas outras. Qualquer área, setor, mercado que apresenta custos de transação relevantes pode ser impactado pela tecnologia de *Blockchain*. Quanto maior for a proporção dos custos de transação em relação aos custos totais de produção, maior será a chance de impacto e eventual ruptura de mercado (disruption). Áreas como cartórios onde o custo de transação quase que se iguala ao custo de produção do serviço são bons exemplos de oportunidades para aplicações baseadas na Blockchain. A visualização fica ainda mais simples quando observamos estes serviços como agentes terceiros em uma transação entre duas partes e uma situação onde a função do terceiro agente é somente a de validar as regras da transação. Mas o que acontece em um novo cenário onde estas duas partes estão aptas a realizar esta validação sem a terceira parte? O que acontece se a segurança de uma transação entre duas partes é a mesma que a segurança de uma transação entre duas partes, intermediada por uma terceira parte? A resposta é simples: a terceira parte passa a ser um mero custo na transação. Na lógica da *Blockchain* ela passa a não fazer mais sentido.

2.2. Potencial Disruptivo

A partir da ideia de um protocolo aberto de troca de valor que reduz drasticamente os custos de transações digitais via internet, é possível visualizar algumas consequências práticas que vão aparecer no momento em que a adoção desta tecnologia começar a se massificar e gerar externalidades de rede. Da mesma forma que a produção de informação cresceu de forma exponencial a partir da criação do protocolo de comunicação da internet (IP Protocol), a tecnologia de *Blockchain* pode ter uma consequência análoga na camada de transações digitais.

Para se ter uma ideia do que significou o aumento da produção de informação, basta dizer que seriam necessários 5 milhões de anos para uma pessoa assistir a todos os vídeos que vão circular na internet em somente um mês do ano de 2020 (Cisco Visual Networking Index, 2013). Essa é a consequência de um

protocolo aberto de comunicação associado a uma adoção em massa da tecnologia de rede de dados da internet. Efeito similar espera-se na camada de transações, a partir da adoção de um protocolo aberto baseado na tecnologia de Blockchain. Potencial para isso existe, basta pensar que 85% das transações monetárias do mundo ainda acontece com papel moeda. Some-se a isso camadas completamente novas de entidades não humanas que vão passar a interagir com as pessoas nos próximos anos – é previsto que 24 bilhões de dispositivos estarão interagindo em 2020 na internet das coisas. Potencialmente estaremos aptos a transacionar com estes dispositivos como, por exemplo, alugar um ar-condicionado em um quarto de hotel ou remunerar um sensor autônomo que faça a provisão de uma informação relevante para uma rede de dados.

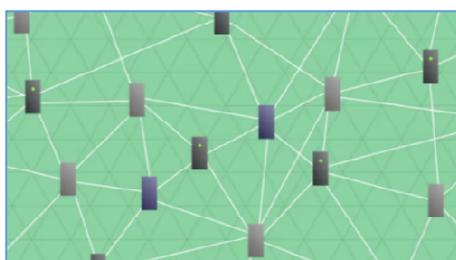
Fora isso, consideramos um movimento ainda maior, que é a inserção no meio digital de ativos físicos de uso corrente, gerando uma contraparte que pode ser transacionada livremente através da internet. Esse seria o ingrediente para potencializar a economia colaborativa para uma escala nunca vista. A noção de propriedade seria desafiada diretamente e um novo paradigma de colaboração entre pares poderia emergir. O status atual da economia colaborativa está baseado em redes com agentes centralizadores, como no caso de transporte ponto-a-ponto em zonas urbanas e seu mais conhecido agente – o Uber.

Pensar um modelo descentralizado entre pares, sem a necessidade de um intermediário para organizar a rede, passa a fazer enorme sentido. Mais do que isso, ativos de uso corrente de menor valor agregado, que normalmente não viabilizariam a criação de redes proprietárias como o Uber, podem passar a fazer sentido economicamente. É o exemplo de equipamentos baratos como furadeiras, cujo tempo de uso para a maioria das pessoas é mínimo ao longo de um ano – até que ponto precisamos realmente ter a propriedade de um produto que gera tão pouco uso? Faria sentido uma rede de colaboração para compartilhamento deste tipo de ativo? Apesar da pergunta fazer sentido conceitualmente, a criação de uma rede de colaboração ao redor de um item como estes, no momento atual, é tão cara e complexa que o modelo de propriedade individual passa a fazer muito mais sentido. Isso pode mudar com a *Blockchain*, abrindo uma janela de oportunidade até mesmo para os fabricantes repensarem seus modelos de negócios, abolindo um modelo de vendas ao consumidor com transferência de propriedade e migrando para um modelo de vendas a um usuário sem transferência de propriedade. Ao invés de comprar uma furadeira por R\$ 200 a cada dez anos, paga-se uma pequena fração a cada uso, sem a transferência de propriedade. Esse modelo já existe em segmentos de alto valor agregado, como furadeiras de alto impacto para uso profissional, mas não existe para uso doméstico, por exemplo.

A disseminação da tecnologia de *Blockchain* poderia trazer o melhor dos dois mundos que é a escala de uso doméstico (quantidade muito maior que o uso profissional) e o escopo de produto profissional (que é muito superior em especificação que o produto feito para o mercado doméstico). O resultado seria um ganho enorme na função utilidade em diversos segmentos da indústria. Na economia compartilhada entre pares baseados na tecnologia de *Blockchain*, dois cenários alternativos podem ser esperados: teremos acesso a equipamentos com especificação técnica superior ou pagaremos menos para usar equipamentos com o nível de especificação técnica que temos atualmente nos mercados de consumo.

2.3. Funcionamento da Tecnologia

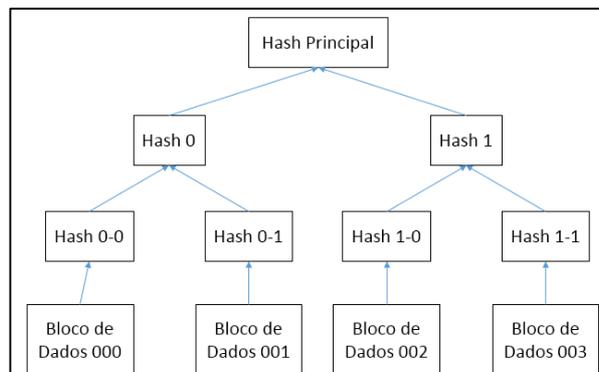
Segundo Extance (2015), a arquitetura da blockchain é um modelo (template) que pode ser aplicada para operações contratuais, sistemas de segurança, votação online, financiamento coletivo (crowdfunding), seguros coletivos, utilização por bancos (como visto em CROSMAN, 2015), entre outros.



Fonte: Website Weusecoins.

Figura 1: Rede de computadores representando a estrutura *blockchain*.

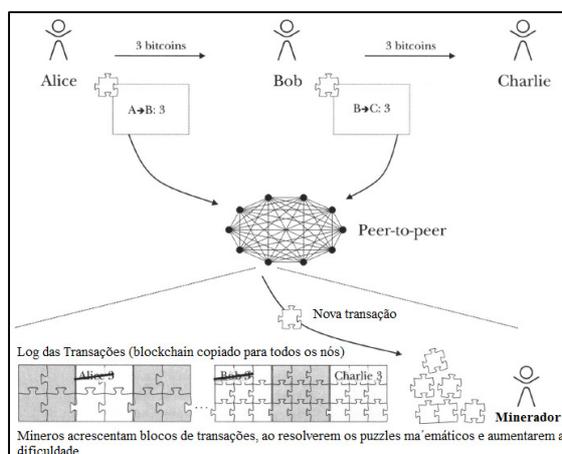
Como visto em Schwingel (2015), o conjunto de dados da blockchain possui o mesmo fundamento das árvores de Merkle (MERKLE, 1987), ou também conhecidas por árvores de dispersão. A teoria da árvore de Merkle é baseada em uma árvore binária de dispersão, onde as folhas são separações de blocos de dados em um arquivo ou conjunto de arquivos. Os chamados “nós” localizados na parte superior da árvore são as dispersões. Normalmente, uma função de dispersão criptográfica, ou função hash criptográfica (como o algoritmo de dispersão seguro SHA-1, Whirlpool, ou Tiger) é usada para a dispersão (figura 2).



Fonte: Própria.

Figura 2: Estrutura da árvore de Merkle.

Neste conjunto de dados (em forma de árvores de Merkle) são inseridas as transações (a integridade e veracidade das informações são fundamentais), de maneira que as informações sejam transparentes e claras para os usuários e não-usuários. As transações são validadas em cerca de 10 minutos e tornam-se praticamente irreversíveis, uma vez que para alterar alguma transação é necessário alterar todos os blocos de transações posteriores. Assim, o processo completo é resumido por meio da figura 3.



Fonte: Böhme et al. (2015).

Figura 3: Fluxo do processo de transação e validação com a *blockchain*.

Como observa Luther (2016), várias empresas começaram a se adaptar à era das moedas digitais, aceitando sua utilização e buscando utilizar sua tecnologia fundamental, a blockchain. Inclusive, a Nasdaq anunciou em 2015 o lançamento de uma plataforma seguindo a tecnologia da blockchain para gerir ações em sua plataforma. A consultoria Deloitte criou uma comunidade para informar a seus clientes os benefícios da utilização da blockchain para operações com recursos financeiros, gestão de pagamentos de pessoal, entre outras. O próprio Federal Reserve (Banco Central Americano) avalia a utilização da tecnologia da blockchain para processos de pagamentos interbancários.

2.4. Representação Digital de Ativos

Um elemento chave para a transferência de ativos em uma rede de *Blockchain* é a alocação de uma identidade digital única para cada ativo. Este processo de criação de tokens está sendo chamado de “tokenização” (tokenization) e alguns protocolos estão sendo desenvolvidos para isso, sendo eles vitais para a contabilização destes ativos e prevenção de duplicidades tanto no gasto quanto no registro dos mesmos.

Praticamente qualquer ativo físico ou digital pode ser tokenizado. O protocolo da *Blockchain* usa hashes criptográficos para gerar números identificadores únicos que servem como um token para identificar estes ativos, os tornando únicos e passíveis de participação em operações de troca, por exemplo, compra e venda. Os hashes são funções determinísticas e unidirecionais, sendo inviável recriar o seu valor de entrada utilizando somente o seu valor de saída. Desta forma, o token produzido pela função hash nunca pode ser o mesmo, a não ser que tenham sido gerados a partir da mesma entrada.

Fazendo uma analogia, pode-se entender um token como sendo um número serial. Neste processo de tokenização de ativos, o protocolo da *Blockchain* cria uma impressão digital única ou identidade para um ativo, que quando registrada em um bloco sequencial, garante que aquele ativo não será gasto de forma duplicada. Este token se torna não só a identificação como também o endereço do participante na rede. Além dos hashes criptográficos, o protocolo da *Blockchain* também usa o método de criptografia assimétrica para garantir segurança na execução das transações. Através da geração de uma chave pública e outra privada, as contrapartes podem verificar suas identidades após a assinatura da transação com suas respectivas chaves privadas. Este processo de identificação digital através de métodos criptográficos que garantem o consenso nas transações entre partes sem a necessidade de um agente verificador, abre um rol enorme de possibilidades de aplicação da tecnologia nas mais diversas camadas de interação social.

3. Certificados de Energia Renovável e Créditos de Carbono

3.1. Certificados de Energia Renovável

Um dos principais exemplos de certificado de energia renovável é o I-REC. Esse certificado é emitido pela International REC Standard e tem abrangência internacional, podendo ser negociado entre empresas comercializadoras e para consumidores finais de certificados.

O Programa de Certificação de Energia Renovável é uma iniciativa conjunta da Associação Brasileira de Energia Eólica (ABEEólica) e da Associação Brasileira de Energia Limpa (Abragel) que visa fomentar o mercado de energia gerada a partir de fontes renováveis e com alto desempenho em termos de sustentabilidade. O programa consiste em duas certificações interrelacionadas, que trazem benefícios aos geradores de energia e aos consumidores voluntários de Energia Renovável:

- Certificação de empreendimentos de geração de energia renovável elegíveis;
- Concessão de Selo voltado para consumidores da energia certificada.

O CER é obtido mediante um processo de auditoria e segundo alguns requisitos estabelecidos, podendo ser vendido a comercializadores e a consumidores finais que neste caso obtêm o selo de energia renovável, que é um direito de utilização de imagem da energia renovável.

O padrão internacional I-REC Standard define regras e práticas que devem ser adotadas por empresas geradoras de energia renovável e que tenham como objetivo a emissão de certificados de energia renovável para comercialização com outras empresas participantes do sistema. Cada certificado I-REC é baseado em 1 MWh de produção de eletricidade. As empresas detentoras de unidades de geração de energia podem aderir a plataforma do programa através da aceitação dos termos e atendimento às regras e regulamentações exigidas.

A plataforma oferece três tipos de funções no sistema: a função de participante, representada por qualquer indivíduo ou organização que tenha interesse de negociar certificados I-RECs; a função de registrante, representada por organizações que possuem unidades geradoras de energia renovável com o interesse de emitir os certificados e coloca-los disponíveis para comercialização; e os emissores locais, que são agências governamentais ou entidades independentes que agem de acordo com o reconhecimento do governo e são responsáveis por controlar as instalações de geração de energia e verificar os dados emitidos nos relatórios de geração.

reduzir suas emissões poderão comprar os CRD em países em desenvolvimento e usá-los para cumprir suas obrigações.

As negociações a partir das RCEs criam o denominado Mercado de Carbono, que, segundo relatório da Point Carbon, em 2005, o valor do mercado global de carbono foi de US\$ 11 bilhões, em 2006 mais do que dobrou com US\$ 31 bilhões, em 2007 continuou o ritmo de crescimento com um montante de US\$ 63 bilhões, em 2008 US\$ 135 bilhões, em 2009 e US\$ 2010 o crescimento se manteve praticamente constante de um ano para o outro, com 144 e 143 bilhões respectivamente e em 2011 o valor de mercado US\$ 146 bilhões (o que corresponde à transação de 10,3 bilhões de toneladas de dióxido de carbono equivalente), conforme o relatório pelo Banco Mundial.

Avaliando os preços do crédito de carbono no mercado (figura 5), pode-se notar que o valor de compra dos créditos apresentou uma grande queda no final de 2007 (RANNOU E BARNETO, 2016), seguindo por um elevado aumento em 2008 e tendência de queda até os tempos atuais.



Fonte: Website Investing.com (2016).

Figura 5: Preço de Negociação do Crédito de Carbono (US\$).

Tendo em vista a diversidade de agentes no mercado, é importante apontar os principais compradores do mercado de carbono, que segundo Conejero (2006), são: companhias em busca de atendimento às restrições domésticas de emissões; agências de governo; companhias com metas de redução de emissões voluntárias; companhias buscando hedge em relação à exposição de riscos futuros; fundos de investimento privados em carbono; bancos comerciais e bancos de desenvolvimento); outros intermediários do mercado (como brokers, por exemplo).

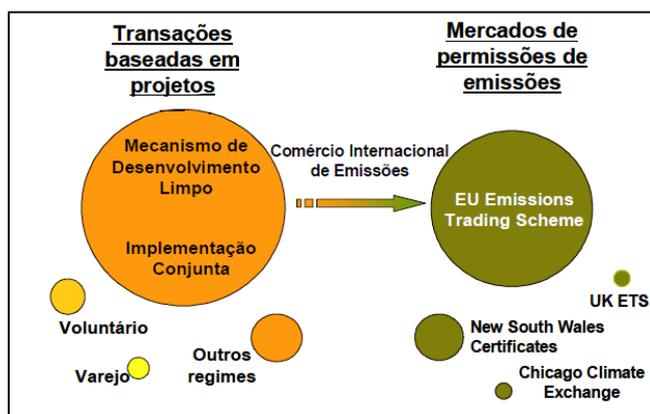
Assim como Lopes (2011) observa, é importante ressaltar que de acordo com o país de origem ou da tipologia em que são negociados os créditos, eles podem ter várias formas (todos equivalentes a uma tonelada de dióxido de carbono reduzida):

- RCEs (Reduções Certificadas de Emissões): certificados resultados de projetos de MDL;
- ERUs (Emission Reduction Units): unidades de redução de emissões certificados resultantes da implementação conjunta.
- AAUs (Assigned Amount Units): unidades de quantidades atribuídas quantidade de gases do efeito estufa que cada país do Protocolo de Kyoto pode emitir durante o primeiro período de compromisso;
- EUAs (European Union Allowances): permissões da união europeia que são unidade negociável sob o esquema de comércio de emissões da União Europeia;
- VERs (Verified Emissions Reduction): reduções verificadas de emissões certificados, resultantes de projetos negociados no mercado voluntário de carbono;
- VCS (Voluntary Carbon Standard): um dos padrões para desenvolvimento de projetos voluntários.

As transações de carbono podem ser agrupadas em duas categorias (LECOQC e CAPOOR, 2005): Transações baseadas em permissões: em que o comprador compra permissões de emissões criadas e alocadas (ou leiloadas) pelas agências reguladoras de regimes de cotas (cap-and-trade), tais como Assigned Amount Units (AAUs) derivadas do Mecanismo de Comércio de Emissões sob o Protocolo de Kyoto, ou permissões

de emissões (como o EU Allowances – EUAs) de regimes regionais e nacionais como o European Union Emissions Trading Scheme (EU ETS); e Transações baseadas em projetos (IC e MDL): onde um comprador compra reduções de emissões (Emission Reductions - ERs) de um projeto que produz reduções mensuráveis de GEE adicionalmente ao que ocorreria no cenário de linha de base (sem o projeto). Algumas transações baseadas em projetos são conduzidas para cumprir metas voluntárias de organizações, mas muitas delas são realizadas com o intuito de cumprir com as metas do Protocolo de Kyoto ou outros regimes regulatórios.

Assim, seguindo as diretrizes do Banco Mundial (2005), finalmente pode-se descrever e sumarizar a estrutura real do mercado de carbono (figura 6).



Fonte: Banco Mundial (2005).

Figura 6: Estrutura do Mercado do Carbono.

O Banco Mundial participa ativamente do mercado de carbono por meio principalmente de seus fundos de captação de recursos, financiando assim muitos projetos de reduções de emissão dos países em desenvolvimento. Os principais fundos relacionados com o mercado de carbono são: O The Prototype Carbon Fund (PCF); The Netherlands Clean Development Facility; The Italian Carbon Fund; The Bio Carbon Fund; Danish Carbon Fund (WORLD BANK, 2007).

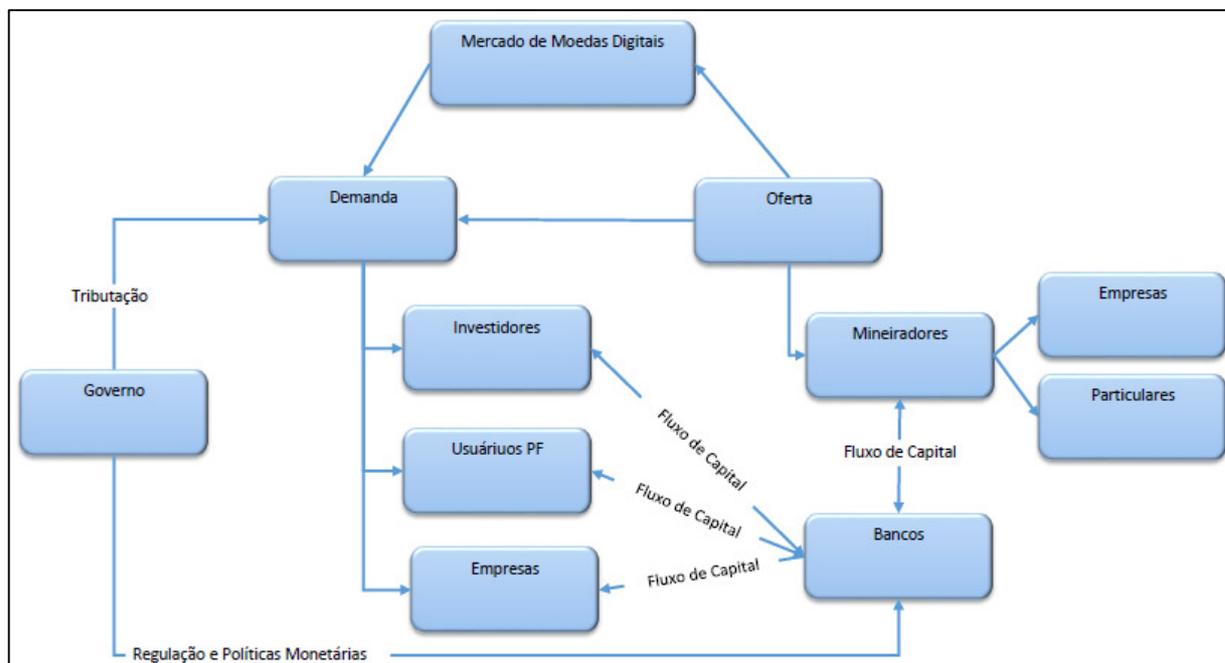
Assim como visto em Castro e Cordeiro (2001), a Chicago Climate Exchange (CCX) promove um comércio eletrônico de negociações referente à redução de emissões de carbono, desde dezembro de 2003. A CCX teve origem no interesse de seus membros (mais de 100) em reduzirem as emissões dos GEE e que fizeram um acordo voluntário entre eles com regras básicas de redução e padrões de comportamento específicos. Esta bolsa é resultado de uma associação de empresas de diversos setores como o químico, papel e celulose e automotivo, que se anteciparam à implantação do Protocolo de Kyoto, e formaram essa bolsa em Chicago que tem o intuito de efetuar negociações de créditos de carbono.

O mercado de carbono voluntário, como observam Kollmuss, Zink e Polycarp (2008), surgiu de forma paralela ao protocolo, com as Reduções Voluntárias de Emissões (RVE). Nele, qualquer empresa, pessoa, organização não governamental (ONG) ou governo pode gerar ou comprar créditos de carbono voluntários. Esses créditos, também são auditados por uma entidade independente, mas não estão sujeitos a registros da Organização das Nações Unidas (ONU) e por isso não valem como meta de redução para os países que fazem parte do acordo internacional. Paiva e Andrade (2014) verificaram que o mercado voluntário apresenta maior potencial para contribuição do desenvolvimento sustentável localmente em comparação ao mercado regulado, devido a sua maior flexibilidade, diversidade de atores, e a exigência da demonstração dos benefícios declarados.

O mercado de carbono no varejo é representado pelas atividades do investidor por meio das Instituições Financeiras, isso quer dizer que, além de grandes empresas, investidores dos mais diferentes perfis também podem lucrar com um ativo cujo principal ganhador é o meio ambiente. Apenas para exemplificar, no Brasil o Itaú Unibanco lançou um fundo de investimento multimercado de capital protegido ligado ao mercado de créditos de carbono. O produto teve como referência a variação do Barclays Capital Global Carbon Index Excess Return Euro (BGCI) indicador que monitora a performance de créditos de carbono via contratos futuros negociados no mercado europeu.

4. Um Novo Modelo de Negócio: *Tokenização na Blockchain*

Como este trabalho busca desenvolver um modelo de negócios conceitual envolvendo o uso de blockchains para o mercado de energias renováveis, é importante primeiramente compreender o fluxo microeconômico do processo que envolve a comercialização das moedas digitais. O fluxo simplificado do modelo pode ser visto na figura 7.



Fonte: Própria.

Figura 7: Fluxo microeconômico das moedas digitais.

No lado da demanda, encontram-se: os investidores, cujas decisões sobre o risco podem ser explicadas considerando também efeitos comportamentais que ocorrem no mercado (como o efeito manada ou mesmo em função de suas expectativas quanto aos investimentos e retornos esperados); os usuários Pessoas físicas (PF) que utilizam a moeda basicamente para compras (produtos e serviços) ou remessas para outros usuários; as empresas para pagamento de fornecedores, contratação de serviços terceirizados ou mesmo para transações entre matriz e filial.

Em relação a oferta, ela é composta basicamente pelos mineradores de moedas digitais. A mineração é um processo matemático sofisticado entre servidores de computadores, que se baseia na capacidade de processamento, com o intuito de desenvolver novos blocos na cadeia da blockchain. Para tal desenvolvimento, os mineiros são recompensados com a obtenção de novas moedas digitais. A mineração pode ser realizada por empresas (PJ) ou por qualquer indivíduo pessoa física com capacidade de processamento computacional.

A oferta de moedas digitais pode atender a demanda utilizando como intermediário o mercado de moedas digitais (que pode ser acessado mediante a contratação de uma corretora especializada) ou pode atender a oferta diretamente, como o caso em que mineradores particulares vendem para o grupo da demanda, ou em que o grupo de demanda contrata um serviço de mineração em empresas ofertantes.

Os bancos, de maneira geral, entram com o papel de fornecedores de serviços financeiros por meio de operações de seus clientes PJ e PF, para emissão de transferências bancárias para empresas mineradoras de moedas digitais, aplicações financeiras do dinheiro ganho com em moedas digitais, geração de empréstimos para investidores de moedas digitais, entre outros serviços.

O governo atua como agente de regulação da política monetária e das políticas bancárias para com os bancos, de maneira a interferir em questões como taxas de juros, depósitos compulsórios, impostos para transferências financeiras ou até mesmo transferências bancárias. Já na relação direta com a demanda, alguns países (como a Alemanha, por exemplo), possuem tributos específicos para moedas digitais e espera-se que

os demais países acabem instituindo uma tributação em relação ao processo de compra e venda ou lucros sobre tais moedas.

No sentido de mostrar o potencial uso das *Blockchains* nas transações de certificados de energia renovável e de carbono, foi estruturado um novo modelo de negócio descrito nessa seção. Será exemplificado aqui a utilização no mercado de CERs (*RECs*).

Uma plataforma digital baseada na tecnologia *Blockchain* pode ser utilizada para viabilizar a comercialização de certificados de energia renováveis, no mercado nacional e internacional, oferecendo baixos custos de registro e transação e maior segurança aos participantes.

Todas as emissões de certificados podem ser registradas na rede em forma de *tokens*, através da criação de uma identidade única para cada certificado, garantindo que cada um deles não seja vendido/usado em duplicidade e permitindo que sejam comercializados com qualquer pessoa ou organização interessada, desde que esta tenha um usuário cadastrado na plataforma.

Após a solicitação do produtor, o registro de cada unidade de *token* será feito pela certificadora na plataforma da *Blockchain* e representará 1MWh de energia renovável gerada. Cada produtor terá controle sobre a quantidade de *tokens* que possui em sua conta digital para comercialização.

A plataforma digital está baseada na rede *Ethereum*, que permite a utilização de contratos inteligentes para as transações. Ou seja, esta é uma *Blockchain* que viabiliza a programação de contratos inteligentes autoexecutáveis, utilizando ainda uma moeda digital chamada *Ether*. Os *tokens* terão o valor calculado em *Ether* através de um conversor. Este conversor definirá a quantidade de *Ether* necessária para a compra de cada *token*.

No momento da comercialização entre o produtor e o consumidor, um segundo conversor irá calcular a conversão da moeda de origem em *ether*, permitindo ao comprador calcular o valor, em moeda de origem de seu país, que é necessário para adquirir a quantidade de *Ether* de que precisa para realizar a compra dos *tokens*.

Após a conclusão da negociação, com base em um contrato inteligente previamente cadastrado serão identificados os valores de cada transação, quantidade negociada e os direcionadores de receita. Esses contratos inteligentes definirão a regra de rateio e destinação dos valores negociados de cada transação, de acordo com os percentuais pré-definidos, para quatro beneficiários: o produtor da energia e emissor do certificado, a comunidade local, o governo através de tributação e um valor para a taxa de desenvolvimento da plataforma.

Após efetuada a transação, o comprador terá em sua conta a quantidade de *tokens* comprados e poderá utilizá-los da forma que preferir. A oferta de certificados renováveis de energia é representada pelas empresas detentoras de unidades geradoras de energia elétrica renovável, independentemente de seu tamanho. Tais empresas são divididas em quatro grupos de acordo com seu tipo de geração: as plantas solares, as fazendas eólicas, as usinas hidrelétricas e as plantas de biomassa.

O primeiro passo do modelo será a emissão dos certificados de energia renovável pelos ofertantes. A partir dos dados medidos de emissão, uma empresa certificadora registrará os *tokens* de cada produtor na plataforma do *Blockchain*.

O consumidor acessará a plataforma com seu usuário e realizará a compra dos *tokens*. Após a compra, os *tokens* serão registrados em sua conta e poderão ser utilizados/aposentados de acordo com a finalidade pretendida.

A figura 8 a seguir esquematiza o modelo de negócios proposto. Esse modelo apresenta duas grandes vantagens em relação às negociações convencionais. A primeira é a possibilidade de certificação imediata a partir da medição da energia elétrica e conversão direta em *tokens*. A segunda é o acesso direto ao mercado internacional que a *Blockchain* propicia.

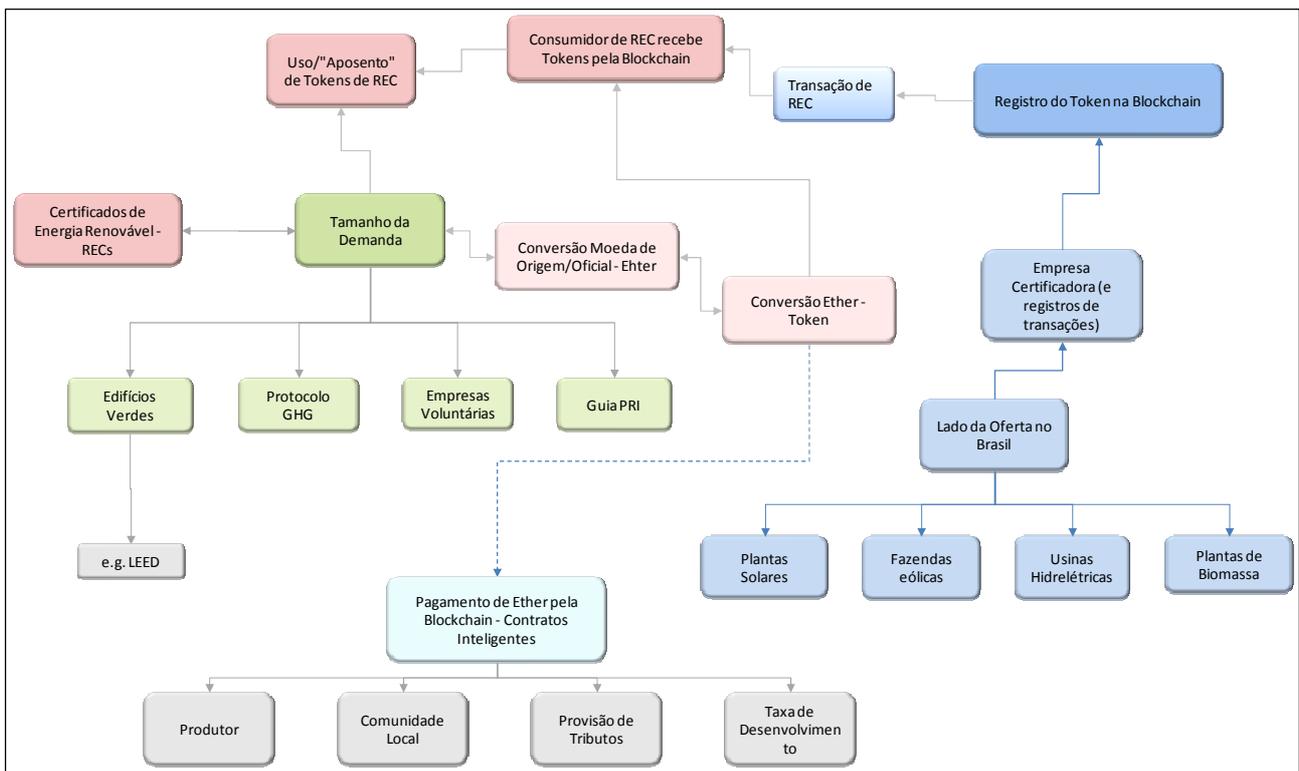


Figura 8 – modelo de negócios REC.

5. Conclusões e Sugestões Para Trabalhos Futuros

A principal conclusão do trabalho é mostrar que o modelo de negócio tem de fato potencial para prosperar, cabendo destacar que as implicações positivas para as empresas brasileiras produtoras de energias renováveis são interessantes, pois podem passar a ter acesso a mercados antes não atingidos, auferindo receitas incrementais com a venda de certificados, tendo as *Blockchains* como veículos de transação.

Assim, por meio do modelo de negócio apresentado e considerando o grande potencial das energias renováveis, nota-se que a tecnologia que surgiu com as moedas digitais (a *Blockchain*), pode contribuir em várias esferas no setor de energia com o intuito de agilizar processos, reduzir custos, aumentar competitividade e desburocratizar atividades que são de extrema importância para a economia brasileira e para o mundo como um todo.

Como sugestão para trabalhos futuros modelos como os aqui apresentados podem ser desenvolvidos para os certificados de carbono e outros certificados da economia verde. Adicionalmente, há um imenso potencial de aplicação das *Blockchains* para transacionar energia elétrica podendo haver um escopo em geração distribuída ou em *trading* de energia.

Referências

- ABEEÓLICA – Associação Brasileira de Energia Eólica. Disponível em: < <http://www.portalabeeolica.org.br/>>. Acesso em: 25/11/16.
- ABRAGEL – Associação Brasileira de energia limpa. Disponível em: < <http://www.abragel.org.br/>>. Acesso em: 25/11/16.
- ABSOLAR – Associação Brasileira de energia Solar Fotovoltaica. Disponível em: < <http://www.absolar.org.br/>>. Acesso em: 25/11/16.
- ANATER, M. J. N.; SANQUETTA, C. R.; SCHIAVO, B. N. V.; CORTE, A. P. D. (2016). Redução De Gases De Efeito Estufa Pelos Projetos De Crédito De Carbono No Setor Energético Brasileiro. *Holos*, 1(32), 310-326.
- ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. Disponível em: < <http://www.aneel.gov.br/>>. Acesso em: 25/11/16.
- BANCO MUNDIAL – (2005). Diversos documentos. Disponível em: <<http://carbonfinance.org/>>, Acesso em: 20/11/16.
- BÖHME, R.; CHRISTIN, N.; EDELMAN, B.; MOORE, T. (2015). Bitcoin: Economics, Technology, and Governance. *The Journal of Economic Perspectives*, 29(2), 213-238.
- CONEJERO, M. A. (2006). Marketing de créditos de carbono: um estudo exploratório. Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo.
- EXTANCE, A. (2015). Bitcoin and Beyond. *Nature*, 526(7571), 21-23.
- GABETTA, J. H. S. C. (2006). A influência dos certificados de emissões reduzidas – CERs na viabilidade econômica de empreendimentos de energias renováveis. Dissertação de Pós-Graduação, Universidade Federal de Itajubá.
- GODOY, S. G. M. (2009). Uma análise do mercado mundial de certificados de carbono. *Cronos*, 10(2), 77-99.
- KOLLMUSS, A.; ZINK, H.; POLYCARP, C. (2008). Making Sense of the Voluntary Carbon Market: A Comparison of Carbon Offset Standards. WWF Germany, 119 p.
- LUTHER, W. J. (2016). Bitcoin and the Future of Digital Payments. *Independent Review*, 20(3), 397-404.
- MAFTEI, L. (2014). Bitcoin - Between Legal and Informal. *CES Working Papers*, 6(3), 53-59.
- MERKLE, R. C. (1988). A digital signature based on a conventional encryption function, in *Advances in Cryptology - CRYPTO '87*, Lecture notes Computer Science, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 293(1), 369-378.
- NEGURITA, O. (2014). Bitcoin - Between Legal and Financial Performance. *Contemporary Readings in Law and Social Justice*, 6(1), 242.
- SCHWINGEL, M. G. (2015). Aplicabilidade do Bitcoin na Empresa Pequim Vídeo Locadora. In: XX Jornada de Pesquisa, Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul. Unijui, 28-02.10.2015.
- TAPSCOTT, D.; TAPSCOTT, A. (2016). *Blockchain Revolution: How the Technology Behind Bitcoin is Changing Money, Business, and the World*. Portfolio Penguin.
- WATTS, D; ALBORNOZ, C; WATSON, A. (2014). Clean Development Mechanism (CDM) after the first commitment period: Assessment of the world's portfolio and the role of Latin America. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 41.
- WORLD BANK – (2007). Carbon finance at the World Bank: list of funds. Disponível em: <<http://carbonfinance.org/Router.cfm?Page=Funds&ItemID=24670>>. Acesso em: 19/11/16.