

## CERTIFICADOS DE ENERGIA RENOVÁVEL – CONCEITUAÇÃO ATRAVÉS DE UMA REVISÃO SISTEMÁTICA DE LITERATURA

### RENEWABLE ENERGY CERTIFICATES – CONCEPTUALIZATION THROUGH A SYSTEMATIC LITERATURE REVIEW

---

Thiago Filipe de Matos<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Mestrando em Sustentabilidade e Tecnologia Ambiental - IFMG Campus Bambuí/MG.  
Gestor de inovação e estratégia – CEMIG

thiagofmatos@gmail.com

Submissão: 20 de julho de 2024 Aceitação: 24 de outubro de 2024

---

#### Resumo

A demanda por Certificados de Energia Renovável (REC) está relacionada à necessidade de se demonstrar o uso de energia renovável na matriz energética das instituições e países, aderente a uma economia de baixo carbono, ao Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) e aos padrões sobre gestão de Indicadores de Sustentabilidade e *Environmental, Social and Corporate Governance* (ESG). Estes certificados, REC ou selos verdes, possibilitam a rastreabilidade de uma energia limpa e atende a diversos protocolos na elaboração de inventários sobre redução de emissão de gases de efeito estufa. Este trabalho apresentará o contexto em que os certificados estão inseridos e seus diversos conceitos, através de uma revisão sistemática. Os resultados obtidos possibilitam discernir o uso deste termo em alguns países e compreender como é a aplicação deste recurso em diferentes localidades no mundo.

**Palavras-chave:** certificado; Selo Verde; energia renovável; carbono.

#### Abstract

The demand for Renewable Energy Certificates (REC) is related to the need to demonstrate the use of renewable energy in the energy matrix of institutions and countries, adhering to a low-carbon economy, the Clean Development Mechanism (MDL) and standards on the management of Sustainability Indicators and Environmental, Social and Corporate Governance (ESG). These certificates, REC or green seals, enable the traceability of clean energy and comply with various protocols in the preparation of inventories on the reduction of greenhouse gas emissions. This work will present the context in which certificates are inserted and their various concepts, through a systematic review. The results obtained make it possible to discern the use of this term in some countries and understand how this resource is applied in different locations setor elétrico mundial tem incorporado, a cada ano, um percentual maior de fontes limpas e renováveis around the world.

**Keywords:** certificate; Green Seal; renewable energy; carbon.

### 1 INTRODUÇÃO

O setor elétrico mundial tem incorporado, a cada ano, um percentual maior de fontes limpas e renováveis de energia para viabilizar a transição energética, que traz consigo um possível efeito da crescente preocupação com a qualidade ambiental e a valorização de investimentos alinhados às melhores práticas sociais, ambientais e de

governança, internacionalmente conhecidas como *Environmental, Social and Governance* (ESG). Por isso, empresas têm sido incentivadas a evidenciar sua preocupação e atividades praticadas de uma forma sustentável, sob uma economia de baixo carbono (E), de baixo impacto social, que procura o bem das comunidades (S) e que possua alta governança voltada à transparência, fiscalização,

equidade, prestação de contas e responsabilidade corporativa (G) (Redecker; Trindade, 2021).

Esse engajamento, em toda cadeia de suprimentos, possibilita um desenvolvimento sustentável, coordenado de benefícios econômicos, ambientais, sociais e de governança, em uma filosofia de investimento que busque o crescimento de valor que coincida com a importância do valor da empresa (Li *et al.*, 2021). Dentre diversas práticas sustentáveis, quando as delimitamos no setor de energia elétrica renovável, percebe-se em vários países a comercialização de Certificados de Energia Renovável (REC) ou certificados/selos verdes.

No Brasil, diante (i) da dependência das cargas do sistema interligado nacional que possuem um fator de emissão de Gases do Efeito Estufa (GEE); (ii) da impossibilidade de apenas se declarar a origem de sua fonte; (iii) de uma provável inviabilidade econômica e temporal para se produzir a própria Energia Renovável (ER) e (iv) da necessidade das empresas demonstrarem ações em consonância com o ESG e com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) relacionados ao uso de energia, uma prática que tem sido crescente é o uso de REC, o qual possibilita as empresas zerarem as emissões de GEE no que tange ao consumo de energia elétrica sob as emissões indiretas – chamado de emissões escopo 2.

Além dos REC, alguns empreendimentos de ER podem se enquadrar na comercialização de créditos de carbono, como forma de compensação. O mercado de carbono consiste na distribuição de permissões por meio dos países signatários do Protocolo de Kyoto, assinado em 1997, quando a sua proposta inicial era reduzir ou limitar a quantidade de emissões de GEE no mundo de acordo com a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (CQNUMC) (1997); Rocha (2003) *apud* Godoy; Pamplona (2007). Porém, segundo Godoy; Pamplona (2007), somente em 2005 foi possível a efetiva vigência do protocolo, quando se conseguiu reunir as assinaturas dos países que representassem 55% das emissões globais. Este mercado, nos últimos 17 anos, mostrou-se discreto no Brasil quando os certificados são oriundos como créditos de carbono e utilizados como compensação, mas, nos últimos 8 anos, tem se demonstrado promissor quando o certificado tem por objetivo realizar uma comprovação rastreável e normatizada da origem da energia. A seguir serão explicados os dois tipos de certificados.

### 1.1 Comercialização de Certificado de Energia Renovável (REC) em um sistema operacional de rastreamento de atributos de energia

O REC é rastreável, permitindo garantir que a energia consumida, em MWh, veio de uma fonte renovável e consiste em um dos meios utilizados para se alcançar as metas de sustentabilidade. Como exemplo, uma fábrica de médio porte, com uma demanda média energética de 1MW, em 2021 (8.760 horas), teve um consumo anual de 8.760 MWh. Para saber a quantidade de emissões provocadas pelo consumo de 8.760 MWh, deve-se multiplicar esse valor por um fator publicado pelo Ministério de Ciência e Tecnologia e Inovação. Para o ano de 2021, o fator foi de 0,1264tCO<sub>2</sub>/MWh, o que resultou em 1.107,264 tCO<sub>2</sub> emitidos. Essa emissão de GEE ocasionada pelo tipo de fonte da energia consumida, quando comprada de terceiros, não é de responsabilidade direta da empresa, por isso ela é chamada de emissão indireta e classificada pela metodologia para inventário de GEE como uma fonte de emissão escopo 2. Uma empresa vizinha, com exatamente o mesmo consumo, porém com um certificado que declare 8.760 REC (1 REC para cada 1 MWh), poderá informar no escopo 2 de seu relatório que sua emissão foi zero.

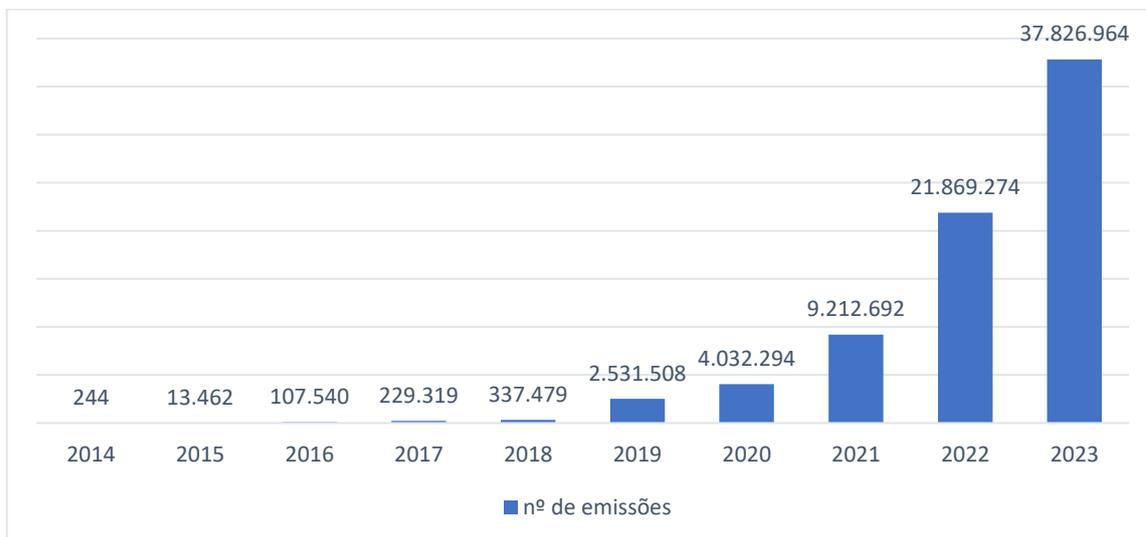
Um modelo internacionalmente reconhecido para emissão de certificados é o I-REC, registrado na Holanda. Conforme declara o Instituto Totum (2021), o I-REC *Services* é responsável pela garantia da qualidade e autorização dos emissores em todo o mundo. As entidades autorizadas pelo I-REC *Services* para emitir I-REC em contas designadas são chamados de emissores locais, e, no Brasil, esse papel é atribuído ao Instituto Totum.

Os proprietários de empreendimentos de geração ou entidades que atuam em seu nome, devem se habilitar como “registrante” junto ao emissor responsável pela emissão do I-REC. Assim, deverão ser pagos a adesão (€ 500,00), a anuidade (€ 2.000,00) e mais € 0,06 para cada REC emitido. O “participante” é um *Market Player*, *trader* ou consumidor com uma conta no Registro do *Code Manager*. Ele pode resgatar certificados em seu próprio nome ou em nome de seus clientes, e pode negociar esses certificados (Instituto Totum, 2021). O participante pode emitir o certificado em nome do seu cliente, optando ou não por cobrar o valor da emissão que possui baixo custo. O certificado pode ser utilizado em um inventário corporativo ou institucional de GEE baseado em critérios e padrões internacionais,

como por exemplo os critérios do *Carbon Disclosure Project* (CDP), Índice Bovespa de Sustentabilidade Empresarial, *Global Reporting Initiative* (GRI) e *GHG Protocol*. Considerando seu baixo custo, a aceitação aos padrões internacionais e as demandas provocadas por

grandes empresas internacionais, consolidou-se no Brasil um mercado de certificados neste modelo. A Figura 1 demonstra que em 2023 houve o crescimento da emissão de certificados de 73% em relação a 2022, somando 2 tipos de certificados: REC BRAZIL e I-REC.

**Figura 1 - Quantidade de certificados emitidos REC Brazil e I-REC, no Brasil**



Fonte: REC Brazil (2024).

Conforme os dados do Instituto Totum (2021), o Brasil é o país que possui a maior quantidade de usinas e capacidade cadastradas no mundo.

Além do tradicional certificado I-REC, o Instituto Totum lançou, em 2020, o Programa Brasileiro de Certificação de Energia Renovável que fornece, para empreendimentos de geração de energia, com níveis diferenciados de sustentabilidade, a chancela REC Brazil, que fornece a garantia de que a usina emissora atende aos critérios de adicionalidade, sustentabilidade nos aspectos sociais, ambientais e relação com a comunidade. Como requisito, estes certificados devem ser indexados por pelo menos 5 dos 17 ODS da Organização das Nações Unidas (ONU) (REC Brazil, 2021).

### 1.2 Comercialização de Certificado de Energia Renovável - REC em um sistema de Cap and Trade, utilizando crédito de carbono

Apesar da criação de um mercado de carbono desde 2005, as empresas brasileiras não possuem, até então, metas obrigatórias de redução de GEE, o que gera uma pequena demanda na comercialização de créditos sobre os empreendimentos de ER. Em 2009, a Lei Federal nº 12.187 (Brasil, 2009) instituiu a criação da

Política Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC), estabeleceu um compromisso nacional voluntário e determinou que o detalhamento das ações para mitigação das emissões de GEE, com vistas em reduzir entre 36,1% e 38,9% suas emissões projetadas até 2020, seria disposto por decreto. Porém, somente em 2022, por meio do Decreto Federal nº 11.075 /2022, foram instituídos os procedimentos para elaboração dos Planos Setoriais de Mitigação das Mudanças Climáticas e para a criação do Sistema Nacional de Redução de Emissões de Gases de Efeito Estufa (SINARE). No entanto, como ainda não houve a efetiva implementação do Mercado Brasileiro de Redução de Emissões (MBRE), as oportunidades de comercialização de crédito de carbono provenientes de REC ainda são por meio de mecanismos voluntários e inexpressivos.

Em alguns países os certificados com créditos de carbono são mecanismos regulados; outros, como no Brasil, são voluntários. Apesar do certificado de rastreabilidade ser mais utilizado no Brasil, deve-se considerar que ele é válido para o relatório de emissões indiretas, chamadas de escopo 2. Para a redução de emissões diretas, aquelas que vêm diretamente do processo produtivo da empresa e chamadas de escopo 1, o

crédito de carbono é uma importante emissão como medida compensatória.

Além das duas formas explicadas, percebe-se que cada país pode ter ou não uma legislação a respeito, o que gera conflito conceitual dependendo do local onde o termo certificado é estudado ou aplicado. Além dos certificados em si, as políticas públicas para fomentar o crescimento da participação de ER na matriz energética também são distintas, com histórico e mecanismos diversos, o que gera dificuldade ao se consultar a literatura acadêmica mundial, quando se relaciona o uso de certificados com energia renovável e o uso de certificados como forma de compensação/crédito de carbono.

Com base no exposto, o objetivo deste artigo é contextualizar e explicar os diversos conceitos sobre certificados de energia renovável aplicados em diferentes partes do mundo, por meio de uma revisão sistemática de literatura. Como existem políticas que não utilizam certificados e, por meio de outros métodos, incentivam à inserção de ER e à redução de emissões de GEE, também haverá abordagem destes temas para contextualizar o porquê da opção ou não do uso de certificados de energia renovável. Devido à iminência de um Mercado Brasileiro de Redução de Emissões (MBRE), a revisão sistemática permite agrupar diversos conceitos utilizados em outros países, trazendo maior familiaridade ao leitor sobre este assunto.

## 2 METODOLOGIA

A metodologia utilizada foi a Revisão Sistemática da Literatura (RSL), com abordagem qualitativa e exploratória. Inicialmente foi acessado o Portal de Periódicos da CAPES e feita a busca no acervo através da lista de base de dois bancos de dados: o *Scientific Electronic Library Online* (SciELO) e *SciVerse Scopus* (SCOPUS). A escolha da SCOPUS se deu porque ela é a maior base de dados de resumos e citações de literatura revisada por pares, com ferramentas bibliométricas para acompanhar, analisar e visualizar a pesquisa (Elsevier LAS, 2016). A escolha da SciELO foi feita com a intenção de complementar a pesquisa internacional da SCOPUS com a possibilidade de se encontrar mais artigos brasileiros. Foram geradas duas listas de artigos publicados, uma com 109 artigos e a outra com 138, referentes a base de dados da SCIELO e SCOPUS respectivamente, totalizando 247 estudos publicados na literatura acadêmica

relacionados ao uso de certificados de energia renováveis. Os critérios iniciais de inclusão para obtenção das listas foram: artigos científicos com estudos descritivos, explicativos nos idiomas inglês, espanhol ou português sobre 3 temas-chave presentes no título, palavras-chave ou resumo, através do operador booleano OR: (i) Mercado de carbono ou mecanismos de compensação de emissões; ou (ii) Energia Renovável; ou (iii) Certificados ou selos de energia renováveis, publicados no período entre 2005, ano em que houve a efetiva entrada do protocolo de Kyoto, até julho de 2023.

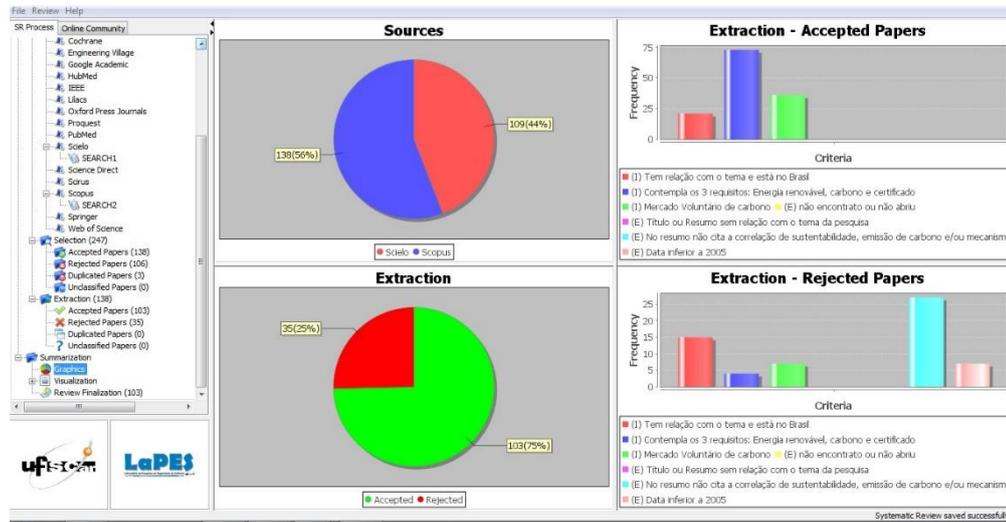
Como suporte ao método de revisão sistemática, foi utilizada a ferramenta computacional denominada *State of the Art through Systematic Review* (StArt). O StArt é um programa disponibilizado gratuitamente pelo Laboratório de Pesquisa em Engenharia de Software (LAPES) vinculado à Universidade Federal de São Carlos (UFSCar). Nele foram carregados os 247 arquivos e gerou-se um protocolo de seleção no programa. Na 2ª etapa, 106 artigos foram rejeitados, por não estarem aderentes ao tema de pesquisa, apesar de terem palavras-chave correlacionadas, 3 foram excluídos por serem documentos duplicados e 138 artigos foram selecionados. Em seguida foi gerada a 3ª etapa, denominada pelo programam StArt como extração. Para a extração, todos os resumos foram analisados com o objetivo de confirmar se o tema do artigo estava concatenado simultaneamente aos 3 temas-chave citados no parágrafo anterior. 103 artigos foram mantidos por trabalharem os 3 temas-chave, ou seja, por terem as “aspas” nos termos chaves e o operador “AND” entre eles, e 35 foram rejeitados.

Após leitura dos resumos dos artigos extraídos foi utilizado o recurso para categorização de prioridade de leitura, conforme Figura 2, cujos gráficos foram gerados pelo StArt. Dentre os 103 resumos analisados foram categorizados 35 artigos com alta prioridade de leitura, considerando-se a abordagem do tema pesquisado e a possibilidade de o estudo fazer referência a regiões ou países diferentes de outros artigos selecionados.

Como critério final, dentre os 35 artigos, foram selecionados somente os arquivos com score maior que zero, o que totalizou uma seleção de 15 artigos. A leitura destes documentos teve como principal objetivo conectar conceitos utilizados em diversos países sobre o uso de certificados de energia como mecanismo de fomentos às fontes

renováveis e para uma economia de baixo carbono.

Figura 2 - Sumarização da metodologia, utilizando o StArt



Fonte: o autor.

### 3 RESULTADOS

#### 3.1 Incentivos para produção de Energia Renovável

Existem medidas, normalmente regulamentadas em cada país, para incentivar a inserção de Energia Renovável (ER) na matriz energética. No Brasil, com objetivo de estimular os investimentos em fontes limpas e renováveis de energia elétrica existe a possibilidade de se comprar energia limpa, no Ambiente de Contratação Livre (ACL), chamada de energia incentivada, que possibilita um desconto subsidiado nas tarifas de uso dos sistemas de transmissão e de distribuição para empreendimentos solares, eólicos, a biomassa, a biogás e Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCH). O nicho de consumidores que pode comprar essa energia é chamado de consumidores especiais, na modalidade tarifária A (média e alta tensão) cujo somatório das demandas do consumidor, deve ser no mínimo de 500 kW. Os consumidores na modalidade tarifária B (baixa tensão) possuem outro benefício, chamado de sistema de compensação ou *net metering*. Cada kWh gerado e injetado na rede pode ser compensado por kWh consumido. Por isso, desde 2012, quando entrou em vigor a Resolução Normativa ANEEL nº 482/2012, o consumidor brasileiro pode gerar sua própria energia elétrica a partir de fontes renováveis ou cogeração qualificada e fornecer o

excedente para a rede de distribuição local. Trata-se da Micro e da Minigeração Distribuídas de Energia Elétrica, inovações que aliam economia financeira, consciência socioambiental e autossustentabilidade (Brasil, 2022).

Outra forma de incentivo, não utilizada no Brasil, mas que no passado foi disseminada em países desenvolvidos, é a Feed-in Tariff (FIT), considerada como é um benefício financeiro para quem produz ER. Ela é essencialmente um tipo de política que regula os preços, dentro de um determinado período e exige que as empresas de rede comprem ER a esse preço. Esse subsídio foi originado nos EUA durante a crise do petróleo, em 1970 e, devido ao seu sucesso, foi replicado por outros países, como Alemanha, Espanha, Dinamarca, Japão e China. Seu entendimento é importante para contextualizar a aplicação de mecanismos como forma de incentivo por meio de políticas públicas para maior participação de ER na matriz energética, aderente ao MDL (Dong *et al.*, 2019).

Na Alemanha, seguindo uma tendência mundial de política pública por meio de subsídio temporário, a FIT durou 20 anos. Os pagamentos *feed-in* para ER foram introduzidos com a Lei de Energia Renovável (EEG) no ano 2000 e permitiram o pioneirismo alemão na reformulação de sua matriz energética através de ER. O fenômeno da energia na Alemanha atingiu seu pico em 2010, em grande parte graças à FIT. A

produção de ER acelerou e os preços das tecnologias renováveis caíram. Por isso a Lei de Energia Renovável Alemã (EEG) foi reformulada em 2014, e o governo decidiu substituir as tarifas FIT por leilões, sujeitando os empreendimentos em maturação a condições baseadas no mercado (Sutton, 2021).

Na China, a tarifa FIT também teve grande influência. Zhang *et al.* (2022) citam que o governo chinês implementou uma série de políticas nas quais a FIT foi uma espécie de regulação de preços, em que produtores receberam uma taxa fixa ou prêmio por sua ER. Em julho de 2012, por meio da Lei de Medidas Especiais de Energia Renovável, o Japão também lançou sua versão do esquema FIT que exige que o governo compre eletricidade de fontes renováveis pelos próximos 20 anos a uma taxa fixa.

Os esquemas subsidiários na forma de tarifas FIT, analisados por Chuang *et al.* (2019), serviram como uma ferramenta política eficaz para impulsionar o crescimento das instalações de ER, embora o agravamento dos encargos financeiros tenha tornado este caminho insustentável. A dependência excessiva de esquemas de tarifas FIT também pode ter impedido a liberação de um mercado de energia essencial para o sucesso da elevação do portfólio de energias renováveis por meio de mecanismos de negociação.

Chuang *et al.* (2019) afirmam que, quando regulado pelo FIT, o subsídio tarifário fixo poderia desencadear uma relação de mudança inversa com o índice de energia verde, pois em alguns casos, quando o custo de produção e o custo conectado à rede das usinas verdes aumentavam, o subsídio tarifário fixo do governo deveria ser aumentado para compensar o custo, garantir a operação normal das usinas e remunerar o investidor. Porém, quando o índice de energia verde é consolidado, o subsídio tarifário fixo pode ser reduzido adequadamente para reduzir a pressão do subsídio financeiro do governo.

Por isso, no estágio inicial, a política FIT desempenhou um papel significativo no crescimento da indústria de ER. Com o rápido progresso desses empreendimentos, a pressão sobre os subsídios financeiros do governo tornou-se cada vez mais proeminente. Zhang *et al.* (2022) dizem que para aliviar essa pressão financeira, vários países, como o governo chinês, por exemplo, estão promovendo a construção de um padrão de portfólio renovável (*Renewable Portfolio Standards - RPS*).

### 3.2 *Renewable Portfolio Standards - RPS*

Zhang *et al.* (2022) afirmam que, ao contrário do FIT, o RPS é um sistema de regulação quantitativa. Ele exige que a proporção mínima de ER seja incluída na energia gerada, distribuída ou consumida pelos produtores de energia, redes elétricas ou usuários (Dong *et al.*, 2012). Em suas análises, observaram que 29 países no mundo implementaram o RPS, entre os quais os países mais representativos são Estados Unidos, Reino Unido, Holanda, Noruega, Suécia, Bélgica, Japão, Índia e a China.

Ying *et al.* (2021) cita que a mudança institucional do sistema de FIT para uma política governamental RPS gerará benefícios para o bem-estar social da China, por causa do aumento da concorrência que reduzirá o oligopólio no mercado de energia chinês e o custo da energia, além da transição energética para baixo carbono. Ao implementar o sistema RPS, o governo deve estabelecer cotas de forma racional e formular um mecanismo de supervisão científica e eficaz para tornar a operação de todo o mercado economicamente eficiente e evitar impactos negativos no mercado de energia elétrica de um país (Ying *et al.*, 2021).

A política chinesa de RPS pode ser datada do Plano de Ação Estratégico para o Desenvolvimento Energético em 2014 e foi colocada em prática no início de 2020. Os estudos sobre o desempenho das políticas de RPS atraíram uma ampla gama de interesse. Com um modelo de equilíbrio geral computável e dinâmico, Li *et al.* (2019) investigaram os impactos do RPS em várias metas políticas. Eles concluíram que a implementação do RPS, em substituição ao modelo FIT, foi propícia à redução das emissões de carbono e ao ajuste da estrutura energética. Bento, Kanbur e Yang (2018) também desenvolveram um modelo de equilíbrio geral da política de RPS e argumentaram que a política de RPS contribuiu para aumentos de recursos ou economia de emissões.

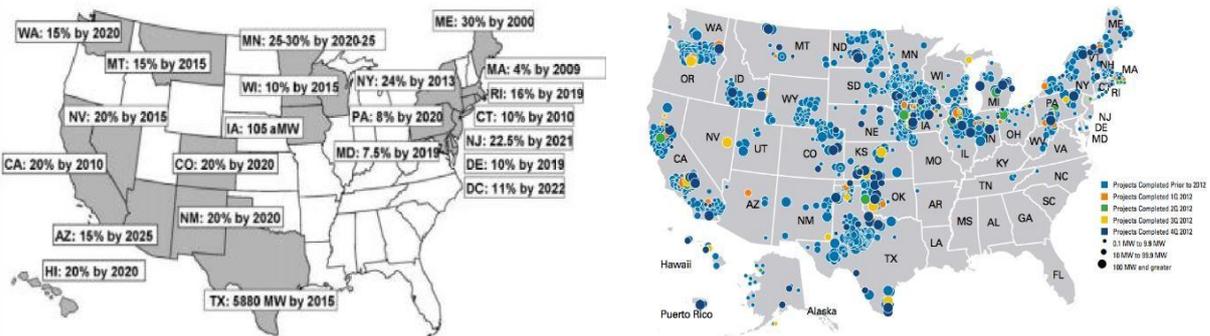
Wiser *et al.* (2007) definem, nos EUA, RPS como um requisito de que os fornecedores de eletricidade de varejo adquiram uma certa quantidade mínima de energia ou capacidade renovável elegível. Para os mesmos autores, semelhante aos demais países citados nesta seção, as RPS foram projetadas para manter e/ou aumentar a contribuição de ER para o mix de fornecimento de energia, estabelecendo metas numéricas e incentivando a concorrência entre os

desenvolvedores de ER para atingir as metas com o menor custo. As obrigações de compra de RPS geralmente aumentam com o tempo, e os fornecedores de varejo normalmente devem demonstrar conformidade anualmente. Por isso, muitos programas RPS utilizam REC negociáveis para aumentar a flexibilidade e reduzir o custo de conformidade com o mandato de compra e para facilitar o rastreamento de conformidade. Portanto, a política RPS possibilita que os REC sejam

gerados em um ambiente legal para o desenvolvimento de ER (Zhang *et al.*, 2022).

A Figura 3 mostra os estados americanos com políticas de RPS em 2007, coloridos de cinza, à esquerda. À direita, são apresentados os projetos eólicos em 2013. Ao analisar os dois mapas, é possível afirmar que há uma concentração maior de projetos nos estados com RPS, do que nos estados sem essa política de metas.

**Figura 3 - Estados com RPS em 2007 e o reflexo de projetos de ER implementados**



Fonte: adaptado de [br.usembassy.gov/](http://br.usembassy.gov/) e de Wiser *et al.* (2007).

Portanto, as políticas estaduais de RPS podem e são projetadas de várias maneiras e a experiência de sua implementação tem sido mista. O crescimento da popularidade das políticas estaduais de RPS também gerou um crescimento substancial da geração renovável e de comercialização de REC.

### 3.3 Certificados de Energia Renovável

Os certificados nos EUA são normalmente chamados de REC, do inglês *Renewable Energy Certificate*. Wiser *et al.* (2007) em seu estudo sobre a política RPS presente nos EUA desde o final da década de 1990, destacam a importância do uso de certificados como política de desenvolvimento de ER. Para Bird, Holt, e Carrol (2008) existem vários motivos pelos quais os consumidores do EUA compram energia verde ou REC, incluindo benefícios ambientais e para saúde (redução de emissões de GEE), diversidade de combustíveis, segurança energética, desenvolvimento econômico local, incentivo ao desenvolvimento de novas tecnologias, proteção de recursos para as gerações futuras e estabilidade dos preços da energia; e, para consumidores não residenciais, benefícios de relações públicas (Holt, 1999; Holt *et*

*al.*, 2001; Blank *et al.*, 2002; Hanson, 2005, *apud* Wiser *et al.* 2007). Bird, Holt e Carrol (2008) enfatizam também que, dentre várias motivações, existe um aumento na preocupação dos consumidores sobre as mudanças climáticas e eles apontam para os benefícios de redução de GEE de suas compras em comunicados à imprensa, em seus *sites* ou em outros materiais que descrevem suas compras.

Em algumas partes dos Estados Unidos, a desregulamentação sobre o consumo de energia elétrica permitiu que os consumidores escolhessem o fornecedor de sua energia elétrica e, assim, comprassem energia verde de seu fornecedor. Em mercados regulamentados, várias concessionárias agora oferecem a seus clientes a oportunidade de comprar energia verde por meio de programas de preços verdes. Mesmo em áreas onde os consumidores não podem comprar energia verde diretamente, os RECs estão disponíveis em todos os consumidores. Embora nenhuma forma de geração de energia elétrica seja completamente benigna, a eletricidade gerada a partir de recursos renováveis, como energia solar, eólica, geotérmica, energia hidrelétrica de pequeno e baixo impacto, e a biomassa, provou ser ambientalmente preferível à

eletricidade gerada a partir de fontes de energia convencionais, como carvão, petróleo, nuclear e gás natural (Sanchez, Garcia e Garcia 2011).

Bistline, Santen e Young (2019) demonstram como as formulações comerciais com REC e ER podem impactar materialmente os resultados do setor de energia no EUA, como decisões de planejamento de capacidade, custos de conformidade, emissões de CO<sub>2</sub> e a distribuição regional do desenvolvimento renovável. Segundo eles, haverá ganhos substanciais de bem-estar, de até US\$ 84 bilhões em termos de valor presente até 2050. Por isso, os RECs são moedas negociáveis dos mercados de mandato renovável e oferecem flexibilidade de conformidade, permitindo que as entidades cobertas negociem atributos ambientais da energia gerada sem necessariamente receber a eletricidade associada.

As entidades obrigadas podem comprar RECs por meio de contratos bilaterais, compras no mercado à vista ou compras de contratos renováveis. A fungibilidade dos RECs significa que, quando o comércio total é permitido, os RECs podem ser trocados entre regiões, dando origem à alocação regional de menor custo de geração renovável. Porém, as limitações na elegibilidade geográfica também podem levar a mercados de REC mais voláteis e menos líquidos (Bistline; Santen; Young, 2019). A falta de uma legislação federal torna complexo o entendimento de REC nos EUA, sob o ponto de vista da legislação de cada estado. Existe, por exemplo, o conflito sobre a elegibilidade de fontes, abordado por Wiser *et al.* (2007), quando analisados alguns estados do EUA e organizações que limitam o uso de biomassa, incineração de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) e recursos hidrelétricos como elegíveis para obtenção de certificados. Já os recursos de energia eólica, solar, geotérmica, de gás de aterro e oceânicos são normalmente elegíveis para cumprir as obrigações de RPS em jurisdições onde tais recursos estão disponíveis (Wiser *et al.*, 2007).

Como as políticas sobre ER existentes nos EUA variam significativamente entre os Estados em relação ao rigor de suas metas, prazos, entidades e outras considerações sobre o projeto de políticas, estes estados têm definições diferentes que exigem a implantação de tipos específicos de recursos (por exemplo, geração distribuída no Colorado, conversão de resíduos em energia na Carolina do Norte) e/ou criar multiplicadores de crédito para tecnologias favorecidas (Bistline; Santen; Young, 2019).

Isso pode gerar um problema. Fluxos inter-

regionais de REC não são triviais e nem sempre o intercâmbio seria a melhor solução (por exemplo, importando REC em vez de construir qualquer capacidade eólica ou solar em uma determinada região). Supondo-se que cada região cumpra suas obrigações de mandato renovável por meio de recursos talvez alocado em outra região, através de REC. Essa aparente solução refletiria em desincentivo para aumentar a capacidade eólica e solar no estado importador, se o valor marginal de uma determinada região bem como restrições de transmissão e encargos de transporte associados ao comércio inter-regional forem baixos (Bistline; Santen; Young, 2019).

A princípio, isso pode gerar um paradoxo. Bistline, Santen e Young (2019) citam como exemplo o estado do Texas, que é um exportador líquido de energia elétrica e vendedor de REC, devido à economia favorável do desenvolvimento eólico solar. As restrições ao comércio de REC ajudariam os geradores estaduais que, de outra forma, se aposentariam (carvão, nuclear) ou não seriam construídos sob mandatos renováveis com comércio de REC ilimitado, o que significa que o Texas busca construções eólicas e solares menos ambiciosas e limita o potencial conjunto de REC elegíveis no mercado nacional. Ao restringir o comércio, conseqüentemente, o valor dos geradores eólicos e solares do Texas será depreciado, levando a um menor investimento.

Por outro lado, importadores líquidos de REC (por exemplo, a região Sudeste Central) são impactados de forma diferente por mandatos com menos flexibilidade comercial. Por exemplo, as proibições de troca de REC levam a maiores construções renováveis na região que, de outra forma, importariam REC. Isso também sugere que uma fração substancial dos benefícios econômicos do intercâmbio REC pode gerar atraso na substituição da matriz energética em estados específicos. Apesar deste problema, Bistline, Santen e Young (2019) citam que restringir o comércio de REC distorcerá a alocação de minimização de custos de ER e aumentará os custos de conformidade, especialmente sob mandatos eólicos e solares rigorosos. Nesse caso, os autores sugerem políticas espacialmente coordenadas entre os estados, com mercados que podem reduzir os custos totais de políticas de US\$ 148 bilhões, Valor Presente Líquido (VPL) até 2050 sem comércio de REC, para US\$ 68 bilhões com comércio de REC. Portanto, eles afirmam que as políticas que apenas restringem ou omitem o comércio correm o risco negligenciar

oportunidades potencialmente significativas para reduzir custos e/ou emissões.

Sobre certificados no Japão, em 2008, o Centro de Certificação de Energia Verde do Japão (GECCJ) foi estabelecido como um ramo de pesquisa de energia econômica, com uma entidade separada independente das empresas de eletricidade, proprietários e compradores. Suas principais responsabilidades estão relacionadas à gestão, verificação e planejamento de desenvolvimento de Certificados de Energia Verde do Japão (GECJ). O GECCJ gerou mais de 2,7 milhões de MWh em GECJ, e mais de 2,6 milhões de MWh foram comercializados de 2008 a 2017 (Chuang *et al.*, 2019). Portanto, o lançamento do esquema RPS+REC abriu o mercado de energia de energia ao setor privado japonês.

Apesar de estar politicamente ausente do Protocolo de Kyoto, Taiwan também tem atuado em políticas para redução de GEE com a inserção de ER em sua matriz energética, devido à necessidade das empresas sediadas em seu território se manterem competitivas no mercado de comércio internacional. A agência do governo de Taiwan emitiu o Programa Piloto Voluntário de Energia Verde (VGPPP) em 2014, para estabelecer canais voluntários de assinatura de aplicativos de energia limpa acessíveis ao público (Chuang *et al.*, 2019).

Porém, semelhantemente ao que acontece no Brasil, como a eletricidade “verde” e a eletricidade “tradicional” são interligadas em uma rede unificada, os usuários finais, que são legalmente obrigados a comprar eletricidade verde e conectados à rede elétrica de Taiwan, não conseguiram verificar a quantidade de eletricidade verde que compraram para atender necessidades de negócios ou demanda regulatória. Isso desencadeou o término do programa após apenas três anos de sua implementação. No lugar, a mesma agência adotou o sistema internacional de certificação (REC) e lançou sua própria versão, chamada Taiwan REC (ou TREC) em 2017. De acordo com o Centro de Certificação de ER de Taiwan, em maio de 2018, um total de 29.339 T-RECs foram emitidos, enquanto apenas 448 certificados foram comercializados.

A China iniciou a assinatura voluntária de REC em 2017. O *Plano de Desenvolvimento de Médio e Longo Prazo de Energia Renovável* exige que o consumo de ER represente mais de 15% do consumo total de energia e, por isso, para os consumidores, a aquisição do REC é uma forma importante de atingir esse objetivo. Desde a sua

criação, até 16 de fevereiro de 2020, mais de 27 milhões de certificados verdes foram emitidos, porém apenas 36 mil foram vendidos, representando somente 0,13%. Um dos principais motivos é o alto custo – o preço médio do certificado é de 666,4 RMB para energia solar e 177,4 RMB para energia eólica – em comparação com os preços voluntários do REC inferiores a US\$ 1/MWh (~7 RMB/MWh) nos EUA (Wang *et al.*, 2021).

Para Tao *et al.* (2021), os compradores não podem decidir o tipo de energia que irá consumir, mas pagam dinheiro extra para apoiar a produção de ER e assumir responsabilidade social. Isso gera falta de motivação de compra e é o motivo pelo qual a taxa de assinatura de REC não é alta em alguns países, como o Japão, China e Taiwan, e, por seu estudo realizado, na Austrália. Por isso, em sua análise é proposto que os geradores térmicos comprem RECs que são convertidos em cotas, o que irá reduzir a produção deste tipo de equipamento. Usando teoria dos jogos em seus estudos, Tao *et al.* (2021) reafirmaram o que foi citado por outros autores, que a comercialização de REC pode contribuir preferencialmente para a penetração de ER em larga escala. Do ponto de vista do retorno, os RECs ajudariam as usinas de ER a aumentar sua receita em 19,4% e, com a venda de REC, obter um lucro extra de 36 milhões de dólares australianos (AU).

Apesar deste mecanismo ainda estar em fase de testes em muitos países, a motivação de compra tende a gerar mais RECs e no futuro, quando este mercado estiver bem desenvolvido, o preço dos RECs dependerá totalmente da negociação no mercado, e não da formulação do governo. Cria-se, neste contexto, um mercado de REC junto com um mercado de compensação de carbono, que será discutido nas seções seguintes.

### 3.4 União Europeia e a diretiva RES

Diante da Implementação na União Europeia da Diretiva para a Promoção de Fontes de Energia Renováveis (chamada de “diretiva RES”), sob o nº 2009/28/CE, revisada em 2018 para o estabelecimento de uma meta comum, fixada em 32% para a quantidade de ER no consumo de energia da UE até 2030, Blindheim (2015) estudou como são emitidos os RECs na Noruega e na Suécia. Embora a Noruega não seja membro da UE, ela está comprometida com os regulamentos da UE em questões de energia, por meio do acordo do Espaço Econômico Europeu, e possui

uma meta doméstica separada de redução de GEE. Estes dois países introduziram um esquema comum de certificados de energia, chamados de “certificados verdes”, para promover a ER. O mercado comum é o primeiro exemplo europeu de dois países que implementaram um esquema de apoio comum para cumprir objetivos nacionais separados para as ERs.

Em sua análise, Blindheim (2015) pretendia discutir a redução de emissões domésticas de GEE até 2020 e suas conclusões foram outras: apesar do impacto nas emissões domésticas ser limitado com a comercialização de certificados, o mercado de REC trouxe nova capacidade de produção renovável para o sistema energético. Como, por exemplo, o excedente de eletricidade renovável na Noruega que pode ser usado para eliminar gradualmente os combustíveis fósseis no setor de transporte. Além disso, especialmente na Suécia, o aumento da capacidade de produção renovável tem sido amplamente utilizado para cobrir o aumento de seu consumo de energia, garantindo o cumprimento de suas metas de redução de emissão de GEE.

Schusser e Jaraité (2018) também analisaram o Sistema de Comércio de Emissões da União Europeia (EU ETS) e o Sistema Sueco-Norueguês de Certificados Verdes Negociáveis (TGC), do inglês *Tradable Green Certificates*, e reafirmam o que já foi citado por outros autores: que os dois instrumentos são baseados no mercado e que têm os objetivos sobrepostos de mitigar as emissões de gases de efeito estufa (GEE) mudando as economias para fontes de energia mais limpas.

Também baseados na diretiva da UE 2009/28/EC, Mysiac *et al.* (2015) revisam a combinação de instrumentos de política econômica, concebidos separadamente e, pelo menos em parte, para diferentes propósitos, mas todos atuando em conjunto de forma que o potencial hidrelétrico seja explorado na Itália. Ele cita novamente a tarifa de alimentação (FIT) e certificados de energia verde especialmente negociáveis (*Green Energy Certificates - GEC*) como formas de aumentar a concorrência do lado da oferta entre as fontes de ER e reduzir custos. Embora os governos da UE tenham implantado distintas políticas domésticas para cumprir suas metas de ER para 2020 (e agora 2030) e, conseqüentemente, reduzir a dependência energética, os esquemas de Tarifas *Feed-In* (FIT) e Certificados Verdes Negociáveis (TGC) são os mais comuns.

A Itália adotou em 2015 o sistema FIT, ao contrário de alguns países que estão desativando este sistema. A Polônia também se afastou da proposta de certificado verde (em vigor desde 2005) e o substituiu pelo sistema FIT para promover ER (Schusser; Jaraité, 2018). Isso torna o sistema de certificados verdes negociáveis sueco-norueguês (sistema TGC) o maior e mais abrangente sistema de cotas verdes da Europa e o único sistema que vem se expandindo de um sistema binacional para um sistema internacional. Como o mercado de eletricidade dos países nórdicos já é um mercado único integrado, houve uma discussão para expandir o sistema TGC sueco-norueguês, integrando nele a Dinamarca e a Finlândia (Schusser; Jaraité, 2018). De acordo com os mesmos autores, caso o modelo sueco-norueguês se estenda à UE, o preço da compensação do carbono, praticado no mercado europeu, afetará positivamente os preços dos certificados, o que demonstra a correlação entre ER, REC e mercado de carbono. Portanto, a geração de energia baseada em ER afeta os preços da energia elétrica também por meio de sua influência nos preços do carbono. Conseqüentemente, o efeito direto da ordem de mérito do sistema TGC incentiva a substituição da geração de energia baseada em combustível fóssil pela geração de energia baseada em fontes de ER (Schusser; Jaraité, 2018).

Porém, como já apresentado em outros países nesse estudo, o uso de certificados não resolve todos os problemas e requer atenção. Carton (2016) fez um estudo debatendo o que chamou de “neoliberalismo verde” para o campo da política de ER, analisando as experiências com o mercado de TGC em Flandres, Bélgica. Ele reafirma o conceito da diferença entre FIT e TGC. A primeira é uma política orientada por preço e a segunda é orientada por quantidade, que deixa a precificação para o próprio mercado. A neutralidade tecnológica foi uma das principais razões pelas quais o governo flamengo optou por um esquema TGC.

Segundo Carton (2016), os produtores de energia que participam nos mercados de TGC acumulam rendas consideráveis e são geralmente muito mais rentáveis do que os produtores que operam sob as políticas de FIT. A alegação de neutralidade tecnológica foi uma das principais construções ideológicas que sustentaram as práticas dos mercados de TGC. Ela permitiu que os produtores de ER capitalizassem as instalações existentes, ou seja, os investimentos históricos em

energia a carvão há muito amortizados, como uma solução fácil, rápida e de baixo custo para alcançar as cotas de energia renovável do governo. Por isso, semelhante ao que foi exposto sobre a elegibilidade das fontes nos EUA, há uma crítica neste estudo de caso ao observar que a energia proveniente de Biomassa (renovável), em substituição ao carvão, deriva em alguns casos da compatibilidade de uma determinada tecnologia com a infraestrutura energética existente, ou seja, no caso flamengo com as instalações de produção, cadeias de distribuição e logística da energia do carvão. Em seu ponto de vista, há uma supervalorização do TGC que deve ser discutida. A correção dessas deficiências exigiu uma série de intervenções políticas por parte do governo flamengo que, fundamentalmente, afastou o esquema do princípio da neutralidade tecnológica e adotou um sistema de apoio de ER mais híbrido, sugerindo que a promoção da neutralidade tecnológica foi fundamentalmente equivocada (Carton, 2016).

Sayago e Rodriguez (2012) explicam que o Mercado Europeu de Transação de Emissões (EUETS) é feito, em sua maioria, através de um sistema de *cap and trade*, o que significa que se as emissões de uma determinada instalação excederem o limite máximo estabelecido pelas autoridades do seu país, a instalação deve comprar licenças de emissão no mercado. Países em desenvolvimento, por exemplo, a Colômbia, não possuem compromissos de redução de poluição no protocolo de Kyoto, porém, a redução e captura de emissões de GEE por meio do MDL oferece ao país a oportunidade de cooperação e negócios com governos e empresas de países industrializados, que contribuam para reduzir as causas do fenômeno das mudanças climáticas e coloquem o país no caminho do desenvolvimento sustentável.

### 3.5 Mercado de carbono aliado ao REC

Existem dois tipos principais de mercados de carbono: os Mercados de Conformidade e os Mercados Voluntários (MV). O primeiro, conhecido como mercado de *compliance*, é regulado por autoridades que impõem regimes obrigatórios para a redução de carbono, seja em nível nacional, regional ou internacional. Nesses mercados, são estabelecidos limites para a quantidade de toneladas de CO<sub>2</sub> (tCO<sub>2</sub>) que podem ser emitidas em um determinado período. Essas licenças são negociadas (compradas e vendidas) entre as

partes que devem cumprir seus compromissos, dando fluidez à troca de CO<sub>2</sub> (Sayago; Rodriguez, 2012).

Para cumprir seus limites de emissão, as empresas em um mercado de *compliance* também podem adquirir outros tipos de créditos de carbono, dentre os quais se destacam os RECs, como os créditos de carbono mais negociados após as licenças (Sayago; Rodriguez, 2012). Os MVs são os mais utilizados e ocorrem principalmente em países que não ratificaram o Protocolo de Kyoto. Nele se incluem todas as trocas de compensação de carbono que não são exigidas por lei. O Brasil, neste caso, conforme introdução deste artigo, se enquadra neste mercado.

Tao *et al.* (2021), destacam que os principais compradores de REC são os consumidores de eletricidade e que, a princípio, os compradores não podem obter receitas econômicas diretas. Porém, como é restrita a permissão de emissão de Gases de Efeito Estufa (GEE) dos geradores térmicos convencionais, para controle de emissão de GEE, existe um Sistema de Comércio de Emissões (ETS) operado em muitos países, como Estados Unidos, Japão, Canadá e UE. Como resultado, as usinas de energia renovável tiveram um aumento acentuado nas últimas décadas, desencadeado pelo mercado de carbono e pelo uso de REC. Tao *et al.* (2021) ainda explicam que ETS e RECs são dois métodos, aparentemente independentes, cujas interações devem ser amplamente investigadas. Essa sinergia pode ser observada, por exemplo, na atual política pública chinesa.

Na China, as usinas a carvão precisam comprar TGC para cumprir sua obrigação de cotas, por isso a implementação do RPS derivou na criação de novo mercado, chamado de mercado TGC. Chuang *et al.* (2019) analisaram algumas implementações de sistemas de RECs, que enfrentaram vários obstáculos e que levaram a falhas no mercado de certificados. Ao compreender os caminhos percorridos em cada um dos casos, os autores propõem uma estratégia conceituada retratada pelo modelo consolidado para mostrar as ligações entre um mercado de renováveis e um mercado de carbono. Por isso, a fim de estimular a transformação de baixo carbono do setor de energia, a China também implementou recentemente a Emissão Nacional de Carbono Negociável de Licenças (TEP), do inglês *Tradable carbon emission permits*, e de Certificados de Eletricidade Renovável (REC) sob limites de carbono obrigatórios e metas de Padrões de

Portfólio Renováveis (RPS) simultaneamente (Wang *et al.*, 2021). Os mercados maduros de TEP e REC são abertos não apenas aos responsáveis compradores, que têm a obrigação de adquirir licenças ou certificados para cumprirem suas metas políticas, mas também indivíduos e empresas que estejam dispostos a comprar voluntariamente. Por exemplo, empresas técnicas como *Apple* e o *Google* anunciaram uma meta de 100% de energia renovável para suas operações globais. Uma vez que a compra de eletricidade renovável não é suficiente ou pode ser mais onerosa para atingir sua meta, as empresas precisam comprar REC para atingir seus objetivos (Wang *et al.*, 2021). Essa regulação tenta corrigir uma prática malsucedida de emissão de RECs voluntários da China.

Em termos de excedente produzido, a implementação do sistema RPS pode não apenas reduzir o custo de produção dos fabricantes de energia verde alocados na indústria, mas também reduzir a influência externa negativa dos fabricantes de energia de carvão no meio ambiente. Além disso, a energia verde pode ser convertida em TGC e comercializada no mercado de TGC, reduzindo significativamente os custos conectados à rede das usinas verdes e os custos de transmissão e distribuição das usinas a carvão (Ying *et al.*, 2021).

Por isso, para Wang *et al.* (2021), o REC deve ser incentivado com a política TEP, que possibilita um mercado de carbono. A implementação de dois mercados juntos pode reduzir significativamente o preço em ambos os mercados em comparação com cenários de mercado não coordenados. Portanto, a segunda vantagem da coordenação de mercado é a crescente acessibilidade para compradores, chamados de voluntários.

#### 4 CONCLUSÃO

A análise dos Certificados de Energia Renovável (REC) revela seu papel fundamental na transição para uma matriz energética mais sustentável e na promoção de práticas de baixo carbono, atuando como mecanismos de fomento para a inserção de maior participação de energias renováveis em determinada matriz energética e, em alguns casos, como moedas de créditos no mercado de carbono, através do *cap and trade*.

Por meio da presente revisão sistemática da literatura, ficou evidente que os RECs não apenas facilitam a rastreabilidade da energia limpa, mas também incentivam investimentos em fontes

renováveis, contribuindo para a mitigação das emissões de gases de efeito estufa. A flexibilidade proporcionada pelos RECs permite que entidades e países atendam suas metas de sustentabilidade de maneira mais eficiente, promovendo um mercado de energia renovável mais dinâmico e interconectado.

Além disso, a pesquisa destacou a necessidade de um marco regulatório mais robusto e harmonizado, especialmente em contextos como o dos Estados Unidos, onde a falta de legislação federal pode gerar incertezas e volatilidade nos mercados de RECs. A experiência de diferentes países na implementação desses certificados oferece lições valiosas que podem ser adaptadas e aplicadas em outras regiões, especialmente em face da iminente criação de mercados de carbono e mecanismos de compensação de emissões. No Brasil o mercado ainda é voluntário e embrionário, quando o REC é utilizado como crédito de carbono, com a finalidade de compensação, apesar da vigência da PNMC e do Decreto Federal nº 11.075/2022. Sugere-se como desdobramento deste estudo o monitoramento de um mercado do tipo *cap and trade*, nos moldes do MDL, que poderá fazer com que as empresas se posicionem como propiciadoras de reduções de emissão, devido ao alto potencial de geração de energia renovável no Brasil, que trará consigo eventuais oportunidades de negócios potencializadas quando houver uma regulamentação no país sobre o tema.

A falta de uniformidade nas legislações e a variabilidade nas práticas de mercado podem criar barreiras que dificultam a expansão do uso de energia renovável. Portanto, é imperativo que os formuladores de políticas considerem as lições aprendidas a partir das experiências de diferentes países, promovendo um ambiente que favoreça a adoção de práticas sustentáveis. Portanto, a promoção e a regulamentação eficaz dos Certificados de Energia Renovável são essenciais para alcançar os objetivos globais de sustentabilidade e para a construção de um futuro energético mais limpo e resiliente.

A continuidade do estudo nesta área é essencial para aprofundar o conhecimento sobre as dinâmicas do mercado de energia renovável e para desenvolver estratégias eficazes que incentivem a adoção de práticas sustentáveis em escala global. A intersecção entre os RECs, a inovação tecnológica e as políticas públicas serão fundamentais para garantir um futuro energético mais limpo, resiliente e sustentável.

## REFERÊNCIAS

- BENTO, Antonio M.; KANBUR, Ravi; LI, Benjamin; YANG, Daniel. Emissions reductions or green booms? General equilibrium effects of a renewable portfolio standard. **SSRN Electronic Journal**, v. 92, p. 259-280, 2018. Disponível em: <https://ssrn.com/abstract=3176833>. Acesso em: 17 jul. 2023.
- BIRD, Lori A.; HOLT, Edward; CARROLL, Ghita Levenstein. Implications of carbon cap-and-trade for US voluntary renewable energy markets. **Energy Policy**, [S.L.], v. 36, n. 6, p. 2063-2073, jun. 2008. Elsevier BV. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2008.02.009>. Acesso em: 19 jul. 2023.
- BISTLINE, John; SANTEN, Nidhi; YOUNG, David. The economic geography of variable renewable energy and impacts of trade formulations for renewable mandates. **Renewable And Sustainable Energy Reviews**, [S.L.], v. 106, p. 79-96, mai. 2019. Elsevier BV. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2019.02.026>. Acesso em: 19 jul. 2023.
- BLINDHEIM, Bernt. A missing link? The case of Norway and Sweden: does increased renewable energy production impact domestic greenhouse gas emissions? **Energy Policy**, [S.L.], v. 77, p. 207215, fev. 2015. Elsevier BV. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2014.10.019>. Acesso em: 10 jul. 2023.
- BRASIL, **Lei nº 12.187, de 29 de dezembro de 2009**. Institui a Política Nacional sobre Mudança do Clima - PNMC e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 30 dez. 2009. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2009/lei/l12187.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2009/lei/l12187.htm). Acesso em: 08 jul. 2023.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Agência Nacional de Energia Elétrica. **Micro e Mineração Distribuída**. Publicado em: 10 fev. 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/geracao-distribuida>. Acesso em: 9 jul. 2023.
- CARTON, Wim. Money for nothin' and coal for free: 'technology neutrality' and biomass development under the flemish tradable green certificate scheme. **Geoforum**, [S.L.], v. 70, p. 69-78, mar. 2016. Elsevier BV. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.geoforum.2016.02.010>. Acesso em: 20 jul. 2023.
- CHUANG, Jules *et al.* Consolidated Climate Markets Mechanism Analysis—Case Studies of China, Japan, and Taiwan. **Sustainability**, [S.L.], v. 11, n. 22, 6478, 18 nov. 2019. MDPI AG. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.3390/su11226478>. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/su11226478>. Acesso em: 21 jul. 2023.
- DONG, Fugui *et al.* Study on China's Renewable Energy Policy Reform and Improved Design of Renewable Portfolio Standard. **Energies**, [S.L.], v. 12, n. 11, 2147, 4 jun. 2019. MDPI AG. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.3390/en12112147>. Acesso em: 20 jul. 2023.
- ELSEVIER. SCOPUS: a maior base de dados de resumos e citações de literatura revisada por pares. 2016. Disponível em: <https://www.elsevier.com/pt-br/solutions/scopus>. Acesso em: 23 JUL. 2023.
- GODOY, Sara Gurfinkel Marques de; PAMPLONA, João Batista. O Protocolo de Kyoto e os Países em Desenvolvimento. **Pesquisa & Debate**, São Paulo, v. 18, n. 2, p. 329-353, 27 ago. 2007. Semestral. Disponível em: <https://revistas.pucsp.br/index.php/rpe/article/view/11774/8496>. Acesso em: 21 jul. 2023.
- INSTITUTO TOTUM - Brasil (org.). **I-REC**. 2021. Disponível em: <https://www.institutototum.com.br/index.php/servicos/273-i-rec?jij=1659554972520>. Acesso em: 9 jul. 2023.
- LI, Ting-Ting *et al.* ESG: Progresso da Pesquisa e Perspectivas Futuras. **Sustainability**, [S. ], v. 13, n. 21, p. 1-28, 21 out. 2021. 11663. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/su132111663>. Acesso em: 10 jul. 2023.

MYSIAK, Jaroslav et al. Green Energy Certificates and Compliance Market. **Use of Economic Instruments in Water Policy**, [S.L.], v. 14, n. [], p. 171-184, jan. 2015. Springer International Publishing. Disponível em: [http://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-18287-2\\_12](http://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-18287-2_12). Acesso em: 25 jul. 2023

REC BRAZIL. Programa Brasileiro de Certificação de Energia Renovável. São Paulo: Instituto Totum. 2021. Disponível em: <https://institutototum.com.br/totum-services/rec-brazil/>. Acesso em: 02 fev. 2024.

REDECKER, Ana Cláudia; TRINDADE, Luiza de Medeiros. Práticas de ESG em Sociedades Anônimas de capital aberto: Um diálogo entre a função social instituída pela lei nº6.404/76 e a geração de valor. **Revista Jurídica Luso-Brasileira**, Lisboa, v. 2, n. 7, p. 59-126, abr. 2021. Bimestral. Disponível em: [https://www.cidp.pt/revistas/rjlb/2021/2/2021\\_02\\_0059\\_0125.pdf](https://www.cidp.pt/revistas/rjlb/2021/2/2021_02_0059_0125.pdf). Acesso em: 19 jul. 2023.

SANCHEZ, L. E.; GARCIA, A. A.; GARCIA, J. A. The role of renewable energy in the energy transition: A review of the literature. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 14, n. 1, p. 1-12, 2010. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S096014811000412X>. Acesso em: 09 jul. 2023.

SAYAGO, Jhon Alexander Méndez; RODRIGUEZ, Carol Andrea Perugache. Causalidad y sensibilidad entre precios de los derechos de emisión europeos y los certificados de reducción de emisiones de mecanismos de desarrollo limpio en el mercado europeo de transacción de emisiones. **Estudios Gerenciales**, Cali, Universidad ICESI, v. 28, n. 124, p. 141-167, jul. 2012. Disponível em: [http://dx.doi.org/10.1016/s01235923\(12\)70220-6](http://dx.doi.org/10.1016/s01235923(12)70220-6). Acesso em: 10 jul. 2023.

SCHUSSER, Sandra; JARAITÉ, Jüraté. Explaining the interplay of three markets: green certificates, carbon emissions and electricity. **Energy Economics**, [S.L.], v. 71, p. 1-13, mar. 2018. Elsevier BV. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.eneco.2018.01.012>. Acesso em: 20 jul. 2023.

SUTTON, Isabel. Germany: will the end of feed-in tariffs mean the end of citizens-as-energy-producers. **Energy Post**, 3 jun. 2021. Disponível em: <https://energypost.eu/germany-will-the-end-of-feed-in-tariffs-mean-the-end-of-citizens-as-energy-producers/>. Acesso em: 27 out. 2023.

TAO, Yuechuan et al. Renewable energy certificates and electricity trading models: bi-level game approach. **International Journal of Electrical Power & Energy Systems**, [S.L.], v. 130, n. 1, 106940, p. 1-13, set. 2021. Elsevier BV. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijepes.2021.106940>. Acesso em: 23 jul. 2023.

WANG, Ge et al. Coordination of tradable carbon emission permits market and renewable electricity certificates market in China. **Energy Economics**, [S.L.], v. 93, 105038, p. 1-12, jan. 2021. Elsevier BV. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.eneco.2020.105038>. Acesso em: 22 jul. 2023.

WISER, Ryan et al. The Experience with Renewable Portfolio Standards in the United States. **The Electricity Journal**, [S.L.], v. 20, n. 4, p. 8-20, mai. 2007. Elsevier BV. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.tej.2007.03.009>. Acesso em: 20 jul. 2023.

YING, Zhou et al. Can the Renewable Portfolio Standards improve social welfare in China's electricity market? **Energy Policy**, [S.L.], v. 152, 112242, mai. 2021. Elsevier BV. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2021.112242>. Acesso em: 19 jul. 2023.

ZHANG, Yidi et al. Impacts of renewable portfolio standard on carbon emission peaking and tradable green certificate market: a system dynamics analysis method. **Frontiers In Energy Research**, [S.L.], v. 10, p. 1-13, 22 jul. 2022. Frontiers Media SA. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.3389/fenrg.2022.963177>. Acesso em: 20 jul. 2023.