



Latin American Journal of Energy Research – Lajer (2021) v. 8, n. 1, pp. 46–58
<https://doi.org/10.21712/lajer.2021.v8.n1.p46-58>

Inter-relações entre políticas de estímulo aos biocombustíveis, eficiência energética e mitigação das mudanças climática: Uma análise sinérgica com foco no Programa Brasileiro RenovaBio

Interrelationships. between policies to encourage biofuels, energy efficiency and climate change mitigation: A synergistic analysis focusing on the Brazilian RenovaBio Program

Laércio Kutianski José Romeiro¹, André Felipe Simões^{2*}, Rodrigo Massao Kurita³

¹Pesquisador Sênior atuante no Grupo de Prevenção à Poluição (GP2) da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – POLI/USP. Doutorando em Sustentabilidade na Escola de Artes, Ciências e Humanidades, Universidade de São Paulo – EACH/USP.

²Professor Doutor Livre Docente da Escola de Artes, Ciências e Humanidades, Universidade de São Paulo – EACH/USP.

³Bacharelado em Gestão Ambiental pela Escola de Artes, Ciências e Humanidades da Universidade de São Paulo – EACH/USP.

*Autor para correspondência, E-mail: afsimoes@usp.br

Received: 30 April 2020 | Accepted: 10 June 2020 | Published online: 13 July 2020

Resumo: O Brasil, que possui matriz energética tipicamente renovável e como um dos líderes mundiais em produção de biocombustíveis aprovou, em 2017, a implantação de uma política de fomento aos biocombustíveis correlata à redução das emissões de Gases do Efeito Estufa (GEE), por meio do Programa RenovaBio. Tal iniciativa brasileira corrobora a importância crescente que diversos países têm mostrado ao inserir em seus programas econômicos metas de redução das emissões de GEE; urge frisar, porém, que os combustíveis fósseis ainda representam um “*driver*” para a maioria dos polos econômicos. O objetivo do presente trabalho, de caráter exploratório, é analisar, sinérgicamente, eventuais discrepâncias tecnológicas, regulatórias e econômicas entre países desenvolvidos e países em desenvolvimento no contexto de políticas vinculáveis aos biocombustíveis. Almeja-se, também, contribuir para a compreensão ampliada sobre o papel da eficiência energética (EE) e dos biocombustíveis para o estabelecimento de uma economia de baixo carbono. Como percurso metodológico, empreendeu-se a uma aprofundada revisão bibliográfica sistêmica. Os resultados do presente trabalho apontam que o Programa RenovaBio representa significativo avanço em prol da sustentabilidade forte. Porém, comparativamente aos EUA, por exemplo, o Brasil tem de investir muito mais em desenvolvimento científico e tecnológico em prol dos biocombustíveis de primeira e de segunda geração, os quais são intrinsecamente menos impactantes ao meio ambiente; os resultados deste investimento em ciência, poderiam ser direcionados ao aprimoramento do próprio RenovaBio. Constatou-se, ainda, que o delineamento e realização de uma economia de baixo carbono que priorize substancial redução da emissão global de GEE ao logo do corrente século XXI, inexoravelmente, necessita cotejar medidas de EE alicerçadas em políticas de fomento à produção e ao consumo de biocombustíveis, associadas a políticas focadas na gradativa, porém, consistente substituição parcial dos combustíveis fósseis pelos biocombustíveis.

Palavras-chave: Mitigação das mudanças climáticas, Eficiência Energética, Biocombustíveis, Programa Brasileiro RenovaBio, Acordo de Paris.

Abstract: Brazil, which has a typically renewable energy matrix and as one of the world leaders in biofuel production, approved, in 2017, the implementation of a policy to promote biofuels related to the reduction of Greenhouse Gas (GHG) emissions through the RenovaBio Program. This Brazilian initiative confirms the growing importance that several countries have shown by inserting goals to reduce GHG emissions in their economic programs; it must be stressed, however, that fossil fuels still represent a “*driver*” for most economic hubs. The objective of this exploratory work is to analyze, synergistically, possible technological, regulatory, and economic discrepancies between developed and developing countries in the context of

policies linked to biofuels. It is also intended to contribute to a broader understanding of the role of energy efficiency (EE) and biofuels in establishing a low carbon economy. As a methodological path, an in-depth systemic literature review was undertaken. The results of this work show that the RenovaBio Program represents a significant advance towards strong sustainability. However, compared to the US, for example, Brazil has to invest much more in scientific and technological development in favor of first and second-generation biofuels, which are intrinsically less impactful on the environment; the results of this investment in science could be directed towards improving RenovaBio itself. It was also noted that the design and realization of a low carbon economy that prioritizes the substantial reduction of global GHG emissions throughout the current 21st century, inevitably, need to compare EE measures based on policies to promote production and consumption biofuels, associated with policies focused on the gradual, but consistent partial replacement of fossil fuels by biofuels.

Keywords: Climate Change mitigation. Biofuels. Energy Efficiency. Brazilian's Renovabio Program. Paris Agreement.

1. Introdução

Apesar da crise financeira de influência global de 2007-2008 (a qual foi precipitada por uma “bolha” no mercado de residências dos EUA e pela falência do tradicional banco de investimentos estadunidense Lehman Brothers, o que gerou efeito dominó deletério em outras grandes instituições financeiras, em processo que ficou conhecido como “crise dos *subprimes*”), de modo geral, os países (desenvolvidos e, em especial, economias emergentes, como a China e a Índia), têm evidenciado um crescimento econômico contínuo, o qual, em especial no caso de economias asiáticas emergentes (China e Índia, Coréia do Sul, basicamente) ocorre com base na expansão, também contínua e crescente, do consumo de total de energia primária (ver Figura 1). De fato, em 2008, o consumo global de energia primária (incluindo todas as fontes energéticas fósseis e as energias renováveis para finalidades diversas, incluindo a geração de eletricidade) foi de 11,71 Giga toneladas equivalentes de petróleo (tep); e, dez anos depois, em 2018, este consumo atingiu o patamar de 13, 86 G tep – significando, portanto, o expressivo crescimento acumulado de 18,4% no período (BP, 2019). Esta conjuntura só foi estancada, recentemente, devido ao advento da Pandemia de COVID-19. No caso do Brasil, porém, a crise econômica em agravamento desde 2014, impôs redução no consumo total de energia primária.

De fato, segundo o mais recente Balanço Energético Nacional (ano base 2019), em 2014, este consumo, em 2014, no Brasil, foi de 265, 3 M tep; já em 2019, este consumo de energia primária, no país, atingiu o patamar de 259, 9 M tep (EPE, 2020). Evidentemente, o atual contexto de Pandemia de COVID-19 está impingindo certa redução na demanda nacional e global por energia primária, em especial aquela de base fóssil. E, assim, de modo correlato, as emissões de CO₂ tendem a se reduzir, porém, não a ponto de atenuar o aquecimento global, devido ao efeito cumulativo associado à concentração de GEE na atmosfera terrestre (Marques, 2020). Desde a publicação do Relatório Stern, em 2006 e, a partir de regulamentações intrínsecas ao Acordo de Paris, a Eficiência Energética (EE), a qual consiste na otimização da quantidade de energia empregada em uma atividade e aquela disponibilizada para sua realização, tem sido mencionada como ferramenta importante no contexto de redução de consumo de energia e, mais especificamente, no que tange à busca por reduções na intensidade de energia por PIB. Este contexto guarda relação direta com a busca por economicidade otimizada, com a construção da transição energética e com o enfrentamento das mudanças climáticas e de seu mais proeminente fenômeno, o aquecimento global (BP, 2019; IEA, 2020). Destarte, muitos países têm incluído a EE como requisito adicional de políticas públicas voltadas ao abatimento das emissões antrópicas de CO₂ (Stern, 2006).

Quanto às emissões brasileiras de GEE, frisa-se que, mesmo no vigente contexto de crise econômica agravada pela Pandemia de COVID-19, centralmente, devido ao relevante aumento das taxas de desmatamento nos biomas Pantanal e Amazônia (principalmente) e em vista do acionamento crescente e contínuo das usinas termelétricas a carvão mineral, gás natural e a óleo Diesel (ou seja, formas de geração energética tipicamente carbono intensivas e poluentes) para fins de garantia ao atendimento da demanda elétrica nacional, verifica-se aumento destas emissões desde 2010 (Seeg, 2020). De fato, em 2010, as emissões de GEE pelo Brasil eram da ordem de 1,7 Gt CO_{2e}, em 2019, esta emissão atingiu o patamar de 2,18 Gt CO_{2e} – o que significa o relevante crescimento acumulado de 28,2% no período (Seeg, 2020).

As metas do Acordo de Paris indicam que as emissões GEE devem ficar limitadas a 1.000 Gt CO_{2e} até o fim do corrente século XXI, ou seja, até 2100, para manter em mais de 50% as chances de conter o aumento da temperatura média da superfície do planeta em até 2 °C (IPCC, 2018). Para isso, é preciso que as emissões mundiais caiam dos atuais 50 Gt CO_{2e}, ao ano, para a faixa de 30 a 15 Gt CO_{2e}, ao ano, até

2050; caso contrário, em duas décadas, já teremos ultrapassado o limite acordado (Coalizão Brasil, 2018). Frisa-se que este necessário esforço em prol de que não seja ultrapassada a citada temperatura de 2 °C, até 2100, se relaciona, de modo visceral, com a manutenção e capacidade de funcionamento harmônico e eficaz do próprio tripé característico do desenvolvimento sustentável, o qual coteja três dimensões basilares: social, econômica e ambiental. Em verdade, na medida que o que está em jogo é a manutenção do equilíbrio e da funcionalidade dos ecossistemas, este necessário empenho, com objetivo de se reduzir amplamente as emissões globais de GEE até 2100, se relaciona com a própria sobrevivência da espécie humana na Terra (ao menos no contexto da pujança e presenças atuais desta espécie no planeta).

Neste sentido, não despositadamente, os 17 Objetivos do Desenvolvimento Sustentável¹(ODS), em muitos aspectos e contextos, se relacionam amplamente com o enfretamento das mudanças climáticas e, de modo correlato, com a mitigação das emissões antrópicas de GEE à atmosfera terrestre. Assim, por exemplo, o ODS 7 (Garantir o acesso à energia acessível, confiável, sustentável e moderna para todos; no qual, nitidamente, se acoplam os biocombustíveis desde que o tripé da sustentabilidade seja cotejado) e o ODS 13 (Tomar medidas urgentes para combater as mudanças climáticas e seus impactos) são explícitos e emblemáticos neste sentido; porém, todos os 17 ODS interagem, de um modo ou de outro, com este necessário empenho da humanidade ao longo do presente século XXI. Frisa-se que o presente trabalho se relaciona diretamente ao atingimento dos citados ODS 7 e ODS 13. Destarte, cada vez mais os países que assinaram e ratificaram o Acordo de Paris sinalizam que vão internalizar as metas de redução de GEE nos programas nacionais; e, em boa medida, isto pode ser constatado por meio das políticas públicas de Baixo Carbono já implementadas na maior parte dos países desenvolvidos (IEA, 2021).

Em muitos casos ocorre incentivo ao aumento do uso de biocombustíveis e da bioeletricidade interligados com uma política de Eficiência Energética (EE). O Brasil, neste contexto, está inserido em um pequeno grupo de países que possuem matriz energética tipicamente renovável; destarte, no caso brasileiro, em 2019, 46,1% da matriz de oferta de energia primária referiu-se à participação das energias renováveis (EPE, 2020), o que é notadamente dispare em relação à matriz energética representativa da média mundial, a qual se caracteriza por ser, centralmente, de origem fóssil – de fato, em 2019, 13,9% desta matriz global foi composta pelas energias renováveis (EPE, 2020; IEA, 2021). Outrossim, é importante considerar que apesar da crescente relevância que diversos países têm mostrado ao inserir em seus programas econômicos objetivos de redução de emissões de gases de efeito estufa (GEE), o combustível de origem fóssil ainda é um “*driver*” para maioria dos polos econômicos. Sob a égide de tais considerações, o objetivo do presente trabalho, de caráter exploratório e com foco em políticas endereçadas ao fomento da oferta e do consumo de biocombustíveis no Brasil e em blocos de países, é analisar, sinergicamente, eventuais discrepâncias tecnológicas, regulatórias e econômicas entre países desenvolvidos e países em desenvolvimento. Concomitantemente, objetiva-se contribuir para a compreensão ampliada sobre o papel da eficiência energética e dos biocombustíveis para o estabelecimento, em nível global, de uma economia de baixo carbono.

2. Metodologia

Como percurso metodológico, empreendeu-se a uma aprofundada revisão bibliográfica sistêmica como base vis-à-vis o escopo do estado da arte acerca do tema e extrair a síntese de informações acionáveis e aplicáveis. Ressalta-se que nesta revisão bibliográfica foram consultados manuscritos publicados em periódicos revisados por pares (*blind review*) e disponíveis em bases de dados de respaldo científico, como *Web of Science*, *Scielo* e *Scopus*, além de dados nacionais e internacionais de agências nacionais e internacionais focadas no setor energético, tais como o Ministério de Minas e Energia (MME), a Empresa

¹ Os 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), criados pela ONU, em 2015, em boa medida, significam macro estratégia global de continuidade direta e indireta dos Objetivos de Desenvolvimento do Milênio (ODM), os quais vigoraram até 2015. Os ODS compõem uma agenda mundial voltada à elaboração e implementação de políticas públicas que visam guiar a humanidade até 2030. Esta agenda contempla um plano de ação no âmbito internacional para o alcance dos 17 ODS, desdobrados em 169 metas, os quais abordam diversos temas fundamentais para o desenvolvimento humano, em cinco perspectivas: pessoas, planeta, prosperidade, parceria e paz. Neste contexto, os 17 ODS envolvem temáticas diversificadas como erradicação da pobreza, saúde, segurança alimentar e agricultura, educação, igualdade de gênero, redução das desigualdades, energia, água e saneamento, padrões sustentáveis de produção e de consumo, mudança do clima, cidades sustentáveis, proteção e uso sustentável dos oceanos e dos ecossistemas terrestres, crescimento econômico inclusivo, infraestrutura e industrialização, governança, e meios de implementação (Nações Unidas no Brasil, 2021).

de Pesquisa Energética (EPE, o qual é vinculado ao MME), a Agência Internacional de Energia (*The International Energy Agency – IEA*) e a Agência Internacional para as Energias Renováveis (*The International Renewable Energy Agency – IRENA*). Tal revisão da literatura especializada cotejou, também, dissertações de mestrado e teses de doutorado produzidas no Brasil e cujos temas cerne perpassam as tênues e, em geral, complexas inter-relações, entre bioenergia, meio ambiente, políticas públicas voltadas à redução da pobreza, mitigação das mudanças climáticas, além dos desafios associados à implementação do desenvolvimento sustentável. Frisa-se, ainda, que o presente estudo é de natureza exploratória; utiliza a pesquisa documental e bibliográfica para sustentar as análises e conclusões.

3. O papel do carbono na economia global

Historicamente, a intensidade energética vem aumentando na média, no entanto, Fankhauser e Jotzo (2017) mostram que há uma maior contribuição nos países de baixa e média renda. Grandes reduções foram observadas em economias de transição, mas a intensidade de carbono está frequente na maioria dos países, pois poucos diminuíram suas correlatas intensidade de carbono. Em alguns países, a infraestrutura de transporte está baseada nos combustíveis derivados de petróleo e representa 25% das emissões de CO₂ relativos à energia (Koponen e Hannula, 2017). A fim de atingir as metas de redução, vem se intensificando novas possibilidades de adicionalidade aplicada às tecnologias de geoengenharia climática, como por exemplo, a remoção de CO₂ da atmosfera (*Carbon Dioxide Removal, CDR*) ou captura e armazenamento de carbono e estocagem na subsuperfície (*Carbon Capture and Storage, CCS*), devido ao seu potencial amplo de contribuição para atenuação do fenômeno do aquecimento global.

Considerando a importância que a bioenergia enseja vis-à-vis a necessidade premente de se evitar os impactos do aquecimento global de 2°C acima dos níveis pré-industriais e relacionadas à emissão global de gases de efeito estufa, no contexto do fortalecimento da resposta global à ameaça de mudanças climáticas, processo de produção associado com CCS e CDR, vem se tornando imperativo para determinadas cadeias de fornecedores de biomassa (IPCC, 2018). Segundo o IPCC SRCCL (*Special Report on Climate Change and Land*) (2019), a maioria dos cenários considera redução substancial da quantidade de CO₂ na atmosfera decorrente da implementação de tecnologias de bioenergia visando uma substituição proporcionalmente de combustíveis fósseis, considerando a capacidade geológica global de estocagem, dependente de considerações sócio-políticas, tecnológicas e geográficas.

Frisa-se que a eficiência de sequestro utilizando tecnologia *Bio-energy with Carbon Capture and Storage*² (BECCS) é independente da intensidade de carbono da eletricidade e do restante do sistema de energia. Depende apenas das emissões consequentes do ciclo de vida da matéria-prima, incluindo as mudanças diretas e indiretas do uso da terra para converter a produção de biomassa em energia e a eficiência das usinas de BECCS. Alguns cenários indicam em uma escala de longo prazo uma emissão negativa pode ser possível, embora alguns cenários apresentem risco substancial adicional, e não está claro se uma contínua ausência de progresso da atualidade deve se manter por muito tempo no futuro, tornando assim os objetivos do Acordo de Paris altamente improváveis (Lawrence e Schäfer, 2019). A intensidade de carbono que é dada pela relação entre o crescimento econômico, consumo energético e emissões de GEE, pode ser medido pela relação de Yoichi Kaya (Lester e Finan, 2009) Eq.(1):

$$C = Y \frac{C}{E} \frac{E}{Y}, \quad (01)$$

onde C/E = Intensidade Carbono (kg CO₂ / kg toe), E/Y = Intensidade Energética (kg toe / 1000 US GDP), Y = Produção Econômica (1000 US GDP).

Estudo conduzido por Fankhauser e Jotzo (2017), mostra que os países que estão acima da curva média, na sua maioria, são países de baixa e média renda. Os países de alta renda, em média, reduziram 20% a intensidade energética e 17% a intensidade de carbono. Mas a avaliação na década confirmou a contribuição dos países de baixa e média renda no aumento da intensidade energética da economia, conforme Figura 1.

² Bioenergia com captura e armazenamento de carbono.

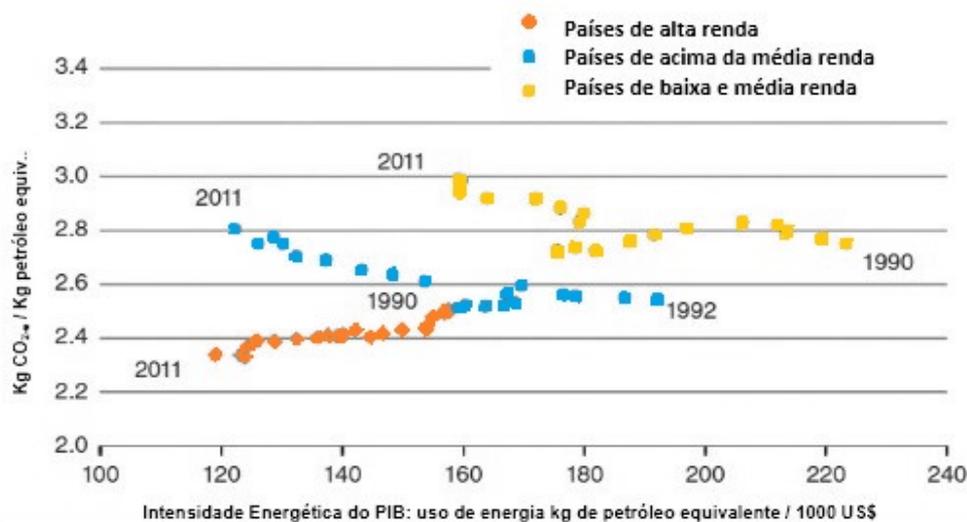


Figura 1. Trajetória da intensidade energética na economia versus intensidade de carbono na energia versus intensidade de carbono na energia. Fonte: Adaptado a partir de Fankhauser e Jotzo (2017).

4. Resultado analítico I – Evolução da regulação das diferentes fontes de energia

A regulação prevista para biocombustíveis e biomateriais baseia-se em normas que se tornaram uma ferramenta de governança, pois cada membro da comunidade realiza esse controle por meio de agências reguladoras que se utilizam de fundamentos científicos para propor políticas públicas com base em técnicas que se alicerçam em requisitos jurídicos. Alguns autores, destarte, entendem que a implantação de eficiência da governança pública, em relação a sustentabilidade do setor de biocombustíveis, ainda não está implementada de modo a cobrir critérios socioambientais. Especialmente citados, estão o Brasil (como potencial fornecedor de biomateriais), os Estados Unidos e a Comunidade Europeia, os quais estão nesse momento com suas recentes políticas de biocombustíveis em fase de implantação e/ou consolidação (German, 2017).

A base para implantação de certificações de biomassa e resíduos foram os sistemas de certificação de florestas, de produtos agrícolas e de eletricidade, cujos principais tópicos de interesse dos principais *stakeholders* para uma certificação de biocombustíveis coincidem com os de biomassa. Na década passada surgiram as certificações específicas que envolviam os interessados em determinados produtos de origem renovável, tais como *Roundtable on Sustainable Palm Oil*³ -RSPO, *Better Sugarcane Initiative* – BSI, BON-SUCRO, *Roundtable for Responsible Soy Production* – RTRS que correspondem a óleo de palma, cana de açúcar e soja, respectivamente. Simultaneamente, em alguns países criaram-se sistemas de certificações próprios devido ao crescente aumento de importação de biomassa para geração de bioenergia e biocombustíveis. Dentre vários sistemas de certificações, podemos citar *Roundtable on Sustainable Palm Oil* - RSPO, *Biofuels Sustainability Ordinance*⁴ - BSO, *Environmental Choice Program*⁵ - ECP, EcoLogoM, IFOAM, atuando em países como Inglaterra, Alemanha, Canadá, EUA, Holanda com suas respectivas exigências. A partir de um programa da UNEP, de 2006, em parceria com o G8 (as oito maiores economias do Globo) denominado *Global Bio-Energy Partnership*⁶ (GBEP), foi recomendada a inclusão de critérios de sustentabilidade ao longo de todo ciclo de vida do produto desde sua produção, passando pela etapa de conversão até a geração da bioenergia. A inclusão desses critérios culminou com a criação de outro SC denominado “*Roundtable on Sustainable Biofuels*⁷ (RSB)” visando atender critérios para geração de bioenergia no âmbito do Protocolo de Quioto, em vigor na ocasião.

Os sistemas de certificações têm sido utilizados de modo crescente e a tendência é aumentar o rigor à medida que novos indicadores socioambientais são incluídos, principalmente devido à pressão de mercados regulados por meio de diretivas ou diferentes exigências implantadas por variados setores consumidores. Na última década também ocorreram novas regulações em países fornecedores de biomassa e

³ Negociação sobre Óleo de Palma Sustentável.

⁴ Portaria de sustentabilidade dos biocombustíveis.

⁵ Programa de Escolha Ambiental.

⁶ Parceria Global de Bioenergia.

⁷ Negociação sobre biocombustíveis sustentáveis.

biocombustíveis, tais como, Brasil e Índia (ainda em fase de implantação da regulamentação). A União Europeia (EU) publicou, em 2003, uma primeira diretiva ⁸ com sugestão voluntária de adotar o uso de combustíveis de fonte renovável como opção para redução de emissões de GEE. Em 2009, a UE publicou uma diretiva (*Renewable Energy Directive*, RED I) com metas compulsórias de redução de emissões para o ano de 2020. E, em 2016, foi publicada uma nova diretiva (*Renewable Energy Directive*, RED II), alterando as metas de redução e incluindo outras fontes de biomassa.

A produção total anual de biocombustíveis no mundo, com dados específicos para os maiores produtores (especificamente para o ano de 2014) é apresentada pela Tabela 1, cujos dados explicitados confirmam a crescente demanda por biocombustíveis de primeira geração à base de grãos ou gramíneas, as quais também produzem alimentos (milho, cana-de-açúcar, beterraba, soja, canola, girassol e colza). Este contexto, evidentemente, pode acarretar em conflitos socioeconômicos, devido ao subsequente aumento de escala e, assim, afetar a segurança alimentar (Bourguignon, 2017). Nesse caso, as tecnologias de produção adotadas são fermentação (bioetanol) e transesterificação (biodiesel).

Tabela 1. Produção global de biocombustível líquido dos maiores países produtores.

	Bilhões litros/ano	Biocombustíveis	Bioetanol	Biodiesel	Biocombustíveis Avançados (BA)
	2000	18,0	13,2	0,84	3,94
	2005	38,6	26,9	3,64	8,14
	2010	105,0	65,4	20,2	19,8
	2014	126,0	78,0	32,0	16,4
	2017	138,0	85,1	36,1	16,4
Ano 2014	EUA	58,6	53,3	4,67	0,63
	Brasil	29,4	12,0	2,47	14,9
	Argentina	3,99	0,50	3,49	0,0
	Indonésia	3,34	0,0	3,34	0,0
	China	3,11	2,66	0,45	00
	EU-28	19,3	4,54	14,3	0,52

Fonte: Adaptado de Kummamuru (2017) e WBA (2020).

Novas alternativas tecnológicas para geração de biocombustíveis de segunda geração estão associadas à conversão de biomassa à base de lignocelulose (resíduos de agricultura, florestais, etanol de lignocelulose, biometano, em especial) e têm sido incentivadas baseadas em grãos não alimentícios associado a processos de conversão termoquímicos e biológicos. Conforme Cheng et al. (2014), os BA (biocombustíveis avançados) se referem ao biocombustível de 2^a (E2G) e ao biocombustível de 3^a geração (E3G), os quais não competem diretamente com a produção de alimentos e ração para animais. Tanto o E2G quanto o E3G podem ser derivados de resíduos de biomassa, talos e caule de cereais, material seco de plantas e de algumas herbáceas usada para fermentação (capim tipo: *Miscanthus*; *Bermuda grass*; *Switchgrass* e algas). Podem, ainda, ser derivados de resíduos urbanos (óleo usado) ou agrícolas (palha de milho, casca de arroz ou palha de cana). Especificamente quanto ao E3G gerado a partir do processamento de algas, frisa-se que o processo produtivo envolve a extração de óleo e subsequente transesterificação do mesmo por meio de rotas tecnológicas ainda em maturação tecnológica. No caso de biodiesel a partir de micro algas, os principais desafios são os custos de produção da biomassa matéria-prima (principalmente nas etapas de purificação e colheita). As algas mais comuns usadas para produção de biodiesel são micro algas autotróficas, as quais possuem um balanço nulo de emissões de GEE (Chien et al., 2014).

As tecnologias aplicadas aos processos de descarbonização de energia nos programas do setor energético podem ser aplicadas para produção de bioenergia. As novas instalações de produção de energia ou as plantas remodeladas na Europa e nos EUA devem atender níveis de emissão de carbono fóssil mais restritos, mesmo aquelas que utilizam combustível fóssil, necessitando incluir processos adicionais de eficiência de produção e escalonamento na redução de emissões de GEE (Bataille et al., 2016). Já no caso do Brasil, o fator de emissão médio para eletricidade fornecida pelo sistema nacional está bem abaixo daquele correlato a valores médios de outros países (MCTIC, 2018). No entanto, tem sido crescente a carbonização da matriz brasileira em função da necessidade de utilização de eletricidade gerada nas plantas que usam combustível fóssil em períodos de baixa disponibilidade de água nas hidroelétricas. Destarte, a partir de 2014 é mais acentuada a carbonização da matriz brasileira, porém, é substancialmente menor que

⁸ Fuel Quality Directive 2003/30/EC.

a média da Comunidade Europeia. Em 2016, o fator de emissão da energia elétrica do Brasil foi 81,9 g CO_{2e}/kg, e o fator de emissão médio da União Europeia foi de 441g CO_{2e}/kg. E, mesmo comparando com países de matriz energética tipicamente renovável, como a Finlândia, o Brasil ainda responde por uma matriz energética ainda mais amplamente renovável. Este valor já chegou a atingir 135,5 g CO_{2e}/kg no ano de 2014 (MCTIC, 2018). Um aspecto a ser destacado é o fator de emissão reduzido inerente à geração de eletricidade com base em plantas eólicas, a qual encerra amplo potencial para expansão no Brasil e que já responde por 8,6% da produção de energia elétrica no país – dado para 2019, segundo a EPE (2020). As vantagens nos diferentes processos de obtenção de biocombustível são crescentes com o avanço das tecnologias relativas à redução dos GEE, conforme a Tabela 2.

Tabela 2. Resumo das vantagens e desvantagens dos diferentes tipos de produção de biocombustível.

<i>Combustível</i>	<i>Vantagens</i>	<i>Desvantagens</i>
Combustível de petróleo	Alta disponibilidade Tecnologias estabelecidas	Depleção de combustível fóssil Afeta as mudanças climáticas Flutuação do preço do combustível fóssil Maior pegada de carbono
Biocombustível de 1ª geração	Biodegradável. Segurança energética.	Concorrência pelo uso da terra Mistura com combustível convencional Menor contribuição de redução GEE devido emissões decorrentes de mudança pelo uso do solo
Biocombustível de 2ª geração	Produto de alto valor agregado Segurança energética	Processos complexos são necessários Tecnologias de conversão em estágio de P&D Baixa conversão em comparação com o combustível de petróleo
Biocombustível de 3ª geração	Alto rendimento Ausência de conflito com alimentos Ausência de conteúdo tóxico Segurança energética	Alto custo de processamento Tecnologia de produção em desenvolvimento, Limitações na etapa de colheita e processamento
Biocombustível de 4ª geração	Biocombustível com carbono negativo. Segurança energética	Falta de estudo sobre seu desempenho prático em termos aspectos técnicos e econômicos. Tecnologias emergentes em estágio de P&D

Fonte: Adaptado a partir de LIEW (2014).

5. Resultado analítico II – Políticas de baixo carbono no Brasil e o caso do RENOABIO, em especial

No caso do Brasil, a partir da ratificação do Acordo de Paris, em 2016, e diante dos compromissos nacionais voluntários (correlatos a este acordo diplomático centrado na multilateralidade) de redução de emissões de GEE, ou seja, as NDC (*Nationally Determined Contributions* – Contribuição Nacionalmente Determinada) houve, por parte do governo federal, a decisão de implantar programas com metas de redução de emissões envolvendo os biocombustíveis. Entre tais programas, poder-se-ia citar o RenovaBio, focado nos biocombustíveis; o Inovar-Auto, centrado na eficiência de motores veiculares; além de programa de precificação de carbono (este ainda tipicamente insipiente) – todos em andamento, mas, até o momento (maio de 2021), sem metas claras e calendário definido.

Destarte, em 2016, o Brasil ratificou o Acordo de Paris e, diante de suas próprias voluntárias NDC comprometeu-se, diante da comunidade internacional (formalmente à Convenção Quadro das Nações Unidas Sobre Mudanças Climáticas – UNFCCC, na sigla em inglês), a reduzir suas emissões de GEE em 37%, em relação aos níveis de 2005, até 2025, e em 43% até 2030 (Magalhães e Domingues, 2016). E um dos objetivos para 2030 é atingir 18% de participação de biocombustíveis na matriz de oferta de energia primária, e alcançar 23% de participação de energias renováveis (além da hídrica) no fornecimento de energia elétrica. Neste contexto, o programa nacional mais maduro e, em certo sentido, mercadologicamente avançado é o RenovaBio, o qual foi promulgado, em 2017, através da Lei 13.576/2017⁹ e regulamentado, em 2018, pelo Decreto Lei 9308/18¹⁰. O programa RenovaBio é a primeira iniciativa alinhada às metas assumidas pelo Brasil no contexto do Acordo de Paris sobre mudança do clima

⁹ URL: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2017/Lei/L13576.htm#art6.

¹⁰ URL: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2018/decreto/D9308.htm.

e dispõe sobre metas compulsórias anuais de redução de emissões de GEE. A Política Nacional de Biocombustíveis (RenovaBio) visa estabelecer um mecanismo voluntário através de incentivos econômicos atrelados ao desempenho ambiental do biocombustível, cujas receitas obtidas devem produzir benefícios financeiros aos produtores com melhor eficiência energética, contribuindo para o setor atingir as metas de mitigação de gases de efeito estufa (GEE). Em última instância, o RenovaBio, portanto, significa programa nacional centrado no estabelecimento de parâmetros para a promoção adequada da promoção dos biocombustíveis na matriz elétrica brasileira, contribuir para o cumprimento das metas estabelecidas no Acordo de Paris e reduzir as emissões dos gases de efeito estufa em toda a cadeia produtiva dos combustíveis renováveis (Vidal, 2019).

A norma geral inerente ao RenovaBio prevê a utilização de Crédito de Descarbonização de Biocombustíveis (CBIO), concedidos a produtoras de biocombustível de acordo com a melhoria de eficiência da etapa de plantio da biomassa¹¹ por elas produzida. Quanto maior essa proporção, mais créditos a empresa terá. Os créditos serão negociados na bolsa de valores e comprados por setores que precisem deles como contrapartida pela emissão de carbono de suas próprias produções. Destarte, a EE e a redução de emissões serão incentivados por meio da geração de crédito de descarbonização que será contabilizado em função da emissão ao longo do ciclo de vida comparado com o combustível fóssil. A partir da implantação dessas normas o Brasil poderá atender requisitos das normas da CE e dos EUA em relação a biocombustíveis que devem apresentar índices de redução de GEE comparado ao combustível fóssil. Além dos combustíveis de 1ª geração, o Brasil também possui plantas com etanol de 2ª geração – chamado etanol 2G ou lignocelulósico – obtido da produção sucroalcooleira (bagaço, palha e ponta). O Brasil é o segundo maior produtor mundial de Etanol – em 2016, o país produziu 26,85 bilhões de litros, seguido pelos EUA com 56,05 bilhões de litros (CNI, 2017). No contexto do RenovaBio, a EE e a redução de emissões serão incentivados por meio da geração de crédito de descarbonização que será contabilizado em função da emissão ao longo do ciclo de vida comparado com o combustível fóssil conforme Figura 2.

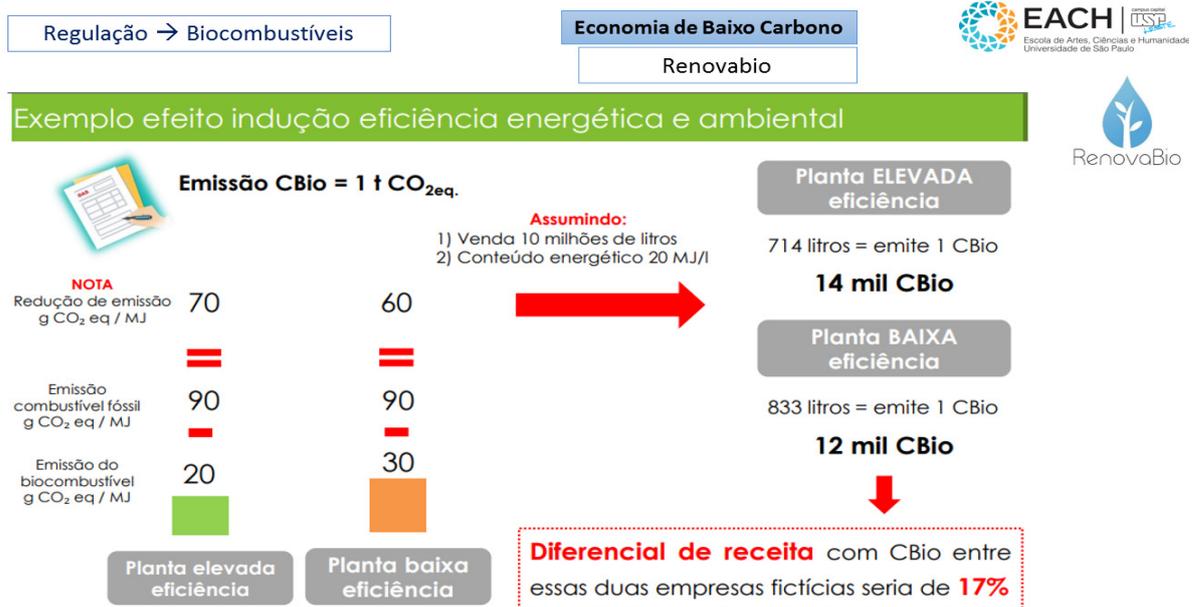


Figura 2. Exemplo de efeito indução devido à eficiência energética e ambiental via RenovaBio. Fonte: RenovaBio (2017).

As metas anuais nacionais de descarbonização, no âmbito do RenovaBio, foram estipuladas pelo Conselho Nacional de Política Energética (CNPE) por meio da Resolução CNPE nº 15, de 24 de junho de 2019, e foram definidas para o período de 2019 até 2029 (CNPE, 2019). Destarte, segundo o art. 1º da citada Resolução ficaram estabelecidas as metas compulsórias anuais de redução de emissões dos GEE, a comercialização de biocombustíveis e os respectivos intervalos de tolerância definidos em unidades de Créditos de Descarbonização (CBIOs). Contudo, estes mesmos parâmetros foram alterados pela Resolução

¹¹Biomassa: material de ação biológica excluídos materiais incorporados em formação geológica e/ou fossilizados (Ref: Norma E N 16575:2014 =Bio-based products – Vocabulary).

CNPE nº 8, de 18 agosto de 2020, com a redução futura das metas em decorrência da Pandemia de COVID-19.

Além das metas nacionais existem, também, as metas individuais compulsórias, nas quais os distribuidores de combustíveis se comprometem a diminuir a emissão de gases de efeito estufa. Assim como as metas nacionais, as metas individuais sofreram alterações devido à Pandemia de COVID-19. As metas de 2020 foram estipuladas pelo despacho ANP nº 797, de 24 de setembro de 2020, com uma retificação do despacho nº 263, de 19 de março de 2020. As metas para 2021 foram estipuladas de forma preliminar e foram publicadas em definitivo no dia 31/03/2021 com os cálculos já estabelecidos¹². De acordo com o balanço publicado pelo Ministério de Minas e Energia (MME), no ano de 2020 foram emitidos 18.508.636 CBIOS e negociados, na B3, 14.896.273 de Créditos de Descarbonização a um preço médio de R\$ 43,66/CBIO, o que gerou um volume financeiro de R\$ 650.371.279,18 (CNPE, 2019). De acordo com a Empresa de Pesquisa Energética (EPE), no ano de 2019 o uso de biocombustíveis líquidos no Brasil (consumo, fundamentalmente), seja o etanol (anidro e hidratado¹³) ou o biodiesel evitaram, em comparação aos equivalentes fósseis, a redução da emissão de 69,9 MtCO₂eq (EPE, 2021).

6. Discussão e conclusões

Nas últimas décadas, o debate acerca da redução do uso de combustíveis fósseis tornou-se peça central nas discussões da comunidade internacional, principalmente, em relação às ações mitigatórias e adaptativas correlatas ao enfretamento das mudanças climáticas. O enfretamento eficiente do aquecimento global tem sido considerado, majoritariamente, por governos, pela comunidade científica internacional e, em boa medida, também pela sociedade civil como o grande desafio global a ser enfrentado pela humanidade no corrente século XXI em prol de sua própria sobrevivência na Terra. No cerne deste debate estão os biocombustíveis, fonte energética científica, tecnológica e politicamente maturada, há mais de quatro décadas, no Brasil e com amplo potencial para expansão tanto no que tange à produção, quanto no que se refere ao consumo no país.

A capacidade articulatória das nações e as governanças transfronteiriças exigem que sejam avaliadas questões diretamente relacionadas ao desenvolvimento econômico e social e com foco em pactos multilaterais. Este silogismo sugere que há diferenças perceptíveis nos planos de governança e soberania entre nações industrializadas desenvolvidas e aquelas emergentes em desenvolvimento. É neste cenário que surge, em 2015, como fruto principal da 21ª Conferência das Partes, a COP21, o Acordo de Paris¹⁴, no contexto da UNFCCC. Além disto, pressupõe-se, também, a obrigatoriedade da contabilização e reporte, por cada parte (país membro) à UNFCCC das emissões anuais de GEE, assim como o financiamento de capital tecnológico aos países emergentes, com a intenção de que possam cumprir com as metas estabelecidas em suas NDC. Destarte, o avanço no cumprimento destas metas deve, primeiramente, ser precedido pelas mudanças comportamentais no consumo com a criação de um novo sistema de desenvolvimento tecnológico e econômico. E tais mudanças, diante do atual modelo organizacional tanto no setor privado quanto no público, são caracteristicamente de alta complexidade devido aos inúmeros atores correlacionados no processo de transição do sistema econômico carbono intensivo para um modelo pautado em baixo carbono.

Contudo, uma medida viável tanto pelo viés econômico quanto ambiental e que está sendo adotada por alguns países (eventualmente, não com a celeridade necessária diante dos riscos climáticos e impactos sociais, econômicos e ambientais em curso e aqueles potenciais), refere-se à substituição do petróleo e seus derivados pelos biocombustíveis, os quais respondem por impacto deveras positivo quanto redução das emissões de CO₂, N₂O e CH₄, acarretando em melhoria na qualidade da atmosfera terrestre (ou não continuidade de degradação destavia Efeito Estufa antrópico). A mudança para a utilização desta

12 O cálculo da individualização das metas preliminares para 2021 de redução de emissão de GEE aplicáveis a todos os distribuidores de combustíveis considerou os dados de movimentação de combustíveis fósseis informados no Sistema de Informações de Movimentações de Produtos – SIMP, nos termos da Resolução ANP nº 729, de 11 de maio de 2018, considerando o período de janeiro a outubro de 2020.

13 A diferença entre o etanol anidro e o hidratado refere-se à quantidade de água existente em sua composição. O combustível hidratado possui em torno de 95,1 e 96% de etanol, no anidro essa porcentagem é de, aproximadamente, 99,6%, sendo denominado assim como etanol puro e/ou absoluto (NOVACANA, 2021).

14 O Acordo de Paris tem como principal objetivo reduzir as emissões de gases de efeito estufa para limitar o aumento médio de temperatura global a 2°C, quando comparado a níveis pré-industriais. Este compromisso internacional, negociado por 195 nações vinculadas à Organização das Nações Unidas foi aprovado em 12 de dezembro de 2015 e entrou em vigor, oficialmente, no dia 4 de novembro de 2016.

modalidade de fonte energética alternativa, centralmente, significa induzir que os modais de transporte se tornem menos dependentes dos combustíveis fósseis e, por conseguinte, renováveis e mais sustentáveis.

Neste contexto, os biocombustíveis (e, de modo mais amplo, a bioenergia) têm sido utilizados como uma das soluções estratégicas para uma transição mais segura em prol de um sistema de produção e consumo de energia mais sustentável e com a vantagem de induzir à externalidades socioambientais positivas em diversas regiões do planeta.

Os biocombustíveis de 2^a e 3^a geração possibilitam uso de diferentes fontes de matérias primas renováveis, exigindo ações de adaptação de plantio, inovação e desenvolvimento de novos cultivares, monitoração do uso do solo, dentre outras. Já o uso de combustíveis fósseis no sistema de energia do futuro tende a encerrar um sistema de certificação altamente normativo e um cenário com novas tecnologias que permitam ampliar o uso desses combustíveis fósseis (Gás Natural – CCS, Carvão – CCS) sem que haja a típica massiva degradação ambiental (como, por exemplo, poluição do ar local em megalópoles ou amplas emissões de GEE). Porém, há de ser necessário avançar na pesquisa aplicada a novos insumos utilizando modificação genética e toda uma nova padronização metodológica na avaliação socioambiental, a qual assegure maior sustentabilidade ao longo do ciclo de vida destes biocombustíveis. Destarte, a produção e o consumo de biocombustíveis, no contraponto aos combustíveis fósseis, são, em princípio, naturalmente indutores da sustentabilidade.

No entanto, deve-se ressaltar que esta tendência só é, de fato, válida se devidamente considerado, de modo equânime, o tripé característico da sustentabilidade. E, neste tripé devem ser devidamente cotejadas as três dimensões fulcrais do desenvolvimento sustentável: social, econômica e ambiental, as quais devem interagir, de modo integral e holístico, em prol do atendimento efetivo da sustentabilidade. Sem equilíbrio entre estes três pilares, a sustentabilidade não é atingida. Neste sentido, por exemplo, políticas públicas direcionadas aos biocombustíveis devem atentar para que não haja perda de postos de trabalho, para que não ocorra perda de produtividade econômica ou que não se estabeleça quadro de degradação ambiental associáveis à produção e ao consumo de biocombustíveis no Brasil e no mundo. Neste sentido, históricas e bem conhecidas desvinculações nítidas diante do conceito de sustentabilidade típicas da produção e consumo de combustíveis fósseis podem e devem servir de contraexemplo no âmbito da elaboração de políticas públicas e privadas indutoras dos biocombustíveis.

Outro fator limitante para a adoção de biocombustíveis, principalmente os de primeira e segunda geração refere-se à dependência de unidades fabris limitadas à aquisição de áreas cultiváveis associadas com os problemas de (inadequada) preservação da biodiversidade. Assim, os sistemas de certificações têm sido usados de forma crescente e com uma tendência de adoção por outros países consumidores e produtores de biomassa, a despeito de os critérios adotados para que se possa avaliar os impactos socioambientais sobre a biodiversidade ainda requererem aprofundamentos diversos em termos de pesquisa científica.

No caso do Brasil, os dois mais relevantes biocombustíveis (centralmente devido ao perfil do setor de transportes, o qual é centrado no modal rodoviário) são o etanol e o biodiesel, para os quais a EPE tem registrado relevante crescimento de demanda. De fato, o consumo final de etanol no país, em 2019, aumentou 11,1%, em relação ao ano anterior, 2018; já no caso do biodiesel, para o mesmo período de comparação, este aumento foi de 9,3% (EPE, 2020). No país, tal como analisado no presente trabalho, diferentemente da média mundial, a oferta de energia primária é majoritariamente baseada nas energias renováveis, em particular, lenha e carvão vegetal, hidroeletricidade, biomassa de cana-de-açúcar (onde se insere o etanol) e outras renováveis (onde se insere o biodiesel). Tão somente no caso do etanol, o consumo de pouco mais de 17 Mtep, em 2019, representou 7% de todo o consumo energético pelo país, por fonte de energia (EPE, 2020).

Neste e observando-se os dados explicitados pela Tabela 1, tal como analisado pela IEA, o Brasil possui a matriz energética menos poluente dentre os maiores produtores mundiais de biocombustíveis (IEA, 2021). Neste contexto, dentre os mais relevantes produtores mundiais de biocombustíveis (no total, em 2017, globalmente, foram produzidos 138 bilhões de litros, tal como denotam os dados da Tabela 1), pode-se inferir que é o Brasil o país com o maior potencial intrínseco de liderar a transição energética pela perspectiva dos biocombustíveis líquidos e descontando-se obstáculos mais conjunturais do que estruturais (como o ainda baixo investimento em pesquisa e desenvolvimento ou políticas ainda caracteristicamente reféns dos interesses do setor privado, por vezes, em detrimento de políticas públicas).

Como consequência direta da relevante participação das energias renováveis na matriz energética brasileira (aspecto supracitado ao longo do presente estudo), em relação a países outros de dimensões continentais e ainda diante de países com população semelhante ao Brasil, são relativamente baixas as emissões brasileiras de GEE. Neste contexto, no caso dos 2,2 GtCO₂e emitidos pelo Brasil em 2019, cabe destacar que os setores de energia e o de processos industriais e uso de produtos (“PIUP”, setor no qual são

alocados tudo que é emitido devido ao uso ou à transformação físico-química de matérias na indústria), responderam por, respectivamente, por 19% e 5% do total de GEE emitido pelo país. Portanto, tais setores responderam, juntos, por 24% das emissões nacionais de GEE, o que significa uma participação tipicamente menor do que aquela correlata às diversas atividades de uso do solo no Brasil (SEEG, 2020). E é no caso do setor de energia e, especificamente, no que se refere à energia consumida nos transportes, que os biocombustíveis produzidos e consumidos pelo Brasil, tendem a responder, cada vez mais, pelo papel de contraponto ao quadro contemporâneo, aparentemente mais conjuntural do que estrutural, de emissões brasileiras de GEE crescentes devido ao aumento das taxas de desmatamento nos biomas Pantanal e Amazônia (principalmente) e como consequência do contínuo acionamento das usinas termelétricas a carvão mineral, óleo Diesel e a gás natural para fins de garantia ao atendimento da demanda nacional por energia elétrica (estratégia inevitável no contexto atual em vista dos mais baixos níveis, em décadas, de água nos reservatórios das usinas hidrelétricas).

Neste contexto, a partir do desenvolvimento do presente estudo, conclusivamente, foi possível depreender que o Programa RenovaBio representa significativo avanço em prol da sustentabilidade forte. Porém, comparativamente aos Estados Unidos da América, por exemplo, o Brasil tem de investir muito mais em desenvolvimento científico e tecnológico em, dos biocombustíveis 2G e 3G, os quais são intrinsecamente menos impactantes ao meio ambiente; os resultados deste investimento em ciência, aqui propõe-se, poderiam ser direcionados ao aprimoramento do próprio RenovaBio. Constatou-se, ainda, que o delineamento e realização de uma economia de baixo carbono que priorize substancial redução da emissão global de GEE ao longo do corrente século XXI, inexoravelmente, necessita cotejar medidas de eficiência energética amplamente alicerçadas em políticas de fomento à produção e ao consumo de biocombustíveis.

Destarte, os caminhos para redução de carbono na economia necessitam de uma reestruturação político-científica; e cada país deve fazê-la de acordo com as características e circunstâncias próprias, incluindo um programa de EE associado a políticas focadas na gradativa, porém, consistente substituição parcial dos recursos fósseis por fontes renováveis típicas de baixa emissão de GEE.

Referências bibliográficas

- Bataille, CH et al. (2016) The need for national deep decarbonization pathways for effective climate policy, *Climate Policy*, V. 16, N°. S1, S7– S26. <<http://dx.doi.org/10.1080/14693062.2016.1173005>>.
- Bourguignon, D, Vandenbussche, T. (2017) Advanced biofuels Technologies and EU policy, *European Parliamentary Research Service – EPRS*.
- BP – British Petroleum (2019) BP Statistical Review of World Energy database 2018, 68th edn. <<https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2019-full-report.pdf>> (acesso em 11 de junho de 2021).
- Brasil (2017) Ministério de Minas e Energia, RenovaBio: Biocombustíveis 2030, Nota Técnica: Sustentabilidade, *Empresa de Pesquisa Energética – EPE*, Rio de Janeiro.
- Cheng, JJ, Timilsina, GR, Zilberman, D (eds) (2014) Cap.2 - Biofuel Technologies and Potential– The Impacts of Biofuels on the Economy, Environment, and Poverty (Chapter 2). *Springer Science+Business Media*. New York.
- CNI – Confederação Nacional da Indústria (2017) O setor sucroenergético em 2030: dimensões, investimentos e uma agenda estratégica. Neves MF, Gerardi, F, Kalaki, RB, Gali (orgs). CNI: Brasília, pp.100
- CNPE – Conselho Nacional de Política Energética (2019) Resolução CNPE nº 15, de 24 de junho de 2019. Define as metas compulsórias anuais de redução de emissões de gases causadores do efeito estufa para a comercialização de combustíveis. <<https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=379328>> (acesso em 31 de maio de 2021).
- Coalizão Brasil (2020) Pós-Acordo de Paris: Caminhos para implementação da economia de baixo carbono. <<http://www.coalizaobr.com.br/home/index.php/docs/documentos-da-coalizao>> (acesso em 10 abr 2020).
- EPE – Empresa de Pesquisa Energética (2020) Publicação Balanço Energético Nacional, BEN 2018, ano base 2019. Rio de Janeiro. <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-479/topico-528/BEN2020_sp.pdf> (acessado em 15 de maio de 2021).

EPE – Empresa de Pesquisa Energética. (2021) RenovaBio. Rio de Janeiro. <<https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/renovabio>> (acesso em 25 de maio de 2021).

Fankhauser, S, Jotzo, F (2017) Economic growth and development with low-carbon energy, *WIREs Climate Change*, v. 9. <<https://doi.org/10.1002/wcc.495>>.

German, L. et al. (2017) Sine-Qua-Nons of sustainable biofuels: Distilling implications of underperformance for national biofuel program, *Energy Policy*, v. 108, pp.806-817. <<https://doi.org/10.1016/j.enpol.2017.04.013>>.

IEA – International Energy Agency (2015) India Energy Outlook. <https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/IndiaEnergyOutlook_WEO2015.pdf> (acesso em 10 abr. 2020).

IEA – International Energy Agency (2020) Energy Statistics of OECD Countries. <<http://www3.imperial.ac.uk/rcukenergystrategy>> (acesso em 10 abr. de 2020).

IEA – International Energy Agency (2021) Net Zero by 2050. A Roadmap for the Global energy Sector. Flagship Report May 2021. <<https://iea.blob.core.windows.net/assets/4482cac7-edd6-4c03-b6a2-8e79792d16d9/NetZeroBy2050-ARoadmapfortheGlobalEnergySector.pdf>> (acessado em 16 de junho de 2021).

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change (2018) IPCC, 2018: Global warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels.

IPCC SRCCL (2019) IPCC Special Report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems, Summary for Policymakers. <<https://www.ipcc.ch/srccl-report-download-page/>> (acesso em 18 abr. 2020).

Koponen, K, Hannula, I (2017) GHG emission balances and prospects of hydrogen enhanced synthetic biofuels from solid biomass in the European context, *Applied Energy*, 200, pp. 106-118. <<https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.05.014>>.

Kummauru, B (2018) World Bioenergy Association – WBA Global Bioenergy Statistics 2017. <http://worldbioenergy.org/uploads/WBA%20GBS%202017_hq.pdf> (acesso em 16 de junho de 2021).

Lawrence, MG, Schäfer, S (2019) Promises and perils of Paris Agreement, *Science*, 364rd edn, v. 6443, pp. 829-830. <<https://doi.org/10.1126/science.aaw4602>>.

Lester, R, Finan, A (2009) Quantifying the Impact of Proposed Carbon Emission Reductions on the U.S. Energy Infrastructure, Industrial Performance Center, MIT, pp.22.

Liew et al. (2014) Review of evolution, technology and sustainability assessments of biofuel Production. *Journal of Cleaner Production*, 71rd edn, pp. 11-29. <<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.01.006>>.

Magalhães, A, Domingues, E (2016) Aumento da Eficiência Energética no Brasil: uma opção para a economia de baixo carbono? *Economia Aplicada*, v. 20, n. 3, pp. 273-310. <<https://doi.org/10.11606/1413-8050/ea146090>>.

Marques, L (2020) A pandemia incide no ano mais importante da história da humanidade. Serão as próximas zoonoses gestadas no brasil? CIÊNCIA, SAÚDE E SOCIEDADE: COVID-19, *Portal Unicamp*. <<https://www.unicamp.br/unicamp/noticias/2020/05/05/pandemia-incide-no-ano-mais-importante-da-historia-da-humanidade-serao-proximas>> (acesso em 15 jun. de 2020).

MCTIC – Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (2020) Fator Médio Inventários Corporativos. <http://www.mctic.gov.br/mctic/opencms/ciencia/SEPED/clima/textogeral/emissao_corporativos.html> (acesso em 30 de abril de 2021).

NAÇÕES UNIDAS no Brasil (2021) Organização das Nações Unidas no Brasil. Sobre nosso Trabalho para Alcançar os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável no Brasil. <<https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>>. (acesso em 16 de junho de 2021).

ROGELJ, J et al. (2018) Scenarios towards limiting global mean temperature increase below 1.5 °C, *Nature Climate Change*, v. 8, pp. 325-332. <<https://doi.org/10.1038/s41558-018-0091-3>>.

Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa – SEEG (2020) Observatório do Clima, SEEG. < http://plataforma.seeg.eco.br/total_emission#> (acesso em 16 de junho de 2021).

Stern, N (2006) *The economics of Climate Change: The Stern Review*, pp.662.

Vidal, M de F (2019) Produção e uso de biocombustíveis no Brasil. *Caderno Setorial ETENE*, ano 4, n 79.

WBA – World Bioenergy Association (2021) Global bioenergy statistics. <<https://www.worldbioenergy.org/global-bioenergy-statistics/>> (acesso em 12 de junho de 2021).