

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
INSTITUTO DE ECONOMIA E RELAÇÕES INTERNACIONAIS
GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS ECONÔMICAS**

FERNANDA VERONEZ GALDIANO MOURA

**A IMPORTÂNCIA DO ETANOL BRASILEIRO NO CONTEXTO DE
MITIGAÇÃO DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS**

UBERLÂNDIA
2022

FERNANDA VERONEZ GALDIANO MOURA

**A IMPORTÂNCIA DO ETANOL BRASILEIRO NO CONTEXTO DE
MITIGAÇÃO DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS**

Monografia apresentada ao Instituto de Economia e
Relações Internacionais da Universidade Federal de
Uberlândia como pré-requisito a obtenção do título de
Bacharel em Ciências Econômicas.

Orientador: Prof. Dr. Bruno Benzaquen Perosa

UBERLÂNDIA
2022

FERNANDA VERONEZ GALDIANO MOURA

A IMPORTÂNCIA DO ETANOL BRASILEIRO NO CONTEXTO DE MITIGAÇÃO DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS

Monografia apresentada ao Instituto de Economia e
Relações Internacionais da Universidade Federal de
Uberlândia como pré-requisito a obtenção do título de
Bacharel em Ciências Econômicas.

Banca Examinadora

Prof. Dr. Bruno Benzaquen Perosa
Orientador

Clésio Marcelino de Jesus
Membro da Banca

Filipe Prado Macedo da Silva
Membro da Banca

Uberlândia, 12 de agosto de 2022

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, agradeço a minha família por todo apoio ao longo dos anos. À minha mãe, por ser o modelo de mulher forte que sempre me inspirou e incentivou o melhor de mim; ao meu irmão, por ser a pessoa mais inteligente que eu conheço e me incentivar nos estudos desde quando brincávamos de escolinha; aos meus avós, por todo amor e risadas diárias, principalmente pelo afeto durante a pandemia. E ao meu pai, por todo suporte nesse período.

Agradeço ao Gabriel, meu namorado, por trazer sempre o melhor de mim e me ajudar a passar pelos períodos difíceis de forma leve.

Aos meus amigos, agradeço imensamente a Julia por sempre estar presente e ser uma amiga incrível e a Malu e Letícia pelas risadas e por fazer a faculdade muito mais divertida.

Por fim, agradeço ao Bruno por todo suporte nesse período de orientação.

RESUMO

O debate ambiental acerca da necessidade de redução das emissões de gases de efeito estufa se intensificou a partir do Protocolo de Kyoto em 1997. Nos anos posteriores, os acordos que seguiram, passaram a discutir as melhores opções para atingir as metas de mitigação, sendo os biocombustíveis apontados como uma das principais alternativas renováveis para a transição energética no setor de transporte.

Visto que o Brasil é o maior produtor de etanol de cana-de-açúcar, sendo um setor fundamental para a economia e o agronegócio brasileiro, este trabalho teve por objetivo identificar o papel do biocombustível brasileiro no cenário de mitigação das mudanças climáticas. Para isso, foi realizado um levantamento da produção brasileira, demanda mundial e relações comerciais entre os principais *players* do setor ao longo das últimas décadas. Ao final, buscou-se identificar as principais oportunidades e riscos do biocombustível para o cenário futuro.

Os resultados mostram que, apesar de novas alternativas terem ganhado espaço nos últimos anos, há oportunidades para o etanol do Brasil no cenário internacional, que deve ser impulsionado no curto e médio prazo, principalmente devido aos mandatos de misturas obrigatórias. Algumas vantagens dos biocombustíveis, como a possibilidade de mistura direta nos combustíveis fósseis e a disponibilidade de uma rede de distribuição já estabelecida, apontam para estas opções no futuro mais próximo. No longo prazo, contudo, a demanda é ameaçada pela transição de veículos à combustão pela alternativa elétrica, mesmo que esta não seja a mais sustentável, a depender da fonte de energia utilizada.

Palavras-chave: Biocombustíveis; mudanças climáticas; etanol

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO.....	8
CAPÍTULO 1: HISTÓRIA DAS NEGOCIAÇÕES CLIMÁTICAS	10
1.1 História das Negociações climáticas	10
1.2 PROTOCOLO DE KYOTO	12
1.3 ACORDO DE PARIS	14
1.4 CONFERÊNCIA DE GLASGLOW (COP26).....	16
CAPÍTULO 2: MATRIZ ENERGÉTICA MUNDIAL E AS QUESTÕES CLIMÁTICAS	18
2.1 PETRÓLEO NO MUNDO	18
2.2 PETRÓLEO NO BRASIL	21
2.3 A EMISSÃO DE GASES DE EFEITO ESTUFA E A QUESTÃO DOS COMBUSTÍVEIS FÓSSEIS.....	23
CAPÍTULO 3: BIOCOMBUSTÍVEIS	26
3.1 BIODIESEL	28
3.2 ETANOL.....	30
3.3 REGULAMENTAÇÕES DOS BIOCOMBUSTÍVEIS.....	31
3.4 POLÍTICAS PARA OS BIOCOMBUSTÍVEIS NO BRASIL	35
CAPÍTULO 4: A PRODUÇÃO E COMERCIALIZAÇÃO DO ETANOL BRASILEIRO	38
4.1 CONSUMO MUNDIAL	40
4.2 Comércio exterior do etanol e as relações comerciais brasileiras	41
4.2.1 ESTADOS UNIDOS	43

4.2.2 ÁSIA.....	44
4.2.3 UNIÃO EUROPEIA	45
4.3 RISCOS PARA O ETANOL BRASILEIRO.....	46
4.4 OPORTUNIDADES PARA O ETANOL BRASILEIRO	48
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	50

INTRODUÇÃO

Em 1992, durante a Conferência das Nações Unidas sobre Meio ambiente no Rio de Janeiro, foi assinada a Convenção Quadro das Nações Unidas Sobre Mudanças do Clima, com adesão de 195 nações signatárias. A convenção buscava a redução da emissão dos gases de efeito estufa devido o reconhecimento de que as mudanças climáticas globais são uma preocupação comum à sociedade e, portanto, seria necessária a criação de estratégias globais a fim de conservar os sistemas climáticos. Desde 1995, é realizada a Conferência das Partes (COP) em que são levantados debates entre os países signatários para estabelecer políticas e medidas que limitem a emissão de GEE.

A realização da COP21 ocorrida em Paris, em 2015, gerou o Acordo de Paris, que foi assinado pelos países membros e se tornou um marco no que se refere a urgência e necessidade de transição para uma economia mundial de baixa emissão de carbono. O acordo busca reduzir as emissões de GEE em quantidade suficiente para que o aquecimento global se mantenha abaixo dois graus Celsius até o final do século. Para que isso ocorra, os países lançaram suas Contribuições Nacionalmente Determinadas (NDC, da sigla em inglês) como forma de estabelecer metas para manter a temperatura da terra abaixo do esperado.

O setor de transporte (rodoviário, ferroviário, aéreo e marítimo) representa um quarto das emissões de dióxido de carbono (CO₂ - em países desenvolvidos esses valores são bem superiores, geralmente ultrapassando os 50% do total), e ganha destaque quando se trata de mitigação das mudanças climáticas por representar um desafio no cumprimento dos objetivos mundiais firmados nos acordos climáticos. Entre os tipos de transporte, embora tenha ocorrido um aumento significativo em meios de transporte aéreo e marítimo, o que causa maior impacto das emissões no setor de transportes é o rodoviário, que também é responsável pelo aumento de 80 % das emissões de gases de efeito estufa entre 1970 e 2010.

A principal fonte de energia do meio de transporte rodoviário são os combustíveis derivados do petróleo, que, além de não serem renováveis, são os principais geradores de CO₂. No processo de substituição dos combustíveis fósseis visando a mitigação de emissões de GEEs, criou-se uma oportunidade para os biocombustíveis, sendo que o etanol se apresenta como o biocombustível mais viável para a transição energética. Biocombustíveis sustentáveis representam uma solução de rápida implementação, dado que já é uma opção compatível com

os veículos comercializados e com a rede de distribuição já utilizadas em derivados do petróleo.

A questão da sustentabilidade dos biocombustíveis tem papel central nas políticas de mitigação. Para que o biocombustível seja proveniente de uma fonte sustentável, todas as etapas de produção, manuseio e transporte não podem ser identificadas como destrutivas ecologicamente, ou seja, todas as entidades dentro da cadeia produtiva precisam mostrar evidências de uso sustentável das terras e de seus processos. A utilização de esquemas de monitoramento, públicos ou privados, permite identificar a adequação aos critérios de sustentabilidade, sendo avaliados dentro de padrões estabelecidos com base em informações técnicas objetivas, como forma de evitar problemas em órgãos internacionais.

Nos últimos anos, alternativas de transporte menos poluentes vêm ganhando espaço nas políticas de mitigação, como os veículos elétricos. Na Conferência de Glasgow, em 2021, os veículos elétricos foram apresentados como o futuro dos meios de transporte.

Diante dos debates acerca da necessidade de reduzir as emissões de gases de efeito estufa, este trabalho tem como proposta identificar a importância e posição do etanol brasileiro como fonte renovável e sustentável no mercado internacional. Como hipótese, temos que o etanol é o principal biocombustível no mundo e o Brasil o maior produtor do etanol de cana-de-açúcar, sendo este, o mais sustentável. Com a crescente demanda mundial pelo produto, a fim de reduzir a emissão dos GEE, o Brasil está bem posicionado no comércio internacional com possibilidade de expansão, embora ameaçada no futuro por outras alternativas, como os veículos elétricos.

Para tanto, este trabalho tem como objetivo identificar o papel do biocombustível brasileiro no cenário de mitigação das mudanças climáticas. Para isso, foi realizado um levantamento da produção brasileira, demanda mundial e relações comerciais entre os principais players do setor ao longo das últimas décadas, além de identificar as principais oportunidades e riscos do biocombustível para o cenário futuro.

Para isso, no capítulo dois será apresentado uma discussão sobre os debates climáticos e o papel dos combustíveis de transporte; no capítulo três é apresentado a matriz de combustíveis líquidos no mundo e seus problemas ambientais, considerando os biocombustíveis; no capítulo quatro é analisada a história dos biocombustíveis em detalhes e sua importância para a mitigação das mudanças climáticas e por fim, no capítulo cinco desenvolveu-se uma análise do comércio exterior do etanol brasileiro, sua relação com os principais players e oportunidades e riscos futuros.

CAPÍTULO 1: HISTÓRIA DAS NEGOCIAÇÕES CLIMÁTICAS

1.1 História das Negociações climáticas

O debate sobre as mudanças climáticas é marcado por grande complexidade, uma vez que envolvem diversas atividades humanas – como agricultura, transporte, indústria, energia – além de gerar efeitos desiguais nas várias regiões do planeta (HOFFMANN, 2013). Hoffmann (2013) expressa que as alterações do clima pertencem à condição humana moderna, mas com a compreensão de suas dinâmicas e impactos, a descarbonização se faz necessária, essencialmente nos setores de energia e transporte.

Essa problemática pode ser analisada de diversas formas, desde uma ótica científica, em que o crescente aumento de gases de efeito estufa afetam não só as temperaturas do planeta, mas também impactam em processos bioquímicos nos oceanos e na vegetação, como pode ser analisada por meio de entendimentos socioeconômico-políticos voltado ao desenvolvimento econômico atrelado ao sistema energético.

Desde o século XIX, com a Revolução Industrial, é perceptível um crescimento das emissões de gases do efeito estufa, causando um aumento na temperatura média do planeta. A questão ambiental passou a ganhar maior destaque somente durante a segunda metade do século XX, quando começaram a surgir estudos científicos sobre os malefícios da industrialização (GONÇALVES; ARMADA, 2017). Logo, o aquecimento da Terra é reconhecido como um problema de grande escala, atrelado ao aumento do nível dos oceanos, desequilíbrios dos ecossistemas, aumento de catástrofes naturais extremas, entre outros. Tais fenômenos se tornaram tópico de preocupação para a sociedade internacional, que através da GAG, ou seja, de “organizações, mecanismos, normas e procedimentos que direcionam e regulam”, busca a proteção ambiental a nível mundial com a participação de atores estatais e não-estatais (GONÇALVES; ARMADA, 2017).

A governança ambiental global (GAG) surge em 1990 com o intuito de gerar uma resposta para a crise entre o ambiente habitável por seres vivos e as ações humanas. Cavalcanti (2004) define governança ambiental como o “arcabouço institucional de regras, instituições, processos e comportamentos que afetam a maneira como os poderes são exercidos na esfera de políticas ou ações ligadas às relações da sociedade com o sistema ecológico”. Desse modo, a GAG abrange sistemas ecológicos desde a problemática de seres

em extinção até a mudança climática, que recebeu maior atenção durante a década de 1990 (GONÇALVES; ARMADA, 2017).

Apesar de certa a necessidade de governar as mudanças climáticas, existem fatores que tornam sua efetivação complexa: as diversas escalas de tomada de decisão política, a intensa fragmentação dos papéis de atores estatais e não-estatais e a enorme quantidade de emissão de gases de efeito estufa na economia global. O desenvolvimento de políticas climáticas conta com diversos organismos e estruturas internacionais, além de blocos dos diversos atores (estatais e não-estatais) para sua execução. Dessa forma, o combate as mudanças climáticas é um desafio global em que nenhum país, por mais desenvolvido que seja, consiga lidar com tamanha magnitude (BULKELEY; NEWELL, 2010).

Com a compreensão de que as medidas necessárias deveriam ser tomadas de forma conjunta pelos países, a Organização das Nações Unidas criou uma estrutura institucional, a fim de controlar o processo de alterações climáticas: a Convenção-Quadro das Nações Unidas para as Mudanças Climáticas (UNFCCC, na sigla em inglês para United Nations Framework Convention for Climate Change) (OKERERE & COVENRY, 2016).

A UNFCCC é proposta em 1992 na Segunda Conferência das Nações Unidas sobre Desenvolvimento e Meio ambiente, conhecida como Rio 92. A Convenção estabeleceu que os países desenvolvidos deveriam ter um papel de liderança no combate ao aquecimento global e retornar suas emissões de gases de efeito estufa por volta do ano 2000 aos níveis anteriores aos da década de noventa.

As negociações organizadas no âmbito da UNFCC se desdobravam mediante rodadas internacionais em que os Estados nacionais, chamadas de “Partes”, assumiriam o compromisso com ações voltadas às mitigações climáticas. As Conferências das Partes (COPs) ocorrem desde 1995 (com início em Berlim) e seus debates visam responder questões como: definição de metas globais, o que fazer, como fazer, quem deve fazer, além de negociar os meios tecnológicos e financeiros para essa finalidade.

Os países participantes da Convenção Quadro foram divididos em grupos que compartilhavam da mesma opinião para as tomadas de decisão e para obterem maior representatividade sobre o tema. O Brasil faz parte do Grupo dos 77 e China, sendo países com pequena taxa de emissão de CO₂ oriunda de atividades industriais, mas com níveis de emissões maiores provenientes de desmatamentos, plantações de arroz, criação de gado (COSTA, 2004).

1.2 PROTOCOLO DE KYOTO

Em 1997, na cidade de Kyoto no Japão, contando com representantes de 159 Nações, foi realizada a terceira Conferência das Partes. A COP 3 foi um dos marcos mais importantes desde a criação da Convenção-Quadro, no que tange o combate às mudanças climáticas.

Para que o Protocolo entrasse em vigor, foi necessário a ratificação de pelo menos 55 países e que juntos, corresponderiam por no mínimo 55% das emissões globais de gases de efeito estufa. O acordo também definiu que os países industrializados deveriam reduzir no mínimo 5,2% de suas emissões de gases de efeito estufa, até 2012, com relação aos seus níveis de emissão em 1990. Essa configuração proposta inicialmente mostra a ideia de uma atribuição justa de responsabilidade pela mitigação das emissões aos países responsáveis historicamente pelo acúmulo de emissões de GEE (RUBIAL, 2016).

Os gases de efeito estufa que são considerados no Protocolo são o dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O), hexafluoreto de enxofre (SF₆) e as famílias dos perfluorcarbonos (compostos completamente fluorados, em especial perfluormetano CF₄ e perfluoretano C₂F₆) e hidrofluorcarbonos (HFCs). As emissões consideradas são apenas aquelas geradas por atividades humanas no setor energético, em processos industriais, no uso de solventes, no setor agropecuário e tratamento de resíduos (lixo e esgoto).

De acordo com Souza (2017), grande parte da União Europeia, EUA, Canadá, Rússia e Japão foram responsáveis, entre o período de 1850 a 1990, pela emissão de 80% das emissões contra 20% de todos os demais países. Isso mostra que, embora a problemática das mudanças climáticas seja global, a responsabilidade dos países citados é muito superior visto que suas pegadas de carbono são maiores quando comparados aos demais. Essa questão se mostra presente no princípio da “Responsabilidade Comum, porém Diferenciada” do Protocolo.

Os países europeus do ocidente e a maior parte dos países do leste europeu comprometeram-se a reduzir suas emissões de CO₂ em relação as emissões de 1990 em 8%, os Estados Unidos em 7%, o Japão, Canadá, Polônia e Croácia em 6%. Alguns países apenas comprometeram-se a limitar o crescimento de suas emissões em relação as emissões de 1990 ao aumento máximo de 10%, como a Islândia, Austrália de 8%, e Noruega de 1%. Os maiores países industrializados da ex-União Soviética (Rússia e Ucrânia) e a Nova Zelândia por outro

lado comprometeram-se a estabilizar suas emissões de CO2 nos níveis de 1990 (SENADO FEDERAL,2004).

Os problemas na negociação começaram em 1997 quando os EUA aprovaram uma resolução em que determinava que o país só seria signatário do protocolo caso fosse imposto compromissos específicos aos países em desenvolvimento, incluindo China, México, Índia, Brasil e Coreia do Sul. O país também alegou que a arquitetura do acordo constituía um regime ineficiente ao que propunha quando se baseava na responsabilidade diferenciada e nesse mesmo período Bush anuncia a importância dos combustíveis fósseis para o crescimento da sua economia. Em meio aos problemas de negociação e colisão com a política do período, os Estados Unidos nunca ratificaram o Protocolo de Kyoto (RUBIAL, 2016).

Bueno Rubial (2016) destaca a situação da Rússia, que em troca da ratificação do Protocolo, a União Europeia teve que negociar o reconhecimento do país como uma economia de mercado, sendo importante para destravar a entrada russa na Organização Mundial do Comércio. Enfim, em 2004 a Rússia aceita ratificar o Protocolo após conseguir o apoio europeu para seu ingresso na OMC. Depois de intenso e longo debate político e científico, em novembro de 2004, com a entrada da Rússia, 132 partes haviam ratificado o Protocolo, incluindo os 38 países com compromissos de redução, representando 61,6% das emissões de GEE dos países desenvolvidos no ano base de 1990. Atingida a porcentagem necessária para vigorar, o Protocolo tornou-se efetivo em 16 de fevereiro de 2005.

O protocolo, visando criar um novo atrativo para a redução das emissões globais, estabeleceu, em seu artigo 12, o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo. O MDL é uma flexibilização que consiste na negociação de cada tonelada de CO2 que deixou de ser emitida ou foi retirada da atmosfera por um país em desenvolvimento. Com esse artigo, os países desenvolvidos ganham o direito de poluir dentro das suas metas estabelecidas pelo acordo, e ao financiar projetos de redução em países em desenvolvimento, recebem ou negociam os Créditos Verdes (SOUZA & CORAZZA, 2017).

As quantidades de toneladas de CO2 ou outros gases economizados ou sequestrados da atmosfera são calculadas por empresas especializadas de acordo com determinações de órgãos técnicos da ONU. Por exemplo, uma tonelada de óleo diesel trocado por biodiesel gera o direito a 3,5 toneladas de créditos; um hectare de floresta de eucalipto absorve por hectare, por ano, 12 toneladas de gás carbônico; um grande aterro sanitário que capte o

metano e o transforme em eletricidade, pode ter o direito a milhões de toneladas de créditos por ano (VIDIGAL, 2011).

1.3 ACORDO DE PARIS

O regime climático de Kyoto foi ineficiente nas suas metas de redução de GEE em 55% até 2012, quando na verdade houve um salto de 32645,91 MtCO_{2e} emitidos em 1990 (ano-base do protocolo) para 45427.61 MtCO_{2e} emitidos em 2012, levando em consideração a agricultura, floresta e outros usos da terra (AFOLU), de acordo com a CAIT (*Climate Analysis Indicators Tool*), disponibilizada pelo *World Resources Institute*.

Um grande motivo dessa ineficiência tem relação com o não engajamento e não ratificação por parte de grandes emissores, já que historicamente estes países desempenharam um papel fundamental nas mudanças climáticas. Contudo, quando analisado, por meio de dados da CAIT, os maiores emissores em 2012, vemos que países em desenvolvimento, que não foram abordados de forma direta no protocolo devido ao princípio da “Responsabilidade Comum, mas Diferenciada”, sendo o bloco do BRICS um dos principais emissores, totalizando 41,28% das emissões correntes (SOUZA, 2017).

Com a desestabilização do regime de Kyoto, a elaboração de um novo Acordo que contemplasse os desejos de parte dos países desenvolvidos com relação as mudanças sobre os princípios do acordo, o “Princípio de Responsabilidade Comum, Porém Diferenciada” (PRDC) e o Princípio das Responsabilidades Históricas (PRH), começou a ser discutido desde 2009 quando os EUA começaram a questionar o papel da EU. Em 2015, a maioria das Partes já haviam submetido suas metas nacionalmente determinadas (NDC), que seriam discutidas na 21ª Conferência das Partes (COP-21) da UNFCCC, ocorrida em Paris entre 30 de novembro e 12 de dezembro de 2015 (RUBIAL, 2016).

Com os problemas envolvendo o PRCD e PRH no acordo anterior, o momento que antecedeu a COP-21 era de tensão já que a distribuição dos compromissos de mitigação entre os países definiria o engajamento das Partes nesse novo regime. Baseado no quão problemático foram essas questões no passado, o Acordo de Paris estabeleceu que não só os países desenvolvidos, membros da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE) e países da Europa Oriental em transição para economia de mercado

teriam responsabilidades com metas de redução, mas também os países em desenvolvimento deveriam aumentar seus esforços na luta contra o aquecimento global.

As determinações do Acordo de Paris incluem: deter o aumento da temperatura global média do planeta abaixo de 2°C acima dos níveis pré-industriais e empenhar esforços para limitar o aumento da temperatura a 1,5°C acima dos níveis pré-industriais, reconhecendo que isso reduziria significativamente os riscos e impactos da mudança climática; Aumentar a habilidade para adaptação aos impactos adversos das mudanças climáticas e estimular a resiliência climática e o desenvolvimento com baixas emissões de GEEs, de uma maneira que não ameace a produção de alimentos; tornar os fluxos monetários consistentes com um caminho direcionado à redução das emissões de GEEs e ao desenvolvimento resiliente do ponto de vista climático”. Em 2009, foi definido na COP de Copenhague que os países desenvolvidos se comprometeriam a aportar 100 bilhões de dólares por ano no GFC (*Green Climate Fund*), a partir de 2020, com a finalidade de ajudar na transição para energia limpa os países em desenvolvimento. O Acordo de Paris reforça e estabelece que em 2025 um novo valor seria definido (NAÇÕES UNIDAS, 2015).

A abordagem das NDCs, apresentadas voluntariamente pelas Partes, envolvem à mitigação das mudanças climáticas, promoção de medidas de adaptação e geração de oportunidades econômicas. Esta última se concentra no fator chave do que seria o sucesso da adesão dos países nesse novo regime climático já que ocorreu uma mudança de pensamento geral entre as delegações negociadoras, com uma visão e incorporação de discursos de crescimento verde e soluções *win-win*, uma vez que as políticas climáticas podem trazer benefícios econômicos e as intenções declaradas das Partes poderiam de fato serem transformadas em planos nacionais, fazendo com que o Acordo de Paris fosse caracterizado como *bottom-up* (CARRARO, 2016).

O Brasil, assim como Indonésia, Rússia, China e Canadá, estão listados pelo CAIT como os países que estão acima da média em termos de GEE por PIB, entretanto, em quanto os demais países estão com seus excessos de emissões atrelados ao consumo de combustíveis fósseis, Brasil e Indonésia tem suas intensidades de emissões fortemente associadas com o desmatamento e o uso da terra.

O Brasil se comprometeu na COP 21 que reduziria até 35% suas emissões sendo 2005 seu ano-base e seu Plano Nacional de Mitigação afeta diretamente dois setores: energético e agrícola. O setor energético ganha destaque com a promulgação no RenovaBio, que instituiu

um mercado de créditos de descarbonização, criando oportunidades para o setor de Biocombustíveis. Já em relação ao uso da terra, as NDCs brasileira prometem alcançar uma série de metas até 2030, comprometendo-se a atingir o desmatamento zero além de fortalecer o Plano ABC, destinando recursos para a introdução de tecnologias e técnicas de produção agropecuária de baixa emissão de carbono (MAPA, 2018).

1.4 CONFERÊNCIA DE GLASGLOW (COP26)

Já em 2021, trazendo novas questões sobre o setor de transporte, o sexto relatório, publicado pelo Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) mostrou que o planeta atingirá ou excederá a marca de aquecimento de 1,5°C nas próximas duas décadas. O relatório ainda mostra que em um cenário de altas emissões, o mundo pode aquecer alarmantes 5,7°C até o final do século, gerando resultados catastróficos. O IPCC destaca a importância da década atual para que se consiga limitar o aumento da temperatura, ressaltando a importância de zerar as emissões líquidas de GEE até 2050 (IPCC, 2021).

Com a pressão para que os países tenham sucesso no que concerne às mudanças climáticas, a atenção se voltou para a vigésima sexta Conferência das Partes, que ocorreu em Glasgow ao final de 2021. As Partes submeteram suas NDCs visando avançar em direção as metas já estabelecidas no acordo de Paris, seguindo o relatório apresentado pelas Nações Unidas com a análise das contribuições dos 112 países e da União Europeia, a proposta de redução de emissões é de 12% em relação aos níveis de 2010, até 2030. Entretanto, ao considerar os compromissos já existentes, as emissões na verdade aumentariam 16% (UNFCCC, 2021).

A conferência apresentou declarações encorajadoras, com avanços em muitas áreas que não foram tratadas nos acordos anteriores. Durante a COP 26, 120 países se comprometeram a não só conter, mas reduzir o desmatamento até 2030 e mais de 100 países concordaram em reduzir as emissões de GEE até 2030. Mesmo com a postergação para 2023 da famosa meta dos países desenvolvidos fornecerem 100 bilhões de dólares em financiamento climático para as nações em desenvolvimento, 500 empresas de serviços financeiros concordaram em angariar até 130 bilhões de dólares para alcançar as metas do acordo de 2015. Outro importante fator firmado foi o compromisso dos EUA e China em

aumentar sua cooperação, além de reduzir suas emissões de metano e carbono a fim de adotar energia limpa (ONU, 2021).

Uma importante discussão da conferência foi sobre o crédito de carbono, em que acabou sendo aprovado o Artigo 6 do Acordo de Paris. Com forte influência da diplomacia brasileira durante a discussão, que deriva desde o Protocolo de Kyoto, foi decidido além de regras para os Mecanismos de Desenvolvimento Limpo, que os valores dos créditos devem ser incluídos na NDC do país vendedor e subtraídos nos dos países compradores, para que não seja contabilizado duas vezes. Apesar de não haver consenso sobre a utilização de créditos de projetos de Redução de Emissões por Desmatamento e Degradação (REDD) na contabilização dos créditos comercializados no sistema de *cap and trade*, a utilização de créditos florestais foi prevista (SILVEIRA, 2021).

Pela primeira vez um acordo inclui os combustíveis fósseis e seu papel na crise climática, apesar de não abordar os biocombustíveis, o documento final determinou a redução gradativa dos subsídios aos combustíveis fósseis e do uso do carvão. Parte dos signatários também se comprometeram a acabar com as vendas de veículos a combustão no mais tardar até 2040. Apesar da não obrigatoriedade aos signatários, e com a adesão de diversas companhias globais (Ford, General Motors, Volvo, Mercedes-Benz, Jaguar e BYD), a ideia que se reforça é que a mobilidade elétrica é o futuro mostrando quais setores terão dificuldades na transição para economias livres de carbono (UNFCC, 2021).

CAPÍTULO 2: MATRIZ ENERGÉTICA MUNDIAL E AS QUESTÕES CLIMÁTICAS

Os debates climáticos, vistos anteriormente, demonstram o consenso da necessidade de combater o aquecimento do planeta e suas consequências. O principal vilão apresentado nas Conferências das Partes foi o dióxido de carbono proveniente das fontes estacionárias ou difusas, como é o caso da queima de combustíveis fósseis no transporte. Em Kyoto, temos o início do estabelecimento de metas de redução, sendo o primeiro marco em que inúmeros países ratificam um protocolo em prol do meio ambiente. Com o Acordo de Paris e a revisão de como estaria o cumprimento das metas estabelecidas no Japão, existe a ampliação dos países que devem se comprometer a redução dos gases de efeito estufa, para não somente os desenvolvidos, como também os emergentes.

Com toda a pressão para o cumprimento de metas, a principal fonte de matriz energética do mundo entra em evidência como uma das principais causas de poluição e as alternativas renováveis ganham destaque como formas de transição energética sustentáveis. As oportunidades para essas alternativas não advêm apenas de uma questão ambiental, mas também como uma forma de não-dependência absoluta dessa matriz, principalmente por ser um ativo específico em um mercado oligopolista. Para melhor compreensão, será apresentado a seguir a história e importância do petróleo no mundo e no Brasil para se obter a dimensão da dificuldade da transição.

2.1 PETRÓLEO NO MUNDO

Por muito tempo a preocupação mundial quanto a política energética se restringia, de modo geral, a sensibilidade que permeia o mercado do petróleo, por ser uma fonte não renovável de suma importância a vida humana uma vez que é vital para o abastecimento energético e matéria-prima de diversos produtos, mas também é um difusor de impactos ambientais negativos.

O petróleo é um combustível fóssil, rico em hidrocarbonetos e pode ser encontrado no subsolo, mais especificamente em rochas de caráter sedimentar, em profundidades que podem chegar há quilômetros de distância abaixo da superfície (THOMAS et al., 2004). O

registro de sua participação na vida humana remonta à antiguidade, mas sua presença na sociedade moderna data de 1859 com o início da exploração do produto nos Estados Unidos e com isso, foi descoberto que com a destilação do petróleo era possível substituir o carvão como fonte energética, o que se intensificou com a invenção de motores a gasolina e a diesel (MARTINS, 2015).

Foi com o avanço da indústria automobilística que o petróleo passou a ser cada vez mais explorado e teve sua exploração intensificada com as duas guerras mundiais devido à grande quantidade de combustível necessária para movimentar os veículos usados no combate. Foi durante o século passado que emergiram companhias multinacionais que monopolizaram as zonas produtoras de petróleo, espalhadas pelo mundo, mas concentradas no oriente médio. Conhecidas como “sete irmãs”, são elas: Exxon, Chevron, Móbil, Texano, Gulf, British Petroleum e Shell (MARTINS, 2015).

Até 1945, os Estados Unidos era o maior produtor do mundo, seguido de México, Rússia, Irã e Iraque apesar de novas descobertas serem feitas em países da América Latina e Oriente Médio, o que intensificava ainda mais as buscas de novas jazidas por quem já dominava o setor. Com isso, ao final dos anos 50 já é notório o surgimento de uma nova dinâmica da indústria em que, apesar dos EUA ainda deter a maior parte da produção, o oriente começa a se destacar cada vez mais, gerando novas atividades exploratórias, como a marinha (THOMAS et al., 2004).

Devido a conjuntura de fatores que circundavam a indústria petrolífera e a busca dos países em aumentar sua produção do petróleo a fim de possuir poder sobre a principal fonte de matriz energética mundial, foi notório, nas décadas de 60 e 70, a percepção de que as reservas se multiplicavam com o aumento das necessidades de consumo da população global, uma vez que crescia a medida que existia uma melhora gradual dos indicadores econômicos das grandes nações que se recuperavam do pós-guerra. Assim, visando se organizarem para conter coletivamente a tendência de baixa de preços do produto, surgiu a OPEP (Organização dos Países Exportadores de Petróleo) com objetivo de defender a posição dos países produtores contra a política de preços das empresas estrangeiras e garantir a estabilidade na cotação.

A década de 70 foi marcada por grandes descobertas de petróleo, iniciou-se exploração em locais como Mar do Norte e México, os EUA se deparavam com um esgotamento de suas reservas o que incentivou avanços tecnológicos a fim de recuperar

petróleo em jazidas já conhecidas e procurar novas por meio de interpretação de dados sísmicos. Com esses avanços, os custos de exploração reduziram significativamente e surge um novo ciclo econômico para a indústria petrolífera (THOMAS et al., 2004).

Nessa mesma década, somado ao esgotamento de suas reservas, os Estados Unidos enfrentavam ataques especulativos devido ao dólar supervalorizado e um déficit, causado pela recuperação das nações no pós-guerra e gastos com a Guerra Fria. Foi anunciado, portanto, uma desvalorização do dólar em 12% (REZENDE FILHO, 2007). A perda de valorda moeda não só desorganizou a economia internacional, mas também obrigou os produtoresde petróleo a reavaliarem seus preços. Com isso, na Conferência da OPEP, em 1971, foi elaborada a resolução XXI/20 visando a determinação de uniformidades de preços de referência do barril e um progressivo aumento do mesmo (MARINHO JUNIOR, 1989).

Para compensar o impacto da decisão de desvalorizar o dólar, países membros da OPEP, ajustaram *royalties* e taxas das petroleiras, além de aumento de 5,7% do preço do barril. Enquanto o preço era definido, havia problemas de abandono de fontes causado pela expropriação no Iraque, além de outras questões no Oriente Médio como a baixa produção da Líbia e o fechamento do canal de Suez (MARINHO JUNIOR, 1989). Esses acontecimentos, juntamente com o aumento de poder da OPEP, como também da OPAEP (Organização dos países árabes exportadores de petróleo), criado em 1968, além das guerras árabes-israelenses, convergiram para que ocorresse o choque do petróleo de 1973. Ou seja, o choque só esclareceu que os países exportadores legitimaram sua posição como manipulador de preços da principal matriz energética mundial.

A consequência da crise impactou os países de formas bem diferentes. Enquanto os europeus e japoneses conseguiram implementar medidas eficazes que conseguiram absorver a vulnerabilidade do cenário, fruto de uma consolidação de seus economias e busca por outras fontes de energia, os países periféricos, como o Brasil, tiveram que procurar por empréstimos para que conseguissem garantir o pagamento das suas importações. Embora o Brasil já produzisse petróleo, até o momento o consumo nacional dependia majoritariamente das suas importações.

Em 1979, causado pela continua desvalorização do dólar e pela revolução iraniana, surgiu a segunda crise do petróleo. Somado as altas de preços do barril de petróleo, os EUA em uma tentativa de reestabelecer o poder de compra dos norte-americanos, aumentou suas taxas de juros e assim, agravou a recessão e o endividamento do terceiro mundo. Com esse

cenário, o mundo enfrenta um surto inflacionário e recessão econômica. No que tange a matriz energética, a necessidade de procurar fontes alternativas de energia começou a se intensificar com as crises.

2.2 PETRÓLEO NO BRASIL

No Brasil, a história do petróleo se inicia em 1891 quando foram realizadas as primeiras pesquisas com relação as áreas do território brasileiro que deveriam ser exploradas a fim de verificar a existência de petróleo, especialmente em Alagoas, devido a presença de sedimentos betuminosos. Foi somente em 1897 que ocorreu a perfuração do primeiro poço em São Paulo. Já no século XX, o país passou por vários órgãos relacionados ao setor petrolífero, sendo que em 1919, o Serviço Geológico e Mineralógico do Brasil atuou na perfuração de 63 poços em diversos estados brasileiros. Com o passar do tempo e com a criação do Departamento Nacional de Produção Mineral, em 1938, foi descoberto o primeiro campo de exploração comercial e criado o Conselho Nacional do Petróleo, como responsável da definição política petrolífera (DIAS; QUAGLINO,1993).

Seguindo a tendência mundial, com o aumento da demanda pelo petróleo e seus derivados e a evolução do conhecimento geológico, foi instituído o monopólio estatal do petróleo, que culminou na criação da Petrobras, em 1954, a fim de não só gerenciar, mas possuir a responsabilidade do segmento na indústria nacional (PETROBRAS, 2012). Nos anos 60, pouco depois da criação da empresa, as explorações deixam de acontecer apenas em terra e avançam para o mar em plataformas submarinas. As explorações que antes se limitavam ao nordeste do país avançaram para o Espírito Santo, com a bacia de São Mateus e Ubarana, e no Rio de Janeiro com a Bacia de Campos.

Já na década de 70, com a finalidade de comercializar e industrializar os derivados do petróleo, é criada a Petrobras Distribuidora como forma de viabilizar o desenvolvimento nacional visto que se iniciavam as crises do produto. Os investimentos, nesse período, somaram-se US\$ 5 bilhões em exploração e desenvolvimento na produção, isto ocorreu por causa de importantes descobertas de bacias em porções marítimas, marcando uma fase importante na exploração (LUCCHESI, 1998).

Essa nova fase é marcada pela necessidade de aumentar a produção interna visto que com a crise, o preço do barril impactava na balança comercial brasileira. Com o segundo choque do petróleo, a exploração em jazidas de águas mais profundas se tornou viável com o aumento dos investimentos e a Bacia de Campos representou esperança nesse momento, visto que bacias terrestres estavam em declínio. Devido a importância dessa Bacia que empresas internacionais, conhecidas como “7 irmãs” se juntaram com a Petrobrás e outras companhias brasileiras para assinar contratos de risco.

Foi notório não só no Brasil, como no mundo, que a busca pelo óleo negro encontrou um caminho irreversível para o mar. Ao longo dos anos 90, a empresa nacional já havia construído conhecimento capaz de especificar e aprimorar seus próprios equipamentos, sem depender de diversos fornecedores. Foi desenvolvido sistemas de produção em águas profundas e utilizado sísmicas 3D para otimizar tempo e custo, e quando mostravam resultados, cada vez mais novas frentes exploratórias foram iniciadas (MORAIS, 2013).

No final dos anos 90, entrou em vigência a lei 9478/97 que determinava a conclusão de projetos exploratórios tanto em andamento, quanto descobertas recentes, mas que não estivessem mostrando resultados de fato, dando um prazo de três anos para que se iniciasse uma produção comercial. Com a redução dessas áreas, mas com o intuito de abrir o setor do petróleo brasileiro, iniciou-se um processo de formação de parceria com empresas interessadas na oportunidade, o que atrairia novos investimentos ao país. Mesmo com a entrada de estrangeiros no setor, a Petrobrás detém preferência nos casos considerados mais produtivos e com isso, é responsável por cerca de 93% da produção (MACHADO, 2021).

A produção de petróleo *offshore*, ou seja, plataformas petrolíferas em alto mar, representam cerca de um terço da produção mundial. Com os avanços da tecnologia, de equipamentos e das unidades flutuantes de produção tornaram possível explorar águas mais profundas, embora a exigência de investimento seja muito superior ao de águas rasas ou terra. Sendo assim, a maioria opera apenas em águas rasas, com exceção de quatro países: Brasil, Estados Unidos, Angola e Noruega. Esses países fogem do convencional do setor petrolífero e tem suas operações principalmente em águas profundas e ultra profundas e Brasil e Estados Unidos juntos reúnem mais de 90% dessa produção global (EIA, 2016).

O Brasil lidera o mundo em desenvolvimento de projetos em águas não rasas, sendo que uma quantidade crescente dessa produção vem de recursos do pré-sal encontradas sob

camadas de sal em profundidades extremas. Segundo dados da Agência Internacional de Energia (AIE), foram consumidos 100,1 milhões barris por dia (b/d) de petróleo no mundo, em 2019, com pequena queda nos anos seguintes devido a pandemia. O Brasil ocupou a posição de oitavo maior produtor mundial, com Estados Unidos sendo o líder, ultrapassando a Rússia e a Arábia Saudita desde 2015, pela primeira vez desde 1975, com uma crescente produção derivada de descobertas de reservas de óleo não convencionais (óleo de xisto) (CBIE, 2019). Apesar de produzir petróleo suficiente para atender o mercado interno, o Brasil precisa recorrer a importações por não conseguir refinar todo seu petróleo, exportando o excedente de forma bruta.

2.3 A EMISSÃO DE GASES DE EFEITO ESTUFA E A QUESTÃO DOS COMBUSTÍVEIS FÓSSEIS

Segundo dados do World Resources Institute (2019), o consumo de energia representa cerca de 73% das emissões de gases de efeito estufa de todo o mundo, esse setor engloba transporte, eletricidade e geração de calor, edifícios, fabricação e construção, emissões fugitivas e outras queimas de combustível.. Dentro desse percentual, os dados mostram que a geração de calor e eletricidade é responsável pela maior parte das emissões (30%), seguido do transporte com (15%), sendo um dos que mais cresceram, quando comparado ao ano de 1990, seu crescimento foi de 71%.

As projeções do International Energy Outlook (EIA) mostram que o consumo mundial de energia pode aumentar 50% até 2035 e sendo assim, a demanda por combustíveis fósseis pode duplicar no futuro. Esses combustíveis fósseis, tais como, carvão, gás, natural e os derivados do petróleo (gasolina, óleo, diesel, óleos combustíveis, entre outros) está associada a emissões de GEEs.

Dentre os gases de efeito estufa, o dióxido de carbono (CO₂) detém 74% das emissões, sendo que cerca de 90% são devido ao uso de combustíveis fósseis, principalmente ao setor de energia. Entre as emissões produzidas pelo homem, o uso da terra, mudança do uso da terra e silvicultura representam 7% das emissões, principalmente quando se leva em conta o desmatamento. Alguns gases provenientes da agropecuária, tratamento de resíduos e queima de gás, como o NH₄ e N₂O, apresentam 17% e 6% de participação, respectivamente (CAIT, 2019).

Os gases mencionados apresentam diferentes tipos de GWP (potenciais de aquecimentos globais). O dióxido de carbono apresenta GWP igual a um, o metano igual a 21 e o óxido nitroso igual a 310, ou seja, a capacidade de absorver radiação dos outros gases é muito maior que a do CO₂, mas devido a maior representatividade deste na atmosfera, os gases mais danosos possuem suas oportunidades de mitigação negligenciadas (PENNA, 1999).

O transporte, o qual envolve rodoviário, ferroviário, aéreo e marítimo, representa um quarto das emissões de CO₂, e como visto anteriormente, ganha destaque quando se trata de mitigação das mudanças climáticas e representa um desafio no cumprimento dos objetivos mundiais firmados nos acordos climáticos. Entre os tipos de transporte, embora tenha ocorrido um aumento significativo em meios de transporte aéreo e marítimo, o que causa maior impacto das emissões no setor de transportes é o rodoviário, que também é responsável pelo aumento de 80 % das emissões entre 1970 e 2010 (WORLD RESOURCES INSTITUTE, 2021).

O aumento é notado principalmente em países desenvolvidos e em desenvolvimento, e, segundo dados do Climate Watch (2019), os EUA se encontra em primeiro lugar como maior emissor de gases de efeito estufa, seguido da China e União Europeia, Índia e Rússia, enquanto o Brasil está em sétima posição. Os países que ocupam os cinco primeiros lugares do ranking somam 60% das emissões de CO₂.

O crescimento da taxa de emissões de GEE apresenta queda em países membros da OECD (Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico), cerca de 13% dos países membros não mostraram um crescimento das suas emissões relacionados ao transporte com uma década de antecedência ao Protocolo de Kyoto, e até a assinatura do Acordo de Paris o número de países membros passou para 77%. Em contraste, cerca de 30% dos países que não fazem parte da organização aumentaram suas taxas anuais de emissões em 5%. Com uma análise recente, o crescimento das emissões é liderado pela Ásia e África (SLOCAT, 2018).

O Transport and Climate Change 218 Global Status Report destaca que a principal fonte de energia no transporte advém de combustíveis fósseis e em 2016 representava 94% dos combustíveis utilizados sendo que o setor é dominado pelo uso de gasolina e diesel, ambos derivados do petróleo. A demanda de petróleo no setor mostrou um aumento de 25%,

representando quase dois terços de todo consumo global de petróleo em 2015, com metade do consumo sendo via transporte rodoviário.

A gasolina e o diesel, como visto anteriormente, são os combustíveis mais presentes no transporte rodoviário e embora a utilização de ambos seja de extrema importância, também são a causa de boa parte das emissões de GEE. A gasolina é mais utilizada em veículos leves e possui rendimento superior aos demais combustíveis, o que o torna mais atrativo apesar do preço mais elevado. O diesel movimenta motores de grande porte, seja para transporte ou utilização no setor agropecuário e mesmo que os motores movidos a diesel consumam menos combustível do que os movidos a gasolina, sua emissão também é maior.

CAPÍTULO 3: BIOCOMBUSTÍVEIS

Visto o contexto de mitigação das emissões de gases de efeito estufa, apresentadas nas Conferências das Partes, novas formas de geração de energia são necessárias porque as principais fontes das matrizes atuais não são sustentáveis. Por isso, como forma de trazer alternativas mais sustentáveis e menos poluentes no transporte, tem crescido a utilização de biocombustíveis.

O aumento do interesse pelo uso dos biocombustíveis líquidos para o transporte não se deu apenas pela preocupação climáticas, mas como também pela preocupação com as alterações do preço do barril de petróleo, e questões estratégicas sobre a dependência das regiões politicamente instáveis, mas que atuam intensamente na produção de petróleo. O relatório do Grupo III do Painel Intergovernamental para Mudanças Climáticas (IPCC, 2007), dois anos depois da ratificação do Protocolo de Kyoto, destaca a importância dos biocombustíveis como forma de promover a segurança energética, beneficiar a economia rural e ainda assim, reduzir as emissões veiculares.

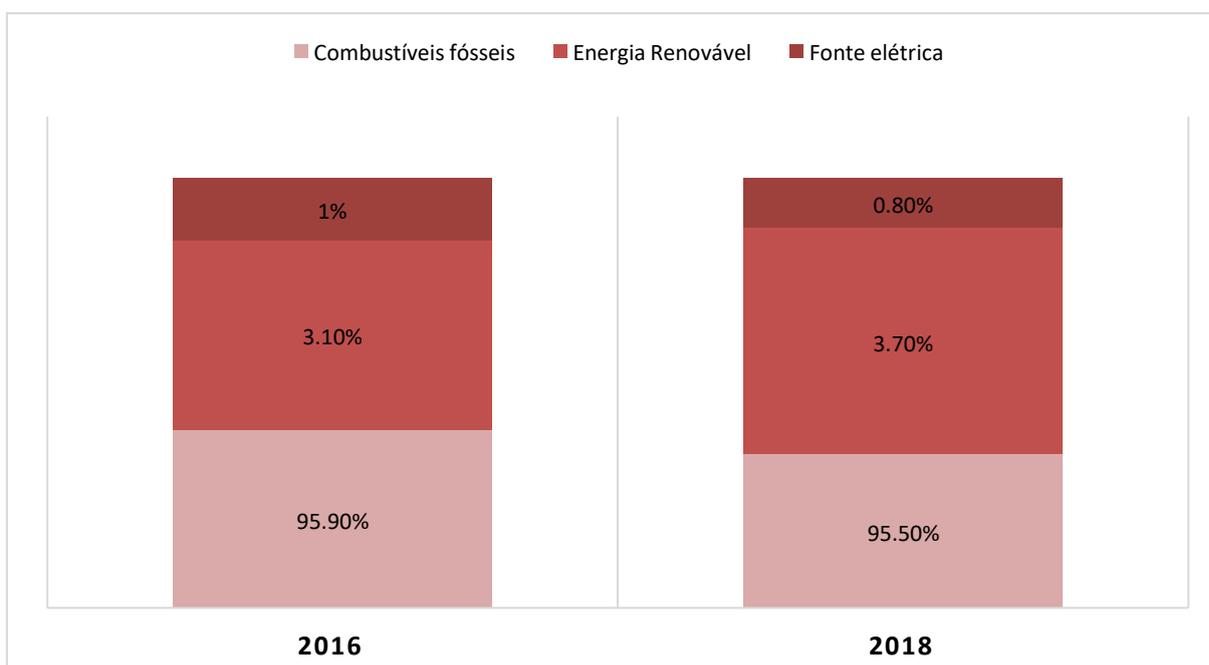
Os biocombustíveis são utilizados como forma de geração de energia e em motores de combustão interna e são produzidos a partir de biomassa renovável como forma de substituição dos combustíveis fósseis, podendo ser efetuada de forma parcial ou total. Considera-se como biomassa as matérias-primas de origem vegetal e animal, alguns exemplos são o etanol e o biodiesel (URQUIAGA et al, 2005).

Essas fontes alternativas de combustíveis são geradas a partir de biomassas, ou seja, materiais de origem orgânica, que ao capturar o CO₂ da atmosfera para seu desenvolvimento, acumula açúcares ou amidos que podem ser transformados, por meio de hidrólise, fermentação e destilação, em combustíveis com a vantagem de neutralizar, em sua maioria, a emissão de dióxido de carbono produzida no processo de combustão.

Segundo Pessuti (2003), 2,2% da energia consumida no mundo era de origem renovável e destacava o potencial para a exploração dessas fontes, ainda em 2015 os dados levantados no TCC-GRS mostravam que apenas 3% da energia consumida era renovável, ou seja, em mais de uma década e mesmo com as metas estabelecidas pelo Protocolo de Kyoto, os biocombustíveis ainda não eram aproveitados significativamente, ainda que com um potencial importante.

Com a pressão aumentando e a ratificação do Acordo de Paris, em 2015, a atenção se volta para essas alternativas e a bioeconomia se torna crucial para alcançar os efeitos almejados e uma limitação do aumento da temperatura da terra. O gráfico 1 mostra a relação entre os tipos de uso de energia no setor de transporte entre 2016 e 2018, o aumento de menos de 1% no uso de combustíveis renováveis mostra que o processo de mudança é demorado, ainda que crescente quando comparado com as demais formas.

Gráfico 1- Consumo de energia no transporte (2016 e 2018)



Fonte: SLOCAT Transport and Climate Change Global Status Report (2021); Elaboração Própria

Segundo a AIE (2022), ainda que o transporte tenha a menor penetração das energias renováveis, a expectativa entre 2018 e 2023 é de um crescimento de 19%, ainda pequeno quando se compara com o crescimento de demanda de combustíveis para transporte, a parcela de importância das opções renováveis atinge uma porcentagem de apenas 12%. A produção dos biocombustíveis deve aumentar cerca de 15%, atingindo 165 bilhões de litros até 2023, representando 90% das energias renováveis enquanto os outros 10% têm relação com a expansão da mobilidade elétrica. Apesar de ainda pequena a participação de biocombustíveis, sua importância é relevante dado a redução de emissões

3.1 ETANOL

O etanol, substituto da gasolina no setor de transportes, é feito a partir da fermentação dos açúcares e cereais presentes na cana-de-açúcar, como é o caso mais frequente no Brasil, ou a partir do milho e da beterraba. Há dois tipos de etanol diferentes, o hidratado e o anidro e sua diferença é o teor de água em sua constituição: cerca de 0,5% no anidro e de 5% no hidratado. O anidro é utilizado como aditivo na gasolina enquanto o hidratado pode ser utilizado em veículos com motores projetados para este combustível, motores a álcool ou do tipo *flex fuel* (ÚNICA, 2007).

Quando comparada a produtividade dos dois tipos de etanol mais frequente, temos que o proveniente da cana ganha destaque no rendimento de álcool, a cada hectare de planta de cana são gerados de 60 a 120 toneladas, enquanto o milho produz de 15 a 20 toneladas. Com isso, o rendimento em litros por hectare utilizando a cana como matéria-prima pode gerar até 10.800 litros, enquanto quando utilizado o milho pode gerar até 4.600 (BNDES & CGEE, 2008).

Como os biocombustíveis possuem notoriedade e importância na mitigação as mudanças climáticas, suas emissões de CO₂ diferem, apesar de ambas serem positivas quando analisado as emissões da gasolina. A diferença entre elas deriva da forma como a matéria-prima é produzida, ou seja, a real economia de energia não-renovável. Sendo assim, o levantamento feito pelo BNDES e CGEE (2008) mostra que a emissão total de GEE na produção do etanol de milho é muito maior pois quando analisado o balanço energético temos que o biocombustível do milho emite cerca de 1,7 Kg de CO₂ por litro produzido, enquanto o etanol emite apenas 0,248.

Tabela 1- Emissão total da produção do etanol e emissões evitadas comparado ao uso da gasolina

	Emissão total da produção do etanol ((kg CO₂ eq/l))	Emissões Evitadas
Etanol da Cana-de-açúcar	0,248	89%
Etanol do Milho	1,696	30%-38%

Fonte: laboração própria com base nos dados do BNDES & CGEE (2008)

Os maiores produtores do etanol são os Estados Unidos, produzindo em sua maioria o produto feito do milho, e o Brasil, produzindo a partir da cana-de-açúcar. Na tabela, a seguir, fica claro a participação dos dois países na produção mundial entre os anos de 2017 e 2021. O crescimento é conduzido pelo Brasil, que aumentou cerca de 6 bilhões a sua produção, seguido da China e Tailândia. Ainda que a China tenha mostrado um crescimento de três quartos da sua produção de 2017, o mercado é dominado pelos Estados Unidos e Brasil, que representam 80% do total produzido.

Tabela 2- Produção de etanol (bilhões de litros)

	Estados Unidos	Brasil	União Europeia	Índia	China	Tailândia	Canadá	Resto do mundo
2017	61,6	27,7	5	0,8	3,5	1,5	1,7	2,2
2018	62,3	31,8	5,3	1,2	4	1,5	1,9	2,1
2019	62,4	32,1	5,3	1,3	4,6	1,5	2	2,5
2020	61,3	33	5,8	1,6	5,2	1,7	2	3,3
2021	60,7	33,3	5,4	1,9	5,7	1,9	2	3,4

Fonte: IEA (2018); Elaboração própria

O etanol é a fonte renovável para o setor de transporte produzida em larga escala para suprir a demanda dos veículos leves. Como visto, sua produção feita a partir do milho, da beterraba e da cana levanta questões uma vez que compete com a produção dos alimentos derivados desses. Sendo assim, como forma de aliar a crescente demanda por energias renováveis como forma de atenuar os cenários de alta dependência dos combustíveis fósseis e aumento das emissões de gases de efeito estufa, alternativas surgiram nos últimos anos para a obtenção de etanol de segunda geração.

Segundo Romero (2008), o etanol de segunda geração é capaz de aumentar o rendimento da produção da cana ou outras matérias-primas vegetais em até 100% já que sua produção depende dos resíduos, como o bagaço e a palha, do que já seria produzido. Esse

etanol celulósico mostra grande potencial já que sua produção não depende da expansão de terra plantada e sim, do reaproveitamento dos resíduos da produção como fontes de celulose que contêm boa parte do potencial energético da planta.

3.2 REGULAMENTAÇÕES DOS BIOCOMBUSTÍVEIS

Os biocombustíveis são aliados na mitigação as mudanças climáticas no setor de transporte quando analisado suas emissões, principalmente do dióxido de carbono, entretanto, a forma como é produzido levanta questões se de fato toda sua cadeia produtiva é sustentável no combate ao aumento da temperatura da terra.

Ao longo das últimas duas décadas, as fontes alternativas de energia para o transporte dividiram opiniões já que embora mostrem ser meios de substituição dos derivados do petróleo que impactam tão negativamente o meio ambiente, sua produção pode não ser sustentável uma vez que possa existir falta de responsabilidade ambiental e responsabilidade social, além de ocupar enormes extensões de terra que concorrem com a produção de alimentos.

Uma maior adoção do etanol em âmbito mundial, pode fazer com que o setor tenha um *boom* e o produto venha a ser uma *commodity* mundial, mas para isso, é necessário que cumpra certos critérios de sustentabilidade, para garantir muito mais do que só a qualidade e rendimento do produto. Com isso, as certificações, de caráter público ou privado, surgem como uma forma de testar a responsabilidade socioambiental da cadeia produtiva do etanol, além da viabilidade econômica e as adoções e práticas de critérios técnicos para provar se o etanol atende ou não os critérios exigidos no mercado internacional (ESPÍNDOLA, 2009).

Alguns países adotaram mandatos para um maior uso dos biocombustíveis como meta para redução de gases de efeito estufa além de menor dependência de combustíveis fósseis. No caso do etanol, o Brasil é o país que ganha destaque não só pela sua produção de biocombustível como também pelo seu mandato obrigatório, deve-se adicionar de 18% a 27,5% do etanol à gasolina. O Paraguai segue a mesma tendência de obrigatoriedade com um mandato de 25% e em terceiro lugar com maior taxa temos a Argentina com 10%. Muitos países têm mandatos gerais, mas que nem sempre são cumpridos como a Finlândia e Noruega com 20% e Países Baixos com 16,4%. Os Estados Unidos e União Europeia recentemente

adotaram a mistura E10 (10% de etanol) (TORROBA, 2021).

No caso da União Europeia, importante *player* do mercado, foi lançado uma Diretiva de Energia Renovável, em 2009, estabelecendo uma meta para que toda fonte de energia fosse ao menos 20% de origem renovável até 2020, sendo 10% é direcionada ao setor mais poluente: o transporte. Em 2018 entrou em vigor uma versão revista da diretiva que tem como finalidade colocar a EU em posição de liderança das energias renováveis até 2030, aliado assuas metas do Acordo de Paris. Sendo assim, a porcentagem de energias renováveis sobe para 32% sendo que a quota de combustíveis renováveis aumentou para 14%, além de 3,5% serem destinados somente aos biocombustíveis renováveis e biogás.

Como forma de limitar a expansão dos biocombustíveis que não geram economias líquidas de emissões de gases de efeito estufa na UE, foram estabelecidos critérios de sustentabilidade que podem ser desmembrados em doze fatores diferentes: Legalidade; Direitos Humanos e Trabalhistas; Segurança Alimentar Local; Emissões de Gases de Efeito Estufa; Direitos Fundiários; Desenvolvimento Rural e Social; Planejamento, Monitoramento e Melhoria Contínua; Conservação; Uso de Tecnologia, Insumos e Gestão de Resíduos, Água, Solo e Ar (GLENISTER & NUNES, 2011).

Pouco tempo depois da publicação da Diretiva, a União Europeia esclareceu como os Estados que fazem parte da indústria de biocombustíveis poderiam ter seu produto dentro dos seus critérios, uma vez que é um importante importador do mercado. Para que conseguissem demonstrar estarem de acordo com seus critérios de sustentabilidade, foi possível que eles usassem certificados voluntários.

A diretiva da EU é uma iniciativa regional apoiada pelo Comitê Europeu para as iniciativas de normalização (CEN), e assim como na Europa, em diversos locais do mundo foram implementadas iniciativas nacionais. No caso dos EUA, outro importante *player* existe a Norma de Combustíveis Renováveis (RFS, da sigla em inglês de Renewable Fuel Standard) junto com o Comitê de Recursos Atmosféricos da Califórnia (CARB) e o Conselho de Produção de Biocombustíveis Sustentáveis (CSBP). O RFS implementa regulamentações para garantir que os veículos no país possuam uma quantidade mínima de combustível renovável, além de aplicar padrões de limites de desempenho de ciclo de vida de GEE para certificar que os biocombustíveis de fato emitem menos gases do que seus substitutos fósseis. Então, para que o biocombustível seja de fato considerado como uma fonte renovável, toda sua cadeia precisa garantir um padrão de sustentabilidade, ou seja, em todas as etapas como produção, manuseio e transporte. Sua fabricação não pode advir de matéria-prima de áreas

que antes eram cobertas por florestas ou áreas de preservação ambiental e as entidades dentro de sua cadeia, desde a fazenda até o fornecedor final precisam estar dentro de uma rastreabilidade de sustentabilidade para provar seu valor. A certificação, nesse contexto, refere-se à emissão de garantia por escrito (o certificado) por um organismo independente e externo - um organismo de certificação - que auditou um sistema de gestão da organização e verificou que este está em conformidade com o padrão específico. Na prática, o certificado é emitido quando um produtor de um produto (ou processo) respondeu, ou confirma que é capaz de responder a um conjunto de questões padronizadas divididas de acordo com os princípios que compõem o padrão respectivo (Dias-Chavez; Woods, 2007).

Os sete esquemas de certificação voluntária aprovados pela União Europeia em 2009 possuem características em comum como normas de produção, em que são avaliados a produção e processamento sustentável; norma de cadeia de custódia proporcionando aos compradores esquemas com uma visão completa da rastreabilidade do produto de volta a fonte e o EU RED, que incluem todos os elementos exigidos dentro da diretiva (PEROSA, 2012). São eles:

- Certificação Internacional de Sustentabilidade de Carbono (ISCC): estabelece um sistema orientado internacionalmente para certificação de biomassa e bioenergia, compreendendo a redução das emissões de GEE, uso sustentável da terra, proteção ambiental e sustentabilidade social.
- Bonsucro (anteriormente mais conhecido como Iniciativa para uma Melhor Cana de Açúcar): Concentra-se em melhorar a sustentabilidade social, econômica e ambiental da cana ao promover uma norma global como maneira de melhorar a sua produção e processamento. Como consequência da sua norma de sustentabilidade, os compradores de cana podem escolher o açúcar produzido de acordo com os critérios acordados.
- Mesa Redonda para a Soja Responsável (RTRS): voltada para a soja, é uma iniciativa internacional para promover o uso e crescimento responsável da produção de soja.
- Mesa Redonda para os Combustíveis Sustentáveis (RSB): iniciativa internacional coordenada na Suíça, como forma de coordenar os esforços mundiais para garantir que os biocombustíveis são sustentáveis.

- Sustentabilidade de Biocombustíveis de Biomassa 2BSvs: desenvolvido pelos produtores franceses para todos os produtores de biocombustíveis e biomassa do mundo, como forma de proporcionar meios pelos quais eles podem demonstrar a sustentabilidade dos seus produtos
- Norma de Garantia de Sustentabilidade Bioenergética RED (RBSA): certificação voltada para a utilização de energia derivada de fontes renováveis seguindo o padrão de critérios da RED.
- Greenergy - Energia Verde (Programa de Verificação de Bioetanol Brasileiro: Este esquema abrange o bioetanol de cana-de-açúcar produzido no Brasil.

Embora possuam diversas características em comum, diferenciam-se na forma como foram criadas. A ISCC foi elaborada pelo governo Alemão, a 2BSvs, Greenergy e RSBA foram criadas por instituições privadas europeias e a Bonsucro, RSB e RTRS por um colegiado multipartidário.

Existem ainda iniciativas internacionais de sustentabilidade institucional, como o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA) e a organização Internacional de Normalização (ISO). A PNUMA atua em várias áreas com o foco ambiental e no que tange aos biocombustíveis, o órgão cobre uma análise de ciclo de vida, água como fator limitador, questões e impactos da mudança do uso da terra, além de exigir mandatos, metas e normas das nações explicitando os impactos da produção dos combustíveis renováveis se não forem gerenciadas de forma precisa. Por último, a ISO desenvolve e publica normas internacionais e estabeleceu normas para que exista melhores práticas para discutir os aspectos sociais, econômicos e ambientais da bioenergia.

3.3 POLÍTICAS PARA OS BIOCOMBUSTÍVEIS NO BRASIL

O Brasil foi pioneiro na produção e utilização do etanol como biocombustível em larga escala. Durante a década de 70, em meio à crise do petróleo, revelou-se uma necessidade de substituir a tão dependente demanda da gasolina pelo etanol. No início foi lançado o Programa Nacional do Álcool (Proálcool), pelo decreto nº76.593, visando alavancar a força do etanol como aditivo da gasolina, que na época era em torno de 24%. Posteriormente, ao final da década e com a eclosão de mais um choque do petróleo, foi identificado uma necessidade de adaptar os motores dos veículos para conseguir funcionar movido ao etanol hidratado, sem precisar ser utilizado somente em porcentagens menores como aditivo.

Uma das finalidades do programa era encorajar a substituição da gasolina pelo álcool e com isso, diminuir as importações de petróleo. No começo dos anos 80, com o segundo choque e o preço do barril tendo triplicado, medidas foram adotadas para agilizar o programa e a produção se eleva em cerca de 15% da meta inicial de 10,7 bilhões de litros. O maior incentivo ao setor tinha origem do governo, com subsídios ao consumo e isenção tarifários, os quais foram extintos com a desregulamentação do setor e extinção do Instituto do Açúcar e álcool, em 1990.

Com o fim da intervenção estatal, surge uma nova oportunidade para o etanol com a promulgação da Lei nº 8.723, em 1993, como parte integrante da Política Nacional do Meio Ambiente e que determinava aos fabricantes de motores e veículos automotores e aos fabricantes de combustíveis, uma obrigatoriedade de redução dos níveis de emissão dos GEE nos veículos comercializados no país (SENADO, 1993). Com essa lei, foi assegurada a demanda do biocombustível ao menos como aditivo à gasolina e, por se tratar de uma finalidade ambiental, eleva o etanol como um aliado do meio ambiente.

No século XXI, há uma expansão dos canaviais como uma maneira de conseguir expandir a demanda do combustível alternativo em grande escala, já que o interesse crescia no mundo uma vez que, com o Protocolo de Kyoto, a necessidade de redução dos GEE agora era uma meta dos países do Anexo I. O plantio brasileiro avançou principalmente no interior paulista e no Nordeste e, visto que o setor deixou de ser comandado pelo governo, a corrida para ampliar a produção e construir novas unidades produtivas e usinas se torna do interesse privado.

Para alavancar ainda mais a demanda, ao menos interna, do produto, foi introduzida, em 2003, a tecnologia *flex fuel*. Essa tecnologia permite que o carro consiga ser movido por

ambos os combustíveis, gasolina e etanol anidro, ou com a mistura em qualquer proporção. A produção de automóveis biocombustíveis passou a ser muito aceita pelos consumidores e chegou a ultrapassar a de carros movidos somente a gasolina e em 2006, representou 58% dos veículos brasileiros (ALVES & BRANDAO, 2007).

O Acordo de Paris, proposto na COP 21 em 2015, surgiu com a concepção da comunidade internacional para estabelecer metas mais efetivas para prevenir o superaquecimento da terra e o limitar a 1,5°C por meio dos esforços conjuntos de cada país e foi destacado a necessidade de transição para fontes de energia renováveis. Neste acordo, diferentemente do que ocorreu em Kyoto, cada país ficaria responsável por apresentar suas Contribuições Nacionalmente Determinadas, em que seria obrigatório a adoção de medidas para diminuir a emissão de carbono em comparativo com taxas anteriores.

O Brasil comprometeu-se a reduzir as suas emissões de gases efeito estufa em 37% abaixo dos níveis de 2005 em 2025 e em 43% em 2030. Além da restauração e reflorestamento, a participação de energia renováveis na matriz energética deveria ser de 45% em 2030. Sendo assim, em 2017, foi proposto a Política Nacional de Biocombustíveis (RenovaBio) com a sanção da Lei Nº 13.576/17, sendo uma política do Estado que regulamenta todos os biocombustíveis (incluindo os de segunda geração) na matriz energética brasileira para contribuir com a segurança energética, previsibilidade do mercado e mitigação das emissões dos gases.

O RenovaBio atua em três diferentes eixos: metas de descarbonização; certificação da produção de biocombustíveis e Crédito de Descarbonização (CBIO). O primeiro eixo estabelece metas para as distribuidoras em que deve ser feita retirada de circulação de CBIOs em quantidades correspondentes a suas metas. No segundo, há certificação voluntária da produção e em troca, os produtores ganham notas de eficiência energético-ambiental e essas notas são multiplicadas pelo volume do biocombustível comercializado, que resulta na quantidade de CBIOs que o produtor poderá vender no mercado.

Em comparação aos EUA, maior concorrente no mercado do etanol, apesar do pioneirismo brasileiro, o país ficou estagnado por décadas enquanto nos EUA a ideia inicial foi não só ambiental, mas criar valor a partir da precificação do ciclo de vida dos combustíveis, como forma de lidar com as externalidades ambientais, e isso se reflete em sua regulamentação como o RFS. Em contrapartida, ambas regulamentações impõem metas que autorregulam o preço dos créditos e a viabilidade de expansão da oferta de combustíveis renováveis (FAZZI et al, 2020).

CAPÍTULO 4: A PRODUÇÃO E COMERCIALIZAÇÃO DO ETANOL BRASILEIRO

Como visto nos capítulos anteriores, os debates ambientais nas últimas décadas mostram a importância de alternativas renováveis e sustentáveis nos setores mais poluentes, entre eles, o setor de transporte. Com isso, dado que o etanol é não só um substituto nos veículos de ciclo otto, mas também um aditivo à gasolina, tem-se que os biocombustíveis, com destaque ao etanol brasileiro, possuem grandes oportunidades de crescimento do mercado devido a sua importância na mitigação das mudanças climáticas, embora apresente desafios no mercado internacional. O período de dados escolhido é de 2011 até 2021, exceto na apresentação da produção por safra em que foram obtidos dados a partir do começo do século para mostrar o efeito do começo das discussões climáticas e criação de carros flex.

Será apresentado, neste capítulo, dados sobre a produção do produto brasileiro ao longo dos anos, do consumo mundial, das relações de exportações por os principais players do setor, além das expectativas futuras e riscos do mercado considerando os cenários atuais.

4.1 PRODUÇÃO BRASILEIRA

A agroindústria canavieira foi objeto de um forte protecionismo estatal que remonta até o final do século XX. O Estado controlava o setor e embora o Brasil tenha sido pioneiro na produção de etanol, alguns rearranjos institucionais impediram que os produtores procurassem alternativas tecnológicas que pudessem reduzir custos ou proporcionar maior competitividade mundial, visto que suas sobrevivências eram garantidas pelo governo por meio de quotas de produção, fixação de preços até mesmo concessão de subsídios, o que foi intensificado com a criação do Próalcool.

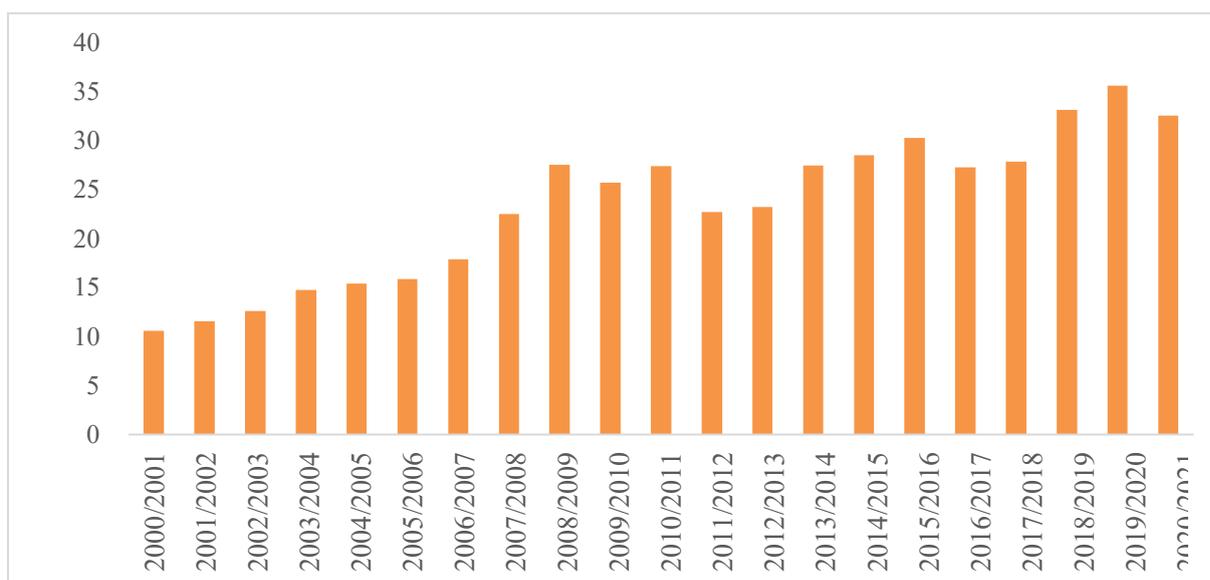
Esse cenário se alterou ao final da década de 90, durante o Governo Collor, em que houve a desregulamentação das agroindústrias. O que antes já estava difícil para o setor com a recuperação de preços de petróleo mais vantajosos e a falta de interesses dos consumidores pelos carros movidos a álcool, fez com que os produtores começassem a voltar sua produção para o açúcar.

No início do século XXI, surgem alguns pontos que reestabelecem a esperança dos produtores de cana com o etanol. É protocolado o Protocolo de Kyoto, trazendo à tona o início das discussões sobre a necessidade de reduzir as emissões de dióxido de carbono.

em tempos de crise, mas como um substituto renovável, abrindo portas ao comércio internacional. Outro ponto foi o lançamento dos carros *flex-fuel*, já que além da venda de carros movidos à álcool, todos compradores dos carros *flex* se tornam potenciais consumidores do etanol.

O gráfico 2 mostra a produção do etanol brasileiro por safra desde o começo do século.

Gráfico 2- Produção de etanol no Brasil por safra (Bilhões de litros)



Fonte: OBSERVATÓRIO DA CANA, 2021; Elaboração própria

Com o lançamento dos carros *flex* e o aumento da demanda por parte dos consumidores, temos uma crescente da produção ao longo dos anos, atraindo fortes investimentos em novas usinas e grandes perspectivas de exportar o produto para um número crescente de países, com as políticas de biocombustíveis adotadas, principalmente pelos EUA e Europa. Na safra de 2008/2009 houve um incremento dos números motivados pela crise mundial, o que fez com que a produção tivesse um aumento de 10%.

A partir da safra de 2009/2010, até a safra de 2012/2013, ocorreu não só uma quebra do crescimento que acontecia até então, mas também uma variação negativa da produção. Isso ocorreu porque após a crise, os investimentos do setor foram interrompidos e a expansão dos canaviais acabou sendo interrompida, com uma queda da oferta de créditos. Com grande parte das empresas endividadas e altos custos de produção, o setor passou por uma mudança de perfil com fortes movimentos de fusões e aquisições. A safra de 2012/2013

foi impactada com problemas climáticos e produtivos, mas mesmo com uma queda de mais de quatro bilhões de litros comparado ao seu auge produtivo em 2008/2009, a oferta brasileira ainda foi 120% maior do que no começo do século. A safra de 2020/2021 teve uma queda na produção diante o cenário de pandemia, com as restrições de circulação de pessoas, fazendo com que a maior parte da produção de cana fosse destinada ao mercado do açúcar.

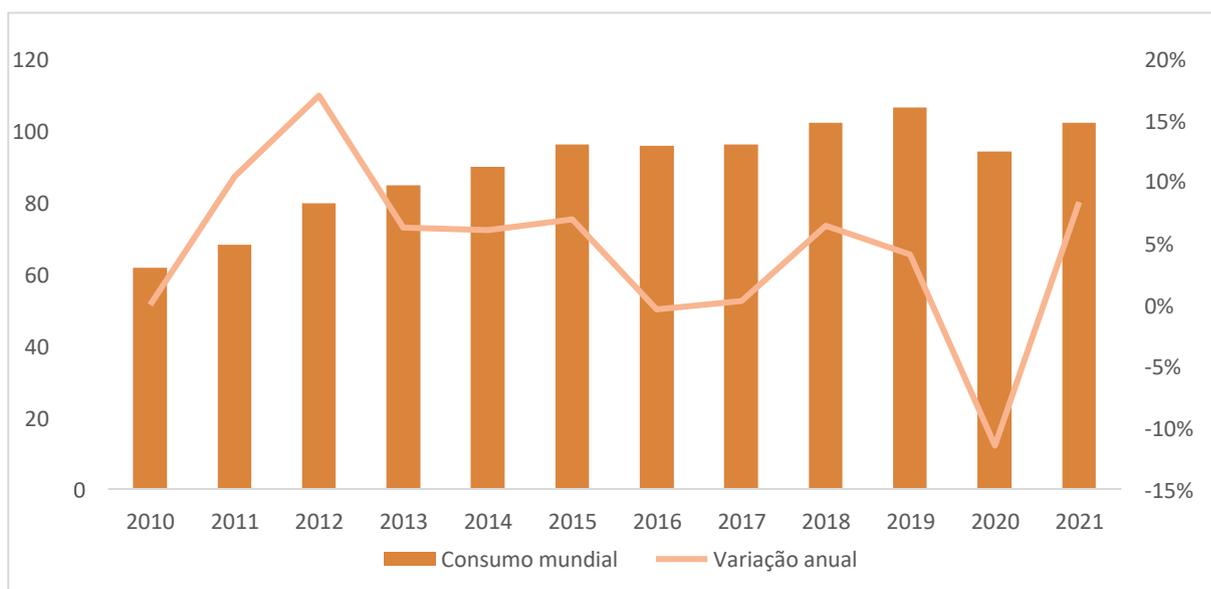
4.1 CONSUMO MUNDIAL

O consumo de etanol apresentou um crescimento de 65% quando analisado o primeiro e últimos anos (2010-2021). O maior consumo ocorreu em 2019 com 106385 M/ litros, seguido de uma queda, em 2020, de -11% devido a pandemia do Coronavírus. Em 2021, o consumo mundial retoma com um crescimento de 8% e 102054 M/ litros consumidos, o que mostra uma tendencia ao crescimento.

A demanda mundial de etanol está relacionada à adoção de políticas públicas como as misturas obrigatórias, como uma forma de autorizar e promover o seu uso. A porcentagem de mistura é um instrumento de reserva de cotas. Esse mecanismo consiste na fixação de metas para redução de GEE. Segundo Torroba (2021), em 2020 foram contabilizados 60 países com obrigação de uso de etanol adicionado à gasolina.

Com o aumento dos preços em 2021, causado pela guerra na Ucrânia, houve um desaceleramento do crescimento dos biocombustíveis, ainda que a demanda mundial já estivesse de recuperando da crise anterior. Com isso, países como Argentina, Colômbia e Indonésia estão lidando com a alta de preços, reduzindo ou suspendendo seus mandatos de mistura. Como grande parte do consumo de etanol está ligado ao seu acréscimo à gasolina, o atraso nos mandatos deve reduzir cada vez mais a demanda de etanol, além de limitar sua posição no cenário de redução de emissões.

Gráfico 3- Consumo de etanol no mundo (Bilhões de litros)



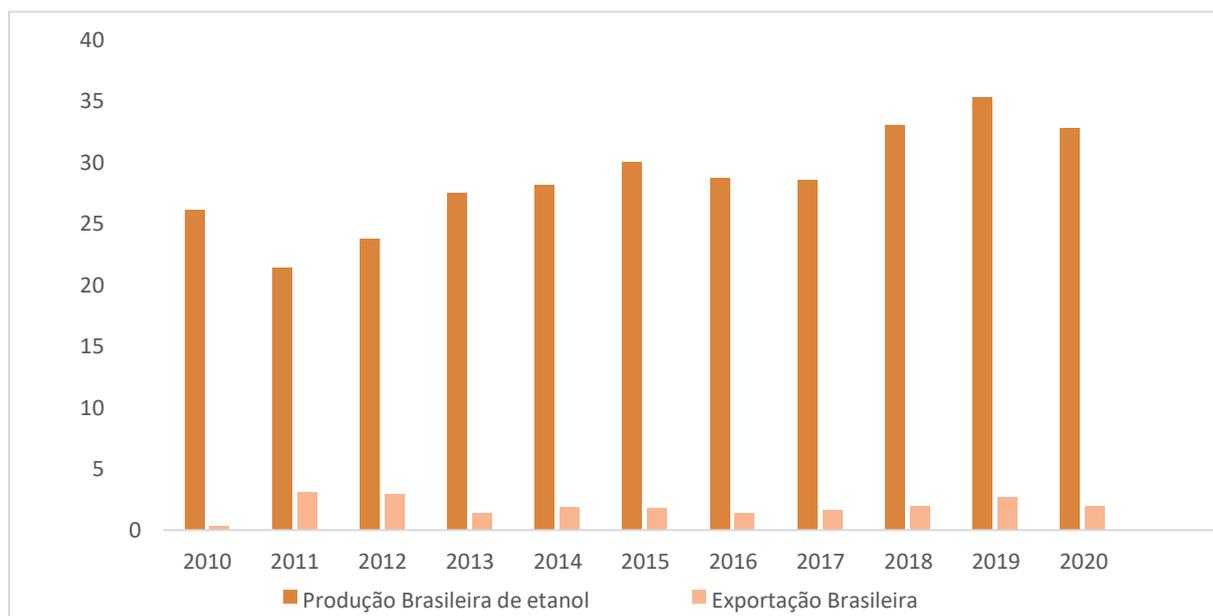
Fonte: EIA, 2021; Elaboração própria

4.2 COMÉRCIO EXTERIOR DO ETANOL E AS RELAÇÕES COMERCIAIS BRASILEIRAS

O Brasil é o maior produtor de cana-de-açúcar e segundo maior produtor de etanol do mundo, além de segundo maior exportador, atrás somente dos EUA. O biocombustível brasileiro é não só importante para o abastecimento da demanda interna, mas também no comércio exterior para abastecimento de outros países e como gerador de divisas.

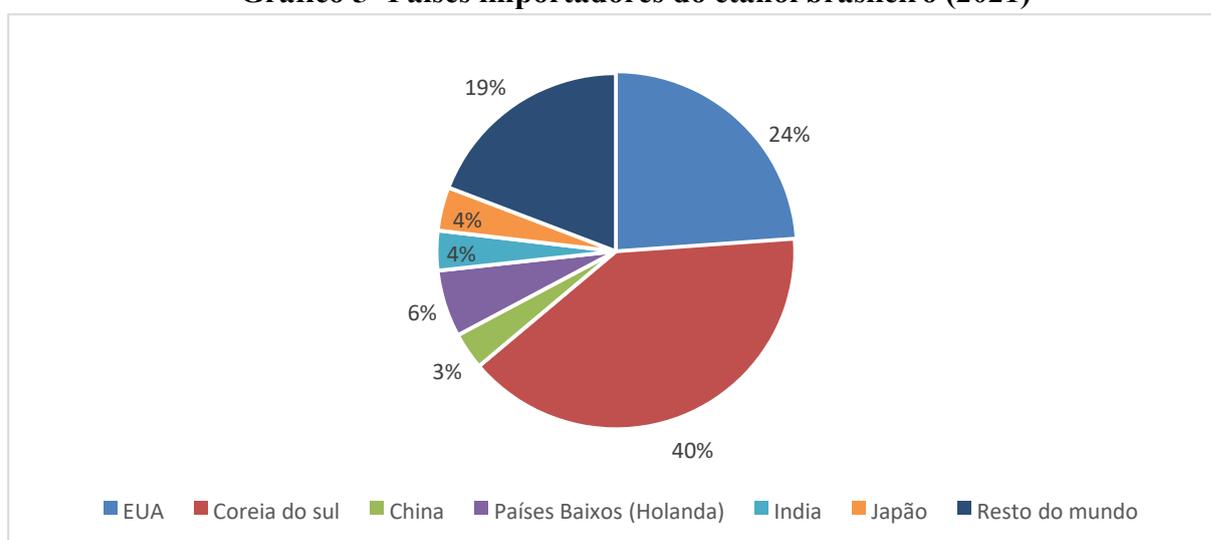
Segundo Torroba (2021), o comércio exterior do etanol corresponde somente a 10% do consumo mundial, seguindo dados de 2020. Ou seja, a grande maioria da produção é destinado ao mercado interno, muito devido a essa fonte de energia ter entrado no mercado como uma opção para que os países não ficassem refém somente do preço do petróleo, mas ainda assim, as nações preferem incentivar suas produções, mesmo que menores, para que não dependam da produção concentrada em poucos locais, como é o caso do etanol. No gráfico 5, é possível perceber como o Brasil, apesar de sua grande produção, concentra-se na demanda interna.

Gráfico 4- Produção x exportação brasileira de etanol (Bilhões de litros)



Fonte: EIA, 2021; Elaboração própria

Gráfico 5- Países importadores do etanol brasileiro (2021)



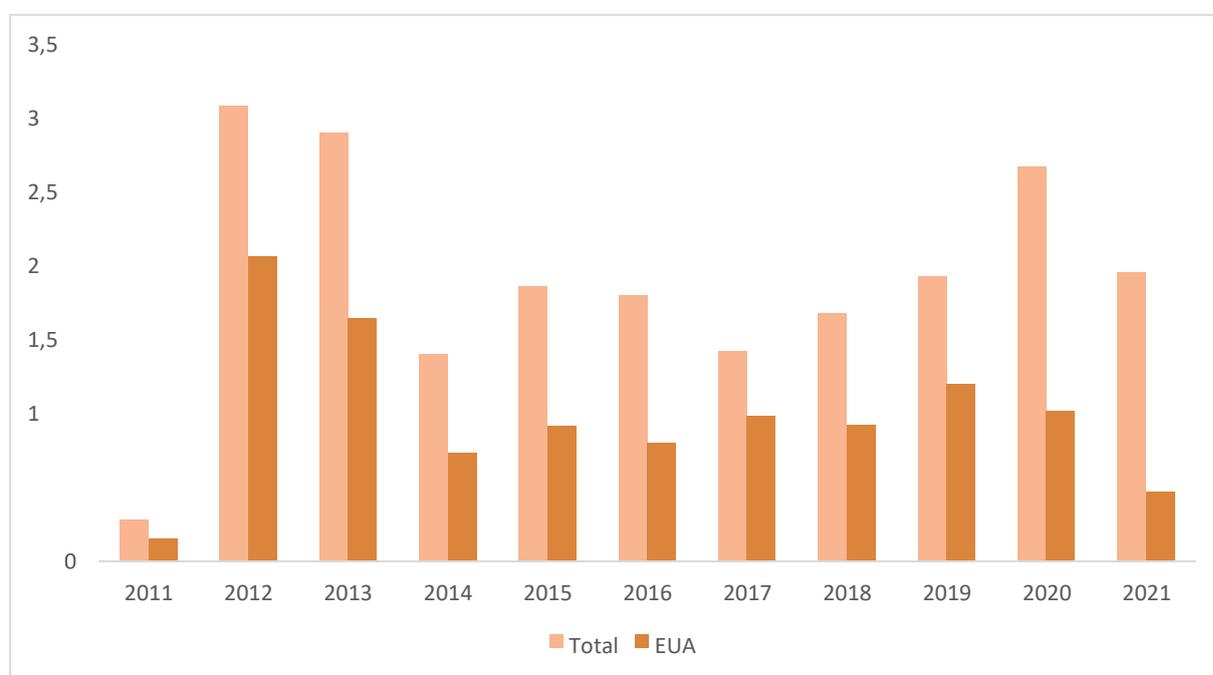
Fonte: MAPA (2021); Elaboração própria

Os principais importadores do renovável brasileiro são: Coreia do Sul; EUA; Países Baixos (Holanda); Índia e Japão. A seguir, será tratado das relações brasileiras com seus principais importadores e os principais players do setor.

4.2.1 ESTADOS UNIDOS

O etanol norte-americano, produzido por meio do milho, é o principal concorrente do produto brasileiro. Ainda que seja o maior produtor mundial, os EUA necessitam de importar biocombustíveis avançados, como é o caso do etanol de cana-de-açúcar, principalmente para suprir a demanda imposta pelo Renewable Fuel Standard, em 2020. O novo mandato para esse tipo de biocombustível aumentou a demanda para cerca de 20 bilhões de litros, principalmente para atender o Padrão de Biocombustíveis de Baixo Carbono da Califórnia, estado que recebeu 90% do produto brasileiro em 2020 (RFA, 2021).

Gráfico 6- Exportações do etanol brasileiro para o mundo e EUA (Bilhões de litros)



Fonte: OBSERVATÓRIO DA CANA (2021); Elaboração própria

O crescimento das importações americanas a partir de 2012 se deve a eliminação da taxa secundária Volumetric Ethanol Excise Tax Credit, tarifa secundária no valor de US\$ 0,54/galão de etanol importado. A tarifa era aplicada de maneira conjugada ao subsídio de US\$ 0,45/galão conferido aos processadores locais de etanol. Apesar da grande oportunidade brasileira, seu cenário nas safras seguintes impossibilitou que as exportações conseguissem suprir essa demanda.

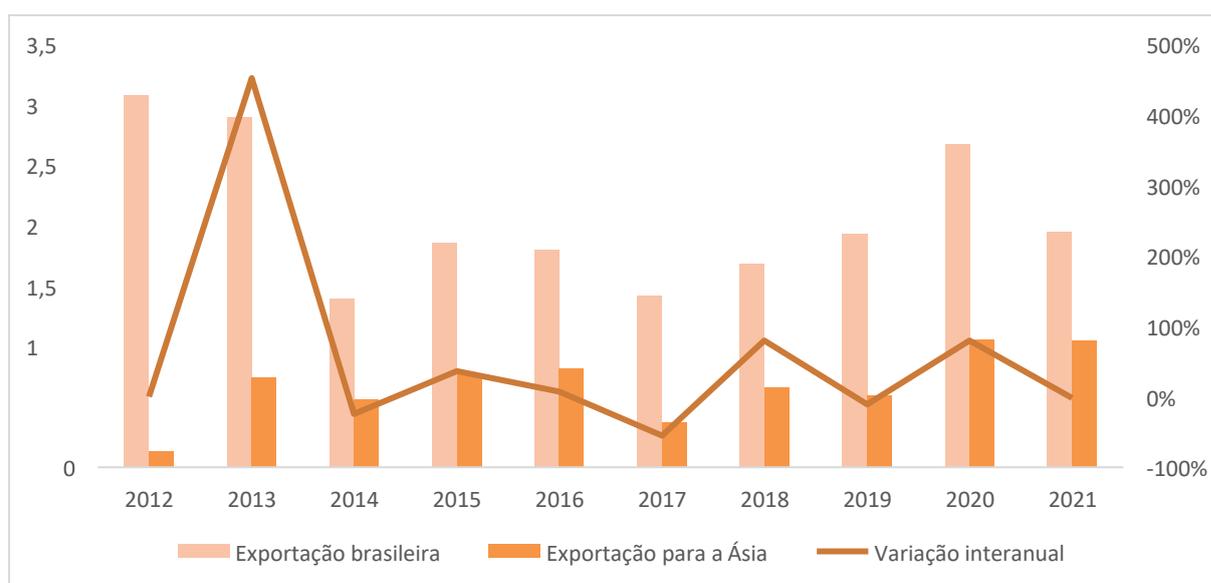
As importações mostraram uma tendência de crescimento a partir de 2014, mas os efeitos sentidos pelo país causada pela pandemia em 2020 e 2021, trouxeram como consequência uma diminuição das importações visto que a demanda mundial caiu muito, e houve dificuldades para escoar a própria produção, não necessitando do produto brasileiro, exceto para suprir sua demanda de avançados.

4.2.2 ÁSIA

O mercado Asiático vem se ampliando ao longo dos anos e a tendência é que o biocombustível seja primordial na matriz energética dos países, isso porque a Ásia tem alterado seu padrão de consumo do etanol no médio prazo, pelo uso de veículos em países mais populosos e que, por já sofrer com condições ambientais adversas, recorrem as alternativas mais renováveis.

No gráfico 8, podemos perceber como as exportações brasileiras aumentaram a partir de 2013, impulsionado pelas misturas obrigatórias de cada país, que, após o acordo de Paris, fica visível a necessidade de inserir as alternativas renováveis nos grandes centros para atingir suas metas. A grande parte dos países recorreram a mistura E10, contra apenas 2% que usavam no começo da década passada (TORROBA, 2021).

Gráfico 7- Exportações do etanol brasileiro para o mundo e Ásia (Bilhões de litros)



Fonte: OBSERVATÓRIO DA CANA (2021); Elaboração própria

4.2.3 UNIÃO EUROPEIA

Segundo Torroba (2021), a União Europeia é o maior importador mundial de etanol, representando 16% das importações em 2020. Entretanto, o peso da EU nas exportações brasileiras é pequeno apesar do grande mercado consumidor. Até 2008, a União Europeia era o principal *player* das relações comerciais do setor brasileiro, mas com a implementação da RED, em 2009, é perceptível uma queda nas relações comerciais.

A problemática enfrentada com a exportação do etanol brasileiro à Europa ocorreu devido três fatores principais: o tarifário (tarifas entre 10,2 e 19,2 euros/hectolitros); em segundo lugar são as certificações ambientais e por último, os subsídios dados pelo governo europeu aos produtores locais (LEMOS et al, 2015). Em 2016, o etanol brasileiro foi responsável por apenas cerca de 5% das compras da UE devido à elevada tarifa de 0,19 euros/l, o que explica o porquê as exportações brasileiras para a UE não terem sido tão competitivas.

Com o acordo comercial MERCOSUL-UE negociado em 2019, o etanol biocombustível possui uma cota de 200 mil toneladas com imposto reduzido para ser dividido entre os países produtores, o que impulsionou a exportação brasileira nos últimos dois anos. O Brasil também tem se destacado ao conseguir se provar mais sustentável no que tange às certificações, principalmente porque um dos eixos do RenovaBio tem como objetivo provar a UE a sustentabilidade do produto brasileiro.

No gráfico 9, podemos perceber que no começo da década anterior a participação brasileira nas importações europeias era muito baixa, fazendo com que a importância do mercado se distanciasse como grande oportunidade brasileira, mesmo com as mudanças na matriz energética tendenciando para os biocombustíveis. A exportação direcionada para União Europeia tem seus valores puxados pelos países baixos que, como visto anteriormente, é um dos principais importadores de etanol.

Gráfico 8- Exportações do etanol brasileiro para o mundo e UE (Bilhões de litros)



Fonte: OBSERVATÓRIO DA CANA (2021); Elaboração própria

4.3 RISCOS PARA O ETANOL BRASILEIRO NO FUTURO

O setor de transporte não possui somente os bicom bustíveis como alternativas renováveis para substituir os derivados de petróleo. Como visto anteriormente na revisão teórica, pela primeira vez em uma Conferência das Partes, em Glasgow, foi levantado o debate da importância que os carros elétricos possuem no setor como forma de reduzir as emissões de CO₂.

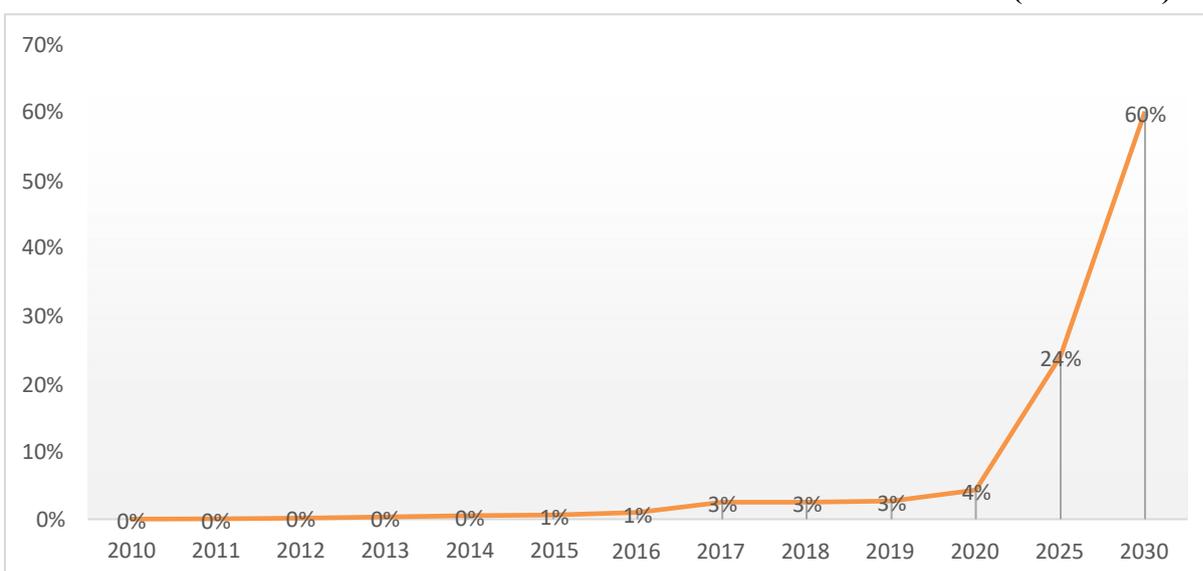
Como forma de atingir o cenário de emissões zero até 2040, diversas empresas automobilísticas assinaram o compromisso de até o ano estabelecido, não fabricarem carros com combustão interna, são elas: Jaguar Land Rover, Ford, GM, Mercedes-Benz, Volvo e a chinesa BYD. Porém, a ausência de importantes montadoras e países como Estados Unidos, China e França mostram que o caminho para eliminar os carros movidos por combustíveis não terá adesão global por agora.

Apesar do resultado em Glasgow, os dados do crescimento da demanda por veículos elétricos mostram que os biocombustíveis possuem forte concorrência. Um forte exemplo é a porcentagem de fontes renováveis de energia como metas mínimas de alguns

locais como EUA e União Europeia, que não englobam apenas os biocombustíveis, mas também um incentivo aos VE.

Segundo a AIE (2021), ainda que durante o ano de 2020, o setor automobilístico sofreu uma queda de 16% devido a pandemia, a venda de carros elétricos subiu cerca de 40%. O gráfico 10 mostra uma projeção no cenário *NET ZERO* (emissões zero líquidas) em que os VE irão representar 60% das vendas de carros, contra os atuais 5%. Os principais países consumidores da alternativa elétrica são os europeus, a China e os EUA.

Gráfico 9 -Venda de carros elétricos no cenário de emissões zero (2020-2030)



Fonte: AIE (2021); Elaboração própria

O diferencial do setor de carros elétricos durante a pandemia e o que irá impulsionar seu mercado foi o estabelecimento de marcos regulatórios e estímulos para adesão de alternativas renováveis, o que por sua vez, compete com o etanol como forma de fonte renovável.

Como visto, o setor energético é o mais poluente e como os veículos elétricos não utilizem combustíveis fósseis, sua pegada de carbono pode ser elevada dependendo da fonte de energia que é utilizada para seu abastecimento. Se a eletricidade vier de fontes não renováveis, como gás natural ou carvão, a tecnologia tem seu efeito “verde” reduzido. Nesse sentido, a mudança de frota de veículos pode não ser ambientalmente favorável já que não há garantias que as emissões serão mitigadas se a energia for gerada por carvão ou gás natural, como é o mais comum na Europa e EUA.

4.4 OPORTUNIDADES PARA O ETANOL BRASILEIRO

A fim cumprir as metas estabelecidas no Acordo de Paris, os biocombustíveis têm papel central para atingir o Cenário Zero Líquido, ou seja, quando a quantidade de emissões de gases de efeito estufa retiradas da atmosfera sejam maiores que suas emissões de fato. O cenário de redução de emissões até 2030 estabelece uma taxa necessária de crescimento médio anual das biocombustíveis de 14%. Ainda que, como visto no consumo atual, existem desafios devido ao alto custo de matérias-primas devido a pandemia e a guerrana Ucrânia, várias políticas para acelerar essa demanda sustentável estão sendo discutidas para a expansão do consumo (IEA, 2021).

Na Europa, um dos principais consumidores dos combustíveis renováveis, foi proposto o pacote *Fit for 55*, cortando em 55% suas emissões até 2030 e, para o transporte, em que é proposto uma queda de 13% das emissões e, por sua vez, a Comissão Europeia estima que seria positivo ao mercado do etanol já que a participação dos renováveis subiria para 28%, ou seja, o dobro do pensado para o cenário. O pacote também propõe uma meta de ao menos 2,2% de uso de combustíveis avançados, o que para a União Europeia, significa os biocombustíveis de segunda geração (IEA, 2021).

Nos Estados Unidos, espera-se que a agência de Proteção Ambiental (EPA) anuncie detalhes para as novas metas de 2023 para seu padrão de Combustível Renovável. Em 2022, o governo Biden aumentou a mistura obrigatória para 15%, ao menos no ano vigente, como medida emergencial, para reduzir a dependência do país com fontes externas. Já, o governo do Canadá estabeleceu a redução das suas emissões para abaixo 13% dos níveis de 2016 para 2030, com isso o governo estima que isso mais que dobrará a demanda de biocombustíveis do país até 2030.

A Ásia irá movimentar o consumo dos combustíveis renováveis nos próximos anos e o Brasil poderá ser um grande exportador para a região, uma vez que já está presente com o destino do etanol para a Índia e China. A Índia tem como meta a mistura E20 até 2025, antecipando o que havia programada para 2030. A China, apesar de não deixar claro suas metas para o produto, pretende atingir o pico de suas emissões antes de 2030 e sua demanda mais que triplicaria para que isso ocorra (IEA, 2021).

Atualmente, mais de 80% do petróleo consumido na Índia precisa ser importado, segundo projeções da UNICA. com a autorização de venda do etanol puro, a Índia, segunda

maior produtor de cana-de-açúcar do mundo, terá uma maior segurança energética e estabilidade no seu mercado de combustíveis, além do impacto positivo sobre a balança comercial (UNICA, 2021).

Seguindo os dados da IEA (2021), somando a demanda dos mercados tradicionais com os novos mercados, especialmente na asia, a demanda por etanol deve se elevar consideravelmente no futuro próximo. Visto o cenário NET ZERO e considerando a médio prazo as principais discussões políticas nos Estados Unidos, Europa, Índia e da China, há uma previsão de aumento de 25 bilhões de litros .

CONSIDERAÇÕES FINAIS

As discussões ambientais se intensificaram na década de 90, especialmente a partir da assinatura do Protocolo de Kyoto em 1997. O debate identificava que os países desenvolvidos, responsáveis até então por 80% das emissões de gases de efeito estufa, deveriam reduzir 5% destas seguindo os níveis de 1990. Apesar de representar um marco quanto a movimentação de países na busca de soluções para adaptação e transição necessárias pelo bem da vida humana, a responsabilização de apenas países desenvolvidos atrapalhou a inserção de importantes países, como os EUA. O Acordo de Paris, por sua vez, movimentou tanto países desenvolvidos, quanto emergentes e estes apresentaram metas de acordo com suas estruturas, a fim de limitar o aquecimento da terra em 1,5°C.

Os debates ressaltaram o papel central do dióxido de carbono nas emissões de gases do efeito estufa e nas mudanças climáticas delas decorrentes. Daí surge uma ampla discussão de como mudar a composição energética do setor de transportes visando reduzir as mudanças climáticas. De fato, os combustíveis líquidos derivados do petróleo no meio rodoviário, como a gasolina e o diesel, não podem seguir sendo a principal fonte para locomoção sem que comprometesse as metas mundiais propostas.

Os biocombustíveis, apesar de até o começo dos anos 2000 serem vistos apenas como uma alternativa complementar e uma forma de proteger os países das oscilações nos preços do petróleo, começam a ser entendidos como parte da solução para atingir metas de mitigação. Nesse sentido, o Brasil se destaca no mundo tanto pela sua produção de etanol proveniente da cana-de-açúcar, quanto pela tecnologia dos carros flex que podem utilizar qualquer percentual de gasolina e etanol hidratado. O etanol representa uma fonte de energia limpa e renovável, possuindo uma grande importância para a sustentabilidade ambiental.

Atualmente o maior produtor e exportador de etanol é os Estados Unidos, seguido do Brasil, ainda que o produto brasileiro feito de cana seja consideravelmente mais sustentável do que o milho, matéria-prima base do etanol produzido no norte do continente. O etanol de cana consegue evitar até 90% das emissões, mas algumas questões quanto a sustentabilidade no processo produtivo ainda são levantadas, principalmente pela União Europeia. Nesse sentido, regulamentações e certificações foram criadas para verificar de fato se o produto é sustentável. Dada a sustentabilidade do etanol de cana, a adesão de usinas no

processo de certificação, o Brasil poderia se destacar no mercado internacional e até obter vantagens em mercados mais exigentes, justamente por ser produzido a partir da cana e ter potencial de redução de emissões acima de 50%, sendo considerado avançado.

A produção brasileira, mesmo que ao longo dos anos tenha apresentado dificuldades e quebras de safra, seu crescimento em 2020 foi de 120% em comparação com o começo do século. Mesmo com a recuperação da produção e o consumo mundial apresentado aumento de 65% da demanda na última década, não houve um aumento proporcional da exportação, devido ao aumento da demanda interna com a adoção da mistura obrigatória para E27. Em 2021, os maiores importadores do etanol brasileiro são: Coreia do Sul, EUA, Países baixos, Índia, China e Japão.

Os mandatos obrigatórios da mistura de etanol são os principais motivos do crescimento das exportações. Grande parte dos países estão aumentando a porcentagem de adição para tentar cumprir com suas metas climáticas. Enquanto as relações com o mercado asiático estão em constante crescimento, impulsionados pela Coreia do Sul e Índia com suas metas ambiciosas para 2030, o mercado europeu tem criado barreiras ao etanol brasileiro, sejam elas tarifárias ou técnicas, como uma forma de incentivar sua produção interna e a produção dos biocombustíveis de segunda geração.

O etanol de cana-de-açúcar é um importante biocombustível que consegue reduzir as emissões de gases poluentes, quando comparado com os demais. Então, por ser o maior produtor de etanol de cana e segundo maior exportador mundial, o Brasil se torna um aliado no combate as mudanças climáticas.

As oportunidades que vem surgindo mundialmente referem-se à exportação do anidro para ser adicionado à gasolina, com taxas aumentando em diversos países além de uma quantidade mínima exigida para importação do biocombustível. Com relação aos riscos, a outra opção renovável, que teve sua demanda impulsionada em Glasgow, refere-se aos veículos elétricos que possuem uma estimativa de ser 60% da frota mundial ao final do período estabelecido no Acordo de Paris.

Embora os veículos elétricos apresentem papel importante no futuro do transporte, seu uso pode não ser sustentável, uma vez que depende de fontes de energia que podem ser provenientes de fontes não sustentáveis, como gás natural e carvão. Além do mais, boa parte dos países emergentes do mundo não apresentam a mesma tendência de trocar sua frota de veículos para elétricos e por isso, a projeção apresentada tem a porcentagem de frota de VE,

em 2035, puxada para cima devido aos países desenvolvidos, principalmente UE e EUA, mesmo que sem garantias de que a fonte elétrica terá baixa pegada de carbono.

Em síntese, o comércio exterior do produto brasileiro será impulsionado no curto e médio prazo, cumprindo o que promete no quesito ambiental, mas a longo prazo sofre ameaças da alternativa elétrica. O principal mercado ainda será o interno e as exportações devem crescer considerando o etanol anidro, que acompanha o consumo da gasolina, e o hidratado deve crescer em ritmos mais lentos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AIE (2021). **Veículos Elétricos**. AIE. Disponível: <Paris <https://www.iea.org/reports/electric-vehicles>> Acesso em: 07 de agosto de 2022

BNDES E CGEE. (Org.). **Bioetanol de cana-de-açúcar: energia para o desenvolvimento sustentável**. Rio de Janeiro: Bndes, 2007.

BUENO RUBIAL, M. d. P. **El Acuerdo de París: ¿una nueva idea sobre la arquitectura climática internacional?**. *Relaciones Internacionales*, 2016.

BULKELEY, Harriet; NEWELL, Peter. **Governing Climate Change**. Abingdon: Routledge, 2010.

CAIT **Climate Data Explorer**. 2015. Washington, DC: World Resources Institute. Disponível em: <<http://cait.wri.org>> Acesso em: 12 de maio de 2022

CAIT **Climate Data Explorer**. 2016. Washington, DC: World Resources Institute. Disponível em: <<http://cait.wri.org/historical>> Acesso em 04 de abril de 2022

CAIT **Climate Data Explorer**. 2022. Washington, DC: World Resources Institute. Disponível em: <http://cait.wri.org/historical>. Acesso em 18 de março de 2022.

CARRARO, C. **A Bottom-Up, Non-Cooperative Approach to Climate Change Control: Assessment and Comparison of Nationally Determined Contributions (NDCs)**. *Journal of Sustainable Development*. 175-186, 2016.

CBIE. **Quais são os maiores produtores mundiais de petróleo?** Disponível em: . <https://cbie.com.br/artigos/quais-sao-os-maiores-produtores-mundiais-de-petroleo/> Acesso em: 03 de junho de 2022

CLIMATE WATCH. **Historical GHG emissions**. 2019. Disponível em: <https://www.climatewatchdata.org/embed/ghg-emissions%3Fend_year%3D2019%26start_year%3D1990> Acesso em: 21 de abril de 2022

COSTA, P.O. **Resposta político-econômica às mudanças climáticas: origens, situação atual e incertezas do mercado de créditos de carbono**. 2004. (Mestrado Profissional em Administração)- Universidade Federal da Bahia. Escola de Administração, Salvador, 2004.

DA SILVEIRA, Caroline Soares; DE OLIVEIRA, Letícia. **Análise do mercado de carbono no Brasil: histórico e desenvolvimento**. *Novos Cadernos NAEA*, [S.l.], v. 24, n. 3, dez. 2021. ISSN 2179-7536. Disponível em: <<https://periodicos.ufpa.br/index.php/ncn/article/view/9354>>. Acesso em: 10 de fevereiro de 2022

DIAS-CHAVES, Rocio; WOODS, Jeremy. **The Environmental Certification of Biofuels**. *International Transport Forum*, London, 2007.

DIAS, José Luciano de Mattos ; QUAGLINO, Maria Ana; **A questão do petróleo no Brasil: uma história da PETROBRAS**. Rio de Janeiro: CPDOC: PETROBRAS, 1993.

EIA. **Offshore oil production in deepwater and ultra-deepwater is increasing** - Today in Energy. 2016 Disponível em:< <https://www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=28552> >. Acesso em: 03 de junho de 2022

EPE Empresa de Pesquisa Energética. **Análise de Conjuntura de Biocombustíveis**. 2013 Disponível em<: <http://www.epe.gov.br/>> Acesso em 07 de junho de 2022

ESPÍNDOLA, Adriana Andrade. **Processo de certificação do etanol brasileiro**. Revista de Ciências Gerenciais, vol. 13, n. 17, 2009.

FAZZI, Luiz Ricardo et al. **A regulação de biocombustíveis no brasil e nos eua no contexto da mitigação das mudanças climáticas e do correlato acordo de paris**. Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental, v. 9, p. 104-119, 2020.

GLENISTER, D.; NUNES, V. **Entendiendo la producción sostenible de biocombustibles: Directiva de la UE sobre energías renovables e iniciativas internacionales para verificar la sostenibilidad**. 2011.

GOES, T.; MARRA, R. **Biocombustíveis: uma alternativa para o mundo, uma oportunidade para o Brasil**. Embrapa informação tecnológica. 2008

GONÇALVES, Gabriela Pinto; ARMADA, Charles Alexandre Souza. **Governança Ambiental Global e Mudança Climática: Perspectivas de uma efetiva governança global para a justiça ambiental e climática pós-acordo de Paris**. In: Congresso Internacional de Direitos Difusos, 1., 2017, Campina Grande: Realize, 2017. v. 1.

HOFFMANN, Matthew J.. Global Climate Change. In: FALKNER, Robert (Ed.). **The Handbook of Global Climate and Environment Policy**. Sussex: John Wiley & Sons, 2013.

IEA (2018), **Renewables 2018**, IEA, Paris <https://www.iea.org/reports/renewables-2018>

IPCC. **Fourth Assessment Report Working Group III. Mitigation of Climate Change**. Bancoc: 2007.

IPCC – **Intergovernmental Panel in Climate Change**. **Mudança do Clima 2007: Impactos, Adaptação e Vulnerabilidade**. Contribuição do Grupo de Trabalho II ao Quarto Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima. 2007

KYOTO Protocol. Homepage da UNFCCC (Convenção- Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima). Disponível em: http://unfccc.int/essential_background/convention/items/2830.php Acesso em: 14 de maio de 2022

LEMOS,P, Mesquita F, Dal-Poz ME, Souza (2015) **Panorama e Desempenho Recente do Setor Sucroenergético: Condições para um Novo Ciclo?** Em Salles Filho S (Org.) *Futuros do Bioetanol: O Brasil na Liderança?* 1a ed. Elsevier. Rio de Janeiro, Brasil

LUCCHESI, Celso Fernando. **Petróleo. Estudos avançados**, v. 12, p. 17-40, 1998.

MACHADO, João Durval de Oliveira Alves; DE CARVALHO, Rogerio Atem. **Exploração de Petróleo no Brasil e Estados Unidos: história e relevância**. *Brazilian Journal of Development*, v. 7, n. 5, p. 52499-52515, 2021

MARINHO JUNIOR, Ilmar Penna. **Petróleo, política e poder: um novo choque do petróleo?**. Rio de Janeiro: José Olympio, 1989.

MARTINS, Silas Sarkiz da Silva et al. **Produção de petróleo e impactos ambientais: algumas considerações**. *Holos*, v. 6, p. 54-76, 2015.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. **Exportações Brasileiras de Etanol - Comércio Exterior Brasileiro 2019**. Brasília: MAPA, 2020. Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br/assuntos/sustentabilidade/agroenergia/etanol-comercio-exterior-brasileiro>. Acesso em: 17 maio 2021. [tps://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/sustentabilidade/agroenergia/arquivos-etanol-comercio-exterior-brasileiro/copy_of_005EXPORTAESBRASILEIRASDEETANOLPORPAS2021_07012022.pdf](https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/sustentabilidade/agroenergia/arquivos-etanol-comercio-exterior-brasileiro/copy_of_005EXPORTAESBRASILEIRASDEETANOLPORPAS2021_07012022.pdf) Acesso em: 24/06/2022

Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Plano agrícola e pecuário 2018/2019**. Brasília, DF: MAPA, 2018.

MORAIS, J. M. DE. **Petróleo em águas profundas: uma história tecnológica da PETROBRAS na exploração e produção offshore**. Brasília: Ipea, 2013.

PACHECO, T. F. **Produção de Etanol: Primeira ou Segunda Geração?** Circular Técnica, n. 04., p. 1-06, 2011. Disponível em: . Acesso em: 02 set. 2014.

PCC AR6 (Intergovernmental Panel on Climate Change). Summary for Policymakers. In: MASSON-DELMOTTE, V., P. ZHAI, A. PIRANI, S. L. CONNORS, C. PÉAN, S. BERGER, N. CAUD, Y. CHEN, L. GOLDFARB, M. I. GOMIS, M. HUANG, K. LEITZELL, E. LONNOY, J.B.R. MATTHEWS, T. K. MAYCOCK, T. WATERFIELD, O. YELEKÇI, R. 2021

PEROSA, Bruno Benzaquen. **A emergência da governança socioambiental no mercado internacional de biocombustíveis**. 2012. Tese de Doutorado.

PESSUTI, O. **A biomassa paranaense e sustentabilidade de novos sistemas produtivos**. In: SEMINÁRIO PARANAENSE DE BIODIESEL, 1., 2003, Londrina.

PENNA, Carlos Gabaglia. **O Estado do Planeta – Sociedade de Consumo e Degradação Ambiental**. Rio de Janeiro: Record; 1999

PETROBRÁS. **Nossa história**. Disponível em :<<https://petrobras.com.br/pt/quem-somos/a-marca-petrobras/>>. Acesso em: 03 de abril de 2022.

RIBEIRO, C.; SCHIRMER, W. **Panorama dos combustíveis e biocombustíveis no Brasil e as emissões gasosas decorrentes do uso da gasolina/etanol**. Biofix scientific jornal v.2;n.2; 2017.

RENEWABLE FUELS ASSOCIATION. RFA. **Markets & Statistics Annual Ethanol Production. U. S. & World ethanol production**. Disponível em: <<https://ethanolrfa.org/statistics/annual-ethanol-production/>> Acesso em: 17 de março de 2022.

REZENDE FILHO, Cyro de Barros. **História econômica geral**. 9.ed. São Paulo: Contexto, 2007.

ROMERO, Thiago. **Etanol de segunda geração é essencial à sustentabilidade dos biocombustíveis**. 2008

SENADO FEDERAL. **Protocolo de Kyoto e legislação correlata**. Coleção ambiental, volume III. Brasília, 2004.

SLOCAT. **Transport and Climate Change Global Status Report**. 2021.

SLOCAT. **Transport and Climate Change Global Status Report**. 2018

SOUZA, M. C. O.; CORAZZA, R. I. **Do Protocolo de Kyoto ao Acordo de Paris: uma análise das mudanças no regime climático global a partir do estudo da evolução de perfis de emissões de gases de efeito estufa**. Departamento de Política Científica e Tecnológica (DPCT), Instituto de Geociências (IG), Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), Campinas, SP, Brasil, 2017

THOMAS, J. E. et al. **Fundamentos de engenharia de petróleo**. Rio de Janeiro: ed. Interciência, 2004.

TORROBA, Agustín et al. **Biocombustibles líquidos: institucionalidad y formulación de políticas públicas**. 2021.

UNFCCC. Glasgow Climate Pact. 2021. Disponível em: <https://unfccc.int/documents/310475> Acesso em: 12 de março de 2022

UNICA. **União da Agroindústria Canavieira. Produção e uso do etanol combustível no Brasil: Respostas às questões mais frequentes**. São Paulo. Março, 2007

URQUIAGA, Segundo; ALVES, Bruno José Rodrigues; BOODEY, Roberto Michael. **Produção de biocombustíveis A questão do balanço energético**. Revista de Política Agrícola, v. 14, n. 1, p. 42-46, 2005.

VIDIGAL, Flávio Augusto Marinho. O Protocolo de Kyoto, o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo e as formas de circulação dos créditos de carbono. 2011