

An aerial photograph showing a vast landscape. A large, dense green forest occupies the left and center. To the right, there are agricultural fields, some with distinct rows of crops, and a winding dirt road. The background shows rolling hills under a clear sky.

POTENCIAL DE PRODUÇÃO SUSTENTÁVEL DE BIOCOMBUSTÍVEIS NO BRASIL - 2030

BRASIL 2021

WWF-BRASIL

Diretor Executivo

Maurício Voivodic

Diretora de Sociedade Engajada

Gabriela Yamaguchi

Diretor de Economia Verde

Alexandre Curvelo de Almeida Prado

Analista de Conservação

Ricardo Junqueira Fujii

Analista de Design

Regiane Stella Guzzon

Texto

Gabriela de Lima Marin e Ricardo Junqueira Fujii

Revisão

Alessandra da Mota Mathyas, Alexandre Curvelo de Almeida Prado, Bruna Mello de Cenço, Eduardo Valente Canina, Gabriela de Lima Marin e Ricardo Junqueira Fujii

Agradecimentos

Alessandro v. Arco Gardemann (Abiogás)
Bernardo Caldas de Oliveira (WWF)
Camila Agner D'Aquino (Abiogás)
Ciniro Costa Junior (Imaflora)
Daniela Teston (WWF)
Domizete Tokarski (UBrabio)
Edegar de Oliveira Rosa (WWF)
Francisco Emilio Baccaro Nigro (USP)
João Carlos Rocha Abdo (Agroabdo)
João Paulo Rossi (Amyris Brazil)
Mark Lutes (WWF)
Mariana Regina Zechin (Unica)
Pedro Rodrigo Scorza (Gol)
Simone Palma Favaro (Embrapa Agroenergia)
Tjaša Bole-Rentel (WWF)



© Alf Ribeiro / Shutterstock



SUMÁRIO

CARTA DE APRESENTAÇÃO	5
INTRODUÇÃO	6
Biocombustíveis utilizados nos transportes no Brasil	6
Efeitos sobre a matriz de transporte e as emissões de carbono	8
IMPACTOS ADVERSOS DOS BIOCOMBUSTÍVEIS	10
Competição com outras culturas	10
Desmatamento	11
Soluções para controlar os impactos dos biocombustíveis	11
POTENCIAL DE PRODUÇÃO – 2030	14
Capacidade de atendimento da demanda do setor de transportes	16
Redução das emissões de carbono e reflexo nas contribuições brasileiras para o clima	18
Principais premissas e limitações das estimativas	21
CONCLUSÕES	22
O potencial de oferta é elevado, mas não é capaz de suprir toda a demanda do setor de transportes brasileiro	23
A utilização de biocombustíveis reduz as emissões de GEE, mas há outras alternativas como diversificação de modais, eletrificação da frota e restauração florestal	23
RECOMENDAÇÃO DE POLÍTICAS PÚBLICAS	26
RenovaBio	26
Precificação do carbono e outras externalidades dos combustíveis fósseis	26
Mecanismos de controle	26
Desenvolvimento tecnológico	26
Biocombustíveis como solução de nicho	26
Resíduos	27
ANEXOS	28
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	38

Foto da capa: © Cacio Murilo / Shutterstock



CARTA DE APRESENTAÇÃO

O combate às mudanças climáticas é o maior desafio que a humanidade já enfrentou. Entre os setores que mais emitem gases de efeito estufa (os chamados GEE), o transporte é onde a mudança se mostra mais complicada. Globalmente, os transportes representam cerca de um quarto de todas as emissões de GEE e é o setor onde estes números mais têm crescido (UNEP, 2019).

Atualmente, os combustíveis fósseis ainda são a principal opção viável para garantir a autonomia que os veículos necessitam. Essa dependência do petróleo no Brasil ficou ainda mais clara em junho de 2018, durante a greve dos caminhoneiros contra a alta no preço dos combustíveis.

Motivado pela crise de petróleo dos anos 1970, o Brasil adotou o etanol de cana de açúcar como substituto da gasolina com o Proálcool. Já em 2019, quase cinquenta anos depois do início do Proálcool, o consumo de etanol foi de 36 bilhões de litros, correspondente a 49% do total em gasolina equivalente para veículos leves (graças aos motores do tipo flex e à presença de 27% de etanol na mistura da gasolina). Nos setores de aviação e transporte marítimo, que possuem seus próprios acordos internacionais para a redução de emissões, o uso dos biocombustíveis representa uma possibilidade singular para um período de transição no combate às mudanças climáticas. Além de reduzir as emissões de gases de efeito estufa, o biodiesel tem a possibilidade de estimular o setor agrícola, inclusive a agricultura familiar.

Se por um lado os biocombustíveis representam uma opção para diminuir a dependência dos combustíveis fósseis, a adoção deste tipo de combustível não pode correr o risco de gerar mais desmatamento, se apropriar de terras que poderiam ser destinadas à produção de alimentos e à restauração florestal ou mesmo causar mais impactos frente ao desafio das mudanças climáticas. Caso isso aconteça, suas vantagens caem por terra e ao invés de serem parte da solução correm o risco de piorar o problema.

Além disso, é essencial que a expansão da produção do biocombustível, caso ocorra, seja exclusivamente em áreas degradadas, eliminando a possibilidade de conversão de áreas nativas, incorporando a implantação efetiva do código florestal e a obediência à legislação ambiental.

O objetivo do WWF-Brasil ao realizar este estudo é contribuir com o debate sobre a capacidade potencial brasileira de produzir biocombustíveis de maneira sustentável e delimitar as salvaguardas que devem ser tomadas em todo o processo. O resultado é que, desde que bem resguardado por preocupações sociais e ambientais, os biocombustíveis podem ser uma importante alternativa não somente para a o setor rural brasileiro, mas também para apoiar o país rumo a uma economia de baixo carbono. Caso essas medidas sejam ignoradas, o prejuízo pode ser tão traumático quanto o dos combustíveis fósseis.

Assim como em outros setores, a análise equilibrada do potencial brasileiro é um passo fundamental para a definição de políticas que tornem mais ambiciosas as metas para a redução de emissões e que garantam a conservação da natureza e o desenvolvimento humano.

RICARDO FUJII

Analista de Conservação | Responsável pela Estratégia de Transição Energética | WWF-Brasil

INTRODUÇÃO

Os biocombustíveis são combustíveis derivados de biomassa que podem substituir, parcial ou totalmente, combustíveis derivados de petróleo e gás natural em motores a combustão ou em outro tipo de geração de energia¹. Embora inicialmente os biocombustíveis tenham sido propostos como uma alternativa para garantir a segurança energética frente à escassez do petróleo, hoje eles são considerados como uma opção para combater as mudanças climáticas.

Por serem em sua maioria provenientes de culturas vegetais ou de resíduos orgânicos atualmente desperdiçados, há uma diminuição considerável na emissão de gases de efeito estufa (GEE) em comparação aos combustíveis fósseis quando considerados os ciclos de vida dos combustíveis. Isso, conjugado à experiência adquirida com o Proálcool² e com o Programa Nacional de Substituição e Uso de Biodiesel – PNPB³ e a grande participação no mercado de combustíveis (49% e 10% do consumo de veículos leves e pesados, respectivamente), faz com que os biocombustíveis sejam parte importante na política brasileira para cumprimento do Acordo de Paris.

BIOCOMBUSTÍVEIS UTILIZADOS NOS TRANSPORTES NO BRASIL

No Brasil, o biocombustível mais utilizado e conhecido é o etanol de primeira geração, proveniente da fermentação do caldo da cana-de-açúcar. Com o advento dos motores flexíveis (flex-fuel), o etanol pode substituir a gasolina em até 100%, sendo normalmente utilizado em veículos leves. Outros biocombustíveis, no entanto, vêm ganhando espaço, como o etanol de segunda geração, o biodiesel e o biometano. O etanol de segunda geração, também chamado de etanol celulósico ou de lignocelulose, é obtido a partir da quebra de cadeias de celulose presentes nas fibras dos vegetais. Esse biocombustível permitiria o uso de uma gama muito maior de matérias-primas, inclusive resíduos vegetais. No entanto, atualmente, seu desenvolvimento vem esbarrando em obstáculos e sua

produção em massa não é esperada na próxima década⁴. O biodiesel é produzido a partir da transesterificação de óleos vegetais e gordura animal, sendo adicionado ao diesel e podendo até mesmo substituí-lo. Podem ser usados diversos óleos vegetais como óleo de soja, palma, babaçu, macaúba e mamona, entre outros. Também é possível a utilização de gordura animal, como o sebo bovino, resíduo do processamento em frigoríficos e açougues. Até mesmo o óleo de cozinha utilizado em frituras pode ser transformado em biodiesel, oferecendo como benefício adicional ao combustível o tratamento desses resíduos.

O biogás, por sua vez, é oriundo da biodigestão anaeróbia de matéria orgânica por bactérias, resultando em metano, gás carbônico e outros gases. O biometano é extraído pela filtragem do biogás até que este atinja as características definidas pela legislação⁵. Ele substitui o gás natural, que, por ser um combustível gasoso, é majoritariamente utilizado na indústria, comércio e residências, mas também tem uso veicular.

O bioquerosene, produzido por diversas rotas químicas, possui composição similar ao querosene de aviação (QAV), podendo substituí-lo. Há fábricas capazes de produzi-lo no Brasil, ainda que seu custo elevado limite sua utilização tanto no país quanto no exterior a voos experimentais e outros testes.

O resumo das principais características desses biocombustíveis encontra-se na tabela a seguir.

1. (ANP, 2017)

2. (Brasil, 1975)

3. (MAPA, 2004)

4. (EPE, 2020)

5. Regulamento Técnico ANP no 1/2015

TABELA 1*Características dos principais biocombustíveis.*

BIOCOMBUSTÍVEL	ETANOL	BIODIESEL	BIOQUEROSENE	BIOMETANO
Substitui	Gasolina	Diesel	Querosene de aviação (QAV)	Gás natural Veicular ou Diesel
Principais matérias primas	Cana, Milho	soja, gordura bovina, óleos e gorduras residuais (OGR), palmacana	cana, macaúba	resíduos orgânicos (ex. vinhaça e torta, esgoto, resíduos animais)
Produção atual (em bilhões L)	Cana: 34,7 (2019)* Milho: 1,3 (2019)*	5,9 (2019)*	Pouco significativa*	Pouco significativa*
Participação Atual na matriz energética	7% (2019)	1,84% (2019)^	< 0,1%	< 0,1%
Área destinada à produção de biocombustíveis (milhões ha – % área total agriculturável)	4,3 (5,7%)	Soja: 5,08 (6,75%) Palma: Pouco significativa	Pouco significativa	Não depende de cultivo próprio
Área ocupada pela cultura (milhões ha – % área total agriculturável)	8,6 (11,4%)	Soja: 35,8 (47,5%)	8,6 (11,4%)	Não depende de cultivo próprio
Intensidade de carbono gCO₂eq/MJ)*	21 a 26 (24% a 30% da gasolina)	Soja: 27 (31% do diesel) OGR: 3,8 (4% do diesel)	35 (40% do QAV)	4 a 7 (5 a 8% do GNV)
Desvantagens	Estimula a monocultura da cana, com pouco espaço para pequenos produtores	Maior parte da produção proveniente da soja, com pouco espaço para pequenos produtores	Concorre com etanol pelas matérias-primas; custo de produção elevado	Exige integração eficaz com as atividades que geram os resíduos

* fonte:⁶; ^ fonte:⁷

6 (EPE - a, 2020)

7 (EPE - b, 2020)

EFEITOS SOBRE A MATRIZ DE TRANSPORTE E AS EMISSÕES DE CARBONO

O Brasil é o país com maior participação de biocombustíveis nos transportes do mundo, processo iniciado com a criação do Proálcool nos anos 1970 e intensificado recentemente com o PNPB, os quais estimularam a produção de etanol e biodiesel. Mesmo com a queda na produção nos últimos anos, o etanol responde por 49% do consumo nos veículos leves (a gasolina vendida aos consumidores também possui 27% de etanol anidro em sua composição)⁸, enquanto o biodiesel corresponde a 11% do diesel vendido desde outubro de 2019. Essa participação, além de tornar a matriz de transporte parcialmente renovável, contribui com sua diversificação, fazendo-a menos sensível a problemas com a oferta de derivados de petróleo e gás natural.

O uso dos biocombustíveis contribui com a redução das emissões de gases de efeito estufa, pois a biomassa que dá origem a eles absorve o CO₂ emitido na queima do biocombustível. A redução nas emissões de gases de efeito

estufa varia de acordo com o biocombustível e o combustível fóssil que ele substitui. De maneira geral, um litro de combustível fóssil emite pouco menos de 3 kg de CO₂eq, sendo que o fator de emissão do diesel é o maior e o do gás natural, o menor. Seria esperada uma redução de 100% da emissão já que durante a queima são liberados os gases que foram absorvidos durante o crescimento da planta. De fato, a metodologia adotada pelos inventários nacionais de emissões partem dessa premissa e incluem as emissões indiretas (ex. transporte do biocombustível) em outro capítulo do inventário. No entanto, tanto a metodologia do IPCC quanto a do RenovaBio avaliam que biocombustíveis levam a emissões maiores que zero. Isso acontece pois elas consideram as emissões indiretas, que incluem o restante do ciclo de vida dos combustíveis fósseis e renováveis como, por exemplo, as emissões dos insumos da produção ou transporte do biocombustível.

De qualquer maneira, ambas as metodologias mostram que o uso de biocombustíveis permite reduções significativas das emissões de gases de efeito estufa, especialmente quando produzidos de maneira complementar a outras atividades agrícolas ou a partir de resíduos.

Silo de armazenamento para soja 
e outras *commodities* agrícolas

8. (EPE - a, 2020)

9. (Brasil, 2017) - O RenovaBio é uma política nacional (lei nº 13.576/2017) que busca o reconhecimento do papel estratégico de todos os tipos de biocombustíveis na matriz energética brasileira, tanto para a segurança energética quanto para mitigação de redução

de emissões de gases causadores do efeito estufa (MME, <http://www.mme.gov.br/web/guest/secretarias/petroleo-gas-natural-e-combustiveis-renovaveis/programas/renovabio/principal>).



© Frontpage / Shutterstock

IMPACTOS ADVERSOS DOS BIOCOMBUSTÍVEIS

Se por um lado os biocombustíveis contribuem com a redução das emissões e aumento da geração de empregos no Brasil (em 2015, quase 800 mil postos, ou cerca de 8% do total de empregos em energia renovável no mundo era no Brasil¹⁰), sua produção pode causar impactos adversos no meio ambiente e na sociedade, tornando sua utilização insustentável. Os principais impactos são o desmatamento e a competição com a produção de alimentos. Esses problemas e as possíveis soluções são discutidos a seguir.



© Jaboticaba Images / Shutterstock

COMPETIÇÃO COM OUTRAS CULTURAS

Os biocombustíveis não devem afetar a produção contínua de alimentos e não podem prejudicar nem o ambiente nem a sociedade para serem considerados sustentáveis. Apesar disso, a cana e a soja, principais insumos atualmente utilizados na produção de biocombustíveis no Brasil, são tipicamente produzidas em sistemas de monocultura de grande extensão, os quais prestam poucos serviços ecossistêmicos e têm parte de sua destinação para alimentação.

Alguns estudos associam à produção de biocombustíveis em países europeus a diminuição da produção de alimentos ou supressão da vegetação nativa em outras áreas¹¹, indicando que algumas regiões deixam de produzir alimento para produzir biocombustíveis. No Brasil, não há evidências de competição significativa entre produção de biocombustíveis e alimentos a ponto de prejudicar o abastecimento. No caso da cana, atualmente a safra é destinada em quantidades similares à produção de etanol e à produção de açúcar. Por mais que essa proporção seja determinada pelos preços de mercado dessas duas commodities, não existe registro de falta de abastecimento de açúcar, e mesmo o efeito dessa competição sobre o preço é controverso¹². De qualquer forma, é necessário considerar essa limitação quando se planeja o crescimento da produção de biocombustíveis sustentáveis no longo prazo.

DESMATAMENTO

A produção de biocombustíveis também não pode ser considerada sustentável se causar, direta ou indiretamente, a conversão de ecossistemas naturais. Sob a ótica ambiental, uma área de vegetação nativa é mais importante do que a produção de biocombustíveis devido aos serviços ecossistêmicos ali prestados. A produção tampouco será sustentável se, mesmo ocorrendo em áreas já convertidas, causar desmatamento pelo deslocamento da atividade anteriormente desenvolvida na área (indirect land use change – iLUC). No Brasil, esse fenômeno foi observado com a soja, responsável pelo deslocamento da pecuária para as fronteiras da Amazônia, causando o desmatamento desse bioma¹³.

Em 2016, o governo brasileiro considerava que o país ainda tinha terras agriculturáveis (144 milhões de ha, o dobro da área atualmente destinada à agricultura) em quantidade suficiente para não afetar a produção de alimentos e dispensar o desmatamento da Floresta Amazônica, do Pantanal e dos fragmentos restantes da Mata Atlântica¹⁴. No entanto, essa estimativa se baseou apenas em impedimentos legais ao desmatamento na época e considerava como possível

área de expansão parte de habitats naturais do Cerrado e da Caatinga. O presente estudo parte do princípio de que a produção de biocombustíveis proveniente de áreas desmatadas não é sustentável, razão pela qual considera como referência as áreas já convertidas ou degradadas até 2014¹⁵, diferentemente da política atual, que considera áreas degradadas até 2018.

SOLUÇÕES PARA CONTROLAR OS IMPACTOS DOS BIOCOMBUSTÍVEIS

Existem soluções que permitem o aumento de produção dos biocombustíveis sem a necessidade de expandir a área cultivada, evitando a escassez de alimentos e o comprometimento dos biomas brasileiros. O aumento dos rendimentos da produção é uma delas. Grandes esforços têm sido feitos no sentido de aumentar tanto a produtividade na fase agrícola (t/ha) quanto na fase industrial, quando a biomassa é transformada em biocombustível (L/t). O aumento da produtividade pode ser oriundo de melhorias incrementais, relacionadas à seleção de variedades de cultivos mais apropriados ao processamento



OS BIOCOMBUSTÍVEIS NÃO PODEM PREJUDICAR NEM O AMBIENTE NEM A SOCIEDADE PARA SEREM CONSIDERADOS SUSTENTÁVEIS



A PRODUÇÃO DE BIOCOMBUSTÍVEIS PROVENIENTE DE ÁREAS DESMATADAS NÃO É SUSTENTÁVEL, RAZÃO PELA QUAL SE CONSIDERA COMO DISPONÍVEIS APENAS ÁREAS JÁ CONVERTIDAS OU DEGRADADAS

10. (IRENA, 2018)

11. (HLPE, 2013) e (CCE, 2015)

12. (Renzaho et al 2017)

13. (Richards et al 2014)

14. (EPE, 2016)

15. (Strassburg et. al, 2014)



**EXISTEM SOLUÇÕES QUE
PERMITEM O AUMENTO
DOS BIOCOMBUSTÍVEIS
SEM A NECESSIDADE
DE EXPANDIR A ÁREA
CULTIVADA, EVITANDO A
ESCARSEZ DE ALIMENTOS E
O COMPROMETIMENTO DOS
BIOMAS BRASILEIROS**

(cana com maior teor de açúcar, por exemplo) e aprimoramento dos processos produtivos, especialmente na produção de bioquerosene e biodiesel, casos em que as cadeias produtivas são mais recentes. Além disso, o aumento da produtividade também pode ser proveniente de inovações disruptivas, como o desenvolvimento de uma nova rota bioquímica (como deve ser o caso do etanol celulósico).

Outra opção é a utilização de matérias-primas alternativas. Um exemplo é a macaúba, espécie nativa de palmeira que apresenta um rendimento muito maior do que a soja na produção do óleo (4000 kg/ha comparado aos 500 kg/ha da soja) e que pode ser convertida em bioquerosene e biodiesel¹⁶. Em muitos casos, tais culturas podem ser integradas em sistemas lavoura-pecuária-floresta (ILPF), otimizando o uso do solo com benefícios para a produtividade e resiliência da terra¹⁷. Caso seja possível a produção dessas matérias-primas alternativas em consonância com a agricultura familiar e em sistemas ILPF, elas são excelentes possibilidades.

O aumento de produtividade também pode se dar na pecuária, a qual atualmente responde com suas pastagens por 70% da terra agriculturável ocupada no país. À medida que a produtividade da pecuária aumentar, haverá liberação

de espaço para cultivo de alimentos e biocombustíveis. A utilização dessas áreas, assim como das áreas de pastagens hoje degradadas, pode ser considerada sustentável, pois não implica em conversão de áreas naturais e não impede a produção de alimentos. Análises mostram que um aumento na produtividade da pecuária dos atuais 32-34% para o potencial de 49-52% liberaria 36 milhões de ha para a expansão agrícola, área suficiente para acomodar a expansão da produção de alimentos¹⁸ e de biocombustíveis.

Por último, pode-se aumentar o aproveitamento energético de resíduos urbanos e agropecuários, inclusive para a produção de biocombustíveis¹⁹. Esse tipo de matéria-prima é particularmente interessante do ponto de vista ambiental pois, além de contribuir para o aporte energético, também diminui o montante de lixo e poluentes depositados no ambiente. Há potencial para grande aumento na produção de biometano a partir da decomposição controlada de resíduos agropecuários e de aterros urbanos, sendo que as primeiras plantas de produção já foram instaladas no Brasil²⁰. Deve-se destacar que, embora o biometano seja o principal biocombustível obtido através do reaproveitamento de resíduos, também se faz possível a produção de biodiesel e bioquerosene a partir de materiais que são desperdiçados atualmente.

Gado Nelore em pastagem verde. →
São Paulo, Brasil

16. (Simone Palma Favaro - Embrapa Agroenergia, comunicação pessoal)

17. (Lobato, 2017)

18. (MAPA, 2019)

19. (FGV, 2017)

20. (CBiogás, 2015), (O setor elétrico, 2016) e (CBiogás, 2017)



© Jaboticaba Images / Shutterstock

POTENCIAL DE PRODUÇÃO – 2030

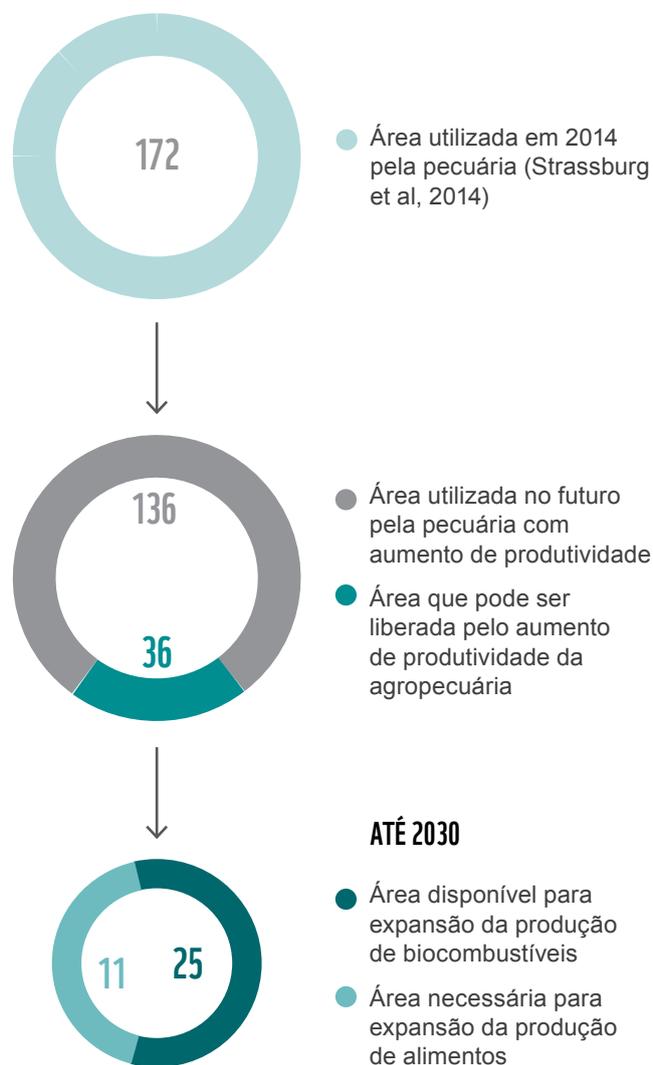
Em vista dos benefícios e ameaças relacionados à produção e ao consumo de biocombustíveis, é fundamental avaliar qual é a potencial oferta sustentável de biocombustíveis que o Brasil é capaz de garantir. Em outras palavras, até que ponto é possível tornar a matriz de combustíveis mais renovável e reduzir as emissões de carbono sem causar mais desmatamento e prejudicar a segurança alimentar?

Com isso em vista, calculou-se o potencial de produção de biocombustíveis em 2030, último ano para atingir as metas propostas na primeira NDC²¹ brasileira conforme definido no Acordo de Paris. Para tanto, foram consideradas projeções conservadoras de aumento de rendimento na produção, diversificação de culturas e outras fontes de biomassa (Anexos 1 e 2). A área disponível considerada é a proveniente da realocação de áreas atualmente degradadas ou de baixa produtividade, tipicamente compostas por pastagens. Com base em cálculos de Strassburg et al (2014), o aumento de produtividade da pecuária brasileira pode liberar 36 milhões de ha para outros usos sem a necessidade de desmatamento de áreas nativas.

A partir dessa área liberada (36 milhões ha²²), subtraiu-se a quantidade necessária para atender a demanda de alimentos, calculada a partir da extrapolação para 2030 de projeções oficiais do governo feitas pelo MAPA²³, obtendo-se, então, a área disponível para produção de biocombustíveis em 2030. Como a área demandada pela expansão da produção de alimentos foi estimada em 11 milhões de ha, estariam disponíveis para a expansão dos biocombustíveis cerca de 25 milhões de ha (Figura 1).

FIGURA 1

Esquema explicativo do cálculo da área disponível para produção de biocombustíveis em 2030. A área disponível é proveniente da expectativa de aumento da produtividade do rebanho entre 2014 e 2030, liberando área para a produção de alimento e de biocombustíveis.



21. NDC significa Contribuição Nacionalmente Determinada, na sigla em inglês. Ela corresponde ao conjunto de compromissos assumidos pelos países no Acordo de Paris para contribuir com a mitigação das mudanças climáticas e a adaptação aos seus efeitos.

22. (Strassburg et al, 2014)

23. (MAPA, 2019)

Com base na área disponível e na produção atual, foram criados dois cenários de oferta potencial para 2030 compostos pela produção de etanol, biodiesel, bioquerosene e biometano, que variaram na porcentagem dessa área que seria destinada a cada cultivo (Figura 2; Tabela 2). Os cenários foram criados considerando duas situações opostas de produção de biocombustíveis: (1) agronegócio, focando a produção nas commodities e monoculturas atuais e (2) alternativo, aumentando a importância da participação de culturas pouco exploradas atualmente, mas que oferecem maior rendimento na produção (Figura 2; Tabela 2). Foram consideradas as culturas de cana, soja, macaúba e palma, assim como as produtividades esperadas pelo MAPA²⁴, MME²⁵ e FGV²⁶ para cada uma delas (Anexos 1 e 2).

FIGURA 2

Esquema explicativo da projeção. As culturas e seus respectivos biocombustíveis que seriam plantadas na área liberada pelo aumento da produtividade do rebanho, subtraída da área necessária para produção de alimento. Os dois cenários variam nas porcentagens da área degradada que seriam destinada a cada cultura.

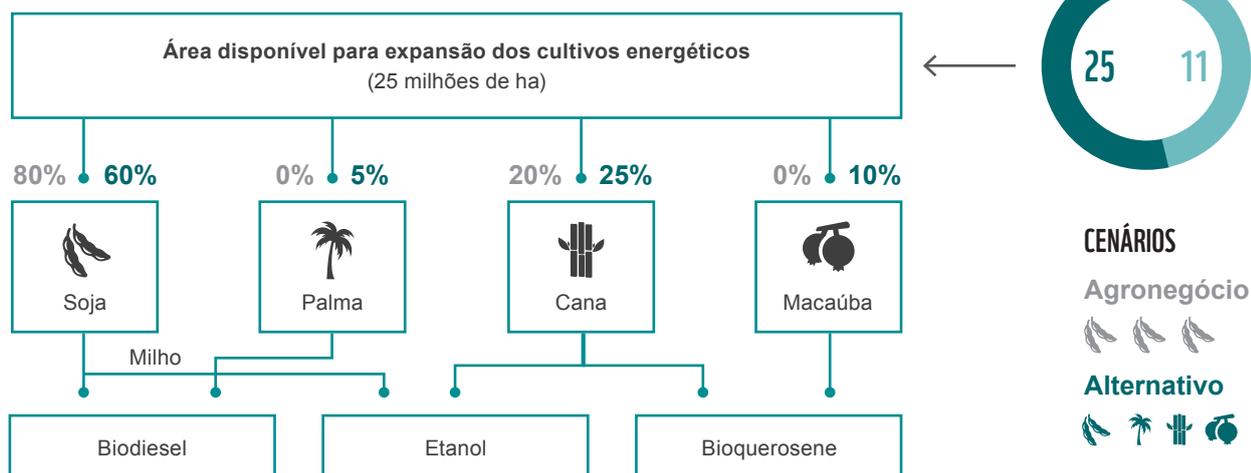


TABELA 2

Porcentagem da área destinada a cada cultura em cada cenário da projeção, assim como a área total cultivada em consequência dessa porcentagem.

CENÁRIO	Porcentagem da área disponível destinada à cultura				Área da cultura dedicada aos biocombustível (milhões ha)			
	Cana	Soja	Macaúba	Palma	Cana*	Soja*	Macaúba	Palma
Agronegócio	20,0	80,0	0,0	0,0	16,2	35,4	0,0	0,0
Alternativo	25,0	60,0	10,0	5,0	17,4	30,4	2,5	1,2
Valor atual (18/19)	–	–	–	–	4,3	7,2	?	?

* soma área atualmente projetadas pelos estados

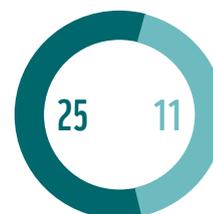
24. (MAPA, 2019)

25. (MME, 2020)

26. (FGV, 2017)



ATÉ QUE PONTO É POSSÍVEL TORNAR A MATRIZ DE COMBUSTÍVEIS MAIS RENOVÁVEL E REDUZIR AS EMISSÕES DE CARBONO SEM CAUSAR MAIS DESMATAMENTO E PREJUDICAR A SEGURANÇA ALIMENTAR?



CENÁRIOS

Agronegócio



Alternativo



LEGENDA	
	Soja
	Palma
	Cana
	Macaúba

Também foram estimados os potenciais de produção a partir de outras fontes de biomassa que não dependem da expansão da área agrícola, como o sebo bovino e o óleo de cozinha para a produção de biodiesel, e os resíduos sólidos urbanos, esgoto e resíduos agropecuários para a produção de biometano. Por fim, foi calculado o potencial de produção de biometano a partir da vinhaça, subproduto do etanol. As análises consideraram, inclusive, o aumento da produtividade advindo da utilização da rotação de culturas de milho e soja, possibilitando a produção de etanol a partir do milho, uma prática que cresceu consideravelmente nos últimos anos (Figura 2). No entanto, devido a desafios tecnológicos na implementação do etanol de segunda geração e a baixa expectativa de

que ele seja viável em 2030, esse biocombustível não foi considerado.

CAPACIDADE DE ATENDIMENTO DA DEMANDA DO SETOR DE TRANSPORTES

Observa-se que o potencial de produção de biocombustíveis é menor no cenário em que as commodities atuais são priorizadas, já que a produtividade de combustível dessas culturas por área é inferior à dos outros cultivos (tabela 3). Observa-se também um alto potencial de produção de biodiesel e biogás a partir de resíduos, que em termos ambientais são os mais vantajosos (tabela 3 e tabela 4).

TABELA 3

Resultado das projeções de produção dos biocombustíveis líquidos para cada cenário e o comparativo com a produção atual. As produções que independem da área de cultivo projetada (biodiesel de óleo de cozinha e biodiesel de sebo bovino) são iguais entre os cenários.

CENÁRIO	Total da produção (bilhões L)							
	 Etanol	 Etanol	 Bio diesel	 Bio diesel	 Bio querosene	 Bio querosene	 Bio diesel	 Bio diesel
	58,1	15,5	16	0	8,9	0	35,2	1,43
	65,3	14,1	13	7,2	10	10		
Valor atual (18/19)	34,81	0,06	4	0,12	Pouco significativa	Pouco significativa	0,09	0,66

TABELA 4

Resultado das projeções de produção do biometano. Como a maioria das produções independem da área de cultivo projetada, com exceção da vinhaça, não foi feita distinção entre os cenários para o biogás.

	FONTE	Produção (milhões m ³ /dia)	Demanda atendida
Urbana	RSU	5,7	78%
	Esgoto	1,2	17%
Rural	Vinhaça*	7,4	101%
	Avino	9,4	129%
	Suíno	4,1	56%
	Bovino	5,2	72%
Total		32,7	447%

A análise do potencial de oferta sustentável de biocombustíveis mostra que seria possível assegurar o abastecimento de alimentos e atender as demandas definidas na legislação para adição de etanol, biodiesel e bioquerosene²⁷ nos combustíveis fósseis em 2030 (tabela 5).

TABELA 5

Porcentagem da demanda legal, i.e. % da mistura obrigatória em combustíveis fósseis, que seria atendida considerando o potencial de produção em cada cenário.

CENÁRIOS	ETANOL	BIODIESEL	BIOQUEROSENE
	176%	473%	9000%
	189%	511%	19000%

No entanto, não é possível atender a demanda total brasileira por combustíveis líquidos em 2030. A produção de etanol nos diversos cenários supriria no máximo 78% da demanda (107 bilhões de litros), enquanto a de biodiesel atenderia, no melhor cenário, 58% da demanda (103 bilhões de litros; tabela 6). Somente a demanda total de querosene (13 bilhões de litros) poderia ser atingida, mas apenas no cenário alternativo, que privilegia culturas de alto rendimento (tabela 6).



**O CENÁRIO COM PALMA E
MACAÚBA É O QUE MELHOR
ATENDE A DEMANDA E MAIS
OFERECE BENEFÍCIOS AO
MEIO AMBIENTE**

* Considera a vinhaça disponível no cenário com maior produção de cana-de-açúcar. A comparação é com a demanda total de gás natural no setor de transporte.

²⁷ Com base nas estimativas do PDE, 2029 e porcentagens de adição de etanol na gasolina e de biodiesel no diesel e nas estimativas resultantes da aplicação do RenovaBio, calculam-se a demanda de etanol em 44 bilhões de litros, a de diesel em 11,7 bilhões e a de bioquerosene em 0,1 bilhões de litros.

TABELA 6

Porcentagem da demanda total, i.e. substituição total de combustíveis fósseis por biocombustíveis, que seria atendida considerando o potencial de produção em cada cenário.

CENÁRIOS	ETANOL	BIODIESEL	BIOQUEROSENE
	72%	54%	72%
	78%	58%	158%

Para o GNV, é possível suprir a demanda projetada se forem diversificadas as fontes de produção do biometano. A demanda é projetada em 7,3 milhões m³/dia para transportes em 2030²⁸. As projeções realizadas neste estudo indicam um potencial de produção de 32,7 milhões m³/dia (Tabela 4), valor quase cinco vezes superior à demanda. Essa estimativa considera que apenas parte da produção de biogás (que dá origem ao biometano) será destinada para transporte. Mesmo assim, a grande oferta de biometano permitiria substituir parte do consumo de diesel, principalmente em propriedades rurais. De acordo com a FGV²⁹, o biometano poderia suprir até 44% do consumo de diesel no setor de transportes.

Entre os cenários avaliados, o que apresentou maior capacidade de atender a demanda de todos os combustíveis líquidos foi o cenário alternativo, que privilegia as culturas de palma e macaúba. Esse cenário também contribui para a maior produção de biometano pois mantém a maior produção de etanol e, portanto, de biometano a partir da vinhaça. Embora o cenário do agronegócio tenha as vantagens de (1) contar com a complementaridade na produção de biodiesel e farelo, visto que o processamento da soja produz farelo e óleo, este último insumo do biodiesel, (2) aproveitar a cadeia produtiva e distribuição que já existe para essas commodities, e (3) depender menos de avanços tecnológicos a serem atingidos na próxima década, o cenário alternativo representa maiores benefícios para o meio ambiente pois abre espaço para o cultivo de plantas nativas e que podem ser cultivadas em conjunto com outras culturas em sistemas agroflorestais (SAF) ou ILPF, sem prejuízo para sua produção.

Deve-se considerar que a taxa de expansão da atividade agrícola brasileira necessária para ocupar 25 milhões de hectares até 2030 é muito superior à média histórica do Brasil. Considerando que ela seria estimulada principalmente pela expansão dos biocombustíveis, apenas incentivos muito agressivos poderiam fazer com que a produção de biocombustíveis atingisse todo o seu potencial. Seria preciso, inclusive, garantir que tais incentivos não estimulassem o desmatamento, legal e ilegal.

REDUÇÃO DAS EMISSÕES DE CARBONO E REFLEXO NAS CONTRIBUIÇÕES BRASILEIRAS PARA O CLIMA

A redução das emissões de carbono proporcionadas pela adoção de biocombustíveis é um dos principais argumentos em prol dessa alternativa. De fato, as emissões do setor de transportes são significativas: 200 milhões de toneladas de CO_{2eq} em 2018, o que corresponde a 10% das emissões nacionais³⁰. Dessa maneira, foram calculadas

28. (EPE, 2016)

29. (FGV, 2017)

30. (OC, 2020)

31. Há dúvidas se o Brasil manterá esse cálculo. A razão disso é que o valor das emissões em 2005 foi revisado

para 2,8 bilhões de toneladas de CO₂ no 30 inventário de emissões brasileiro, publicado no ano seguinte ao Acordo de Paris (MCTIC, 2016)

32. (Searchinger et al, 2017)

33. (Righelato & Spracklen, 2007)

as contribuições da substituição dos combustíveis fósseis pelos biocombustíveis que podem ser produzidos de maneira sustentável de duas maneiras: de acordo com a metodologia do IPCC e com a do RenovaBio, que considera o ciclo de vida completo dos biocombustíveis. Essas contribuições foram comparadas com a meta brasileira de emissões para 2030 (tabelas 7 e 8, respectivamente).

TABELA 7

Potencial de redução das emissões de CO_{2eq} em 2030 de acordo com a metodologia estabelecida pelo IPCC.

CENÁRIOS	ETANOL (mi ton CO_2 /ano)	BIODIESEL (mi ton CO_2 /ano)	BIOQUEROSENE (mi ton CO_2 /ano)	BIOMETANO (mi ton CO_2 /ano)	Total (mi ton CO_2 /ano)	Contribuições para redução NDC - 2030
	145,4	150	25,61	29,8	350	39%
	156,8	162,2	56,4	30,58	406	45%

TABELA 8

Potencial de redução das emissões de CO_{2eq} em 2030 de acordo com a metodologia estabelecida pelo RenovaBio.

CENÁRIOS	ETANOL (mi ton CO_2 /ano)	BIODIESEL (mi ton CO_2 /ano)	BIOQUEROSENE (mi ton CO_2 /ano)	BIOMETANO (mi ton CO_2 /ano)	Total (mi ton CO_2 /ano)	Contribuições para redução NDC - 2030
	96,7	103,6	15,5	26,4	242	27%
	108,6	112	34,16	27,1	281	31%

A primeira NDC brasileira estipula uma redução das emissões em 43% abaixo dos níveis de 2005, em 2030. As emissões em 2005 consideradas para a definição das metas foram de 2,1 bilhões de toneladas de CO_{2eq} ³¹. Essa redução é bastante significativa, chegando a quase 1/4 da diminuição com a qual o Brasil se comprometeu no Acordo de Paris. Nesse sentido, a utilização de biocombustíveis traz um grande benefício para a redução das emissões brasileiras ao mesmo tempo em que torna a matriz energética mais renovável e menos dependente de combustíveis fósseis. Mesmo quando é considerado o ciclo de vida completo, as contribuições para a NDC ainda são expressivas, embora com uma menor diferença de redução entre os cenários.

Apesar disso, a adoção de biocombustíveis pode não ser a melhor alternativa para redução das emissões de GEE no médio e longo prazo, visto que as terras ocupadas por cultivos para sua produção podem absorver mais carbono se forem reflorestadas para restauração do bioma, ainda que parcialmente³². Seria possível, inclusive, associar restauração florestal com energia solar, garantindo o abastecimento energético e a proteção ambiental³³. No entanto, essa estratégia ainda não é viável no curto prazo pois é uma solução disruptiva, sem bases legais e ainda cara. Por já haver incentivos legais e pesquisas em andamento, os biocombustíveis são uma opção de transição nos próximos anos para o cumprimento das metas da NDC. No entanto, é importante reforçar seu caráter transitório e que, concomitante à utilização de biocombustíveis, é imprescindível a criação de mecanismos legais e fiscais que viabilizem a redução de emissões GEE considerando a manutenção da biodiversidade local, tais como as práticas descritas anteriormente. Essa prática permitirá não apenas desenvolver energia mais limpa, como possibilitará considerar a geração de energia em um cenário de emissões negativas, capturando gás carbônico atmosférico.



© Sergio Shumoff / Shutterstock

PRINCIPAIS PREMISSAS E LIMITAÇÕES DAS ESTIMATIVAS

Esta análise foi baseada em dados do Plano Decenal de Energia 2029³⁴, Projeções do Agronegócio³⁵ e da FGV³⁶. As estimativas, baseadas numa abordagem top-down, indicam o potencial total de oferta sustentável de biocombustíveis, não representando cenários tendenciais. Estimaram-se fatores de aproveitamento para alguns insumos, entre os quais 70% do óleo de cozinha gerado aproveitado para a produção de biodiesel, 80% do biogás produzido pela vinhaça destinado à produção de biometano e o aproveitamento do esgoto apenas em cidades com mais de 100 mil habitantes (Anexo 3).

Não foram considerados custos e logística de cultivo nas áreas em questão, assim como também não foram determinadas quais áreas degradadas seriam ocupadas. Não foram computados possíveis impactos sociais do aumento da produção dos biocombustíveis, ainda que isto tenha sido considerado na seleção dos cultivos para a elaboração dos cenários. Por fim, não foram considerados impactos ambientais complementares, como o uso da água e a poluição dos rios causado pelo uso excessivo de agrotóxicos. Um estudo que considere condições edafoclimáticas (relacionadas ao clima e ao solo) das áreas disponíveis, assim como aspectos socioeconômicos de cada região seria de grande contribuição para a efetivação da produção sustentável de biocombustíveis.

Foram realizados dois cálculos de redução das emissões: um em consonância com os procedimentos recomendados pelo IPCC para a realização de inventários nacionais, que considera emissões nulas na queima dos biocombustíveis e outro de acordo com a metodologia do RenovaBio, que considera o ciclo de vida e assume que biocombustíveis também emitem GEE por meio dos insumos utilizados na produção ou transporte, por exemplo. Para os combustíveis fósseis, foram considerados os fatores de emissão de CO₂ apresentados nos inventários nacionais³⁷. Em nenhum dos cálculos foram consideradas as emissões ou captura de carbono provenientes da mudança no uso da terra³⁸ (dLUC) possivelmente causadas pelos biocombustíveis. Por fim, não são compreendidas as reduções proporcionadas pelo processamento adequado de dejetos urbanos e agrícolas, parte dos quais emitem metano, um poderoso GEE, durante sua decomposição natural. Isso aumentaria ainda mais a contribuição desse tipo de biocombustível para a diminuição de emissões de GEE.

34. (MME, 2020)

35. (MAPA, 2019)

36. (FGV, 2017)

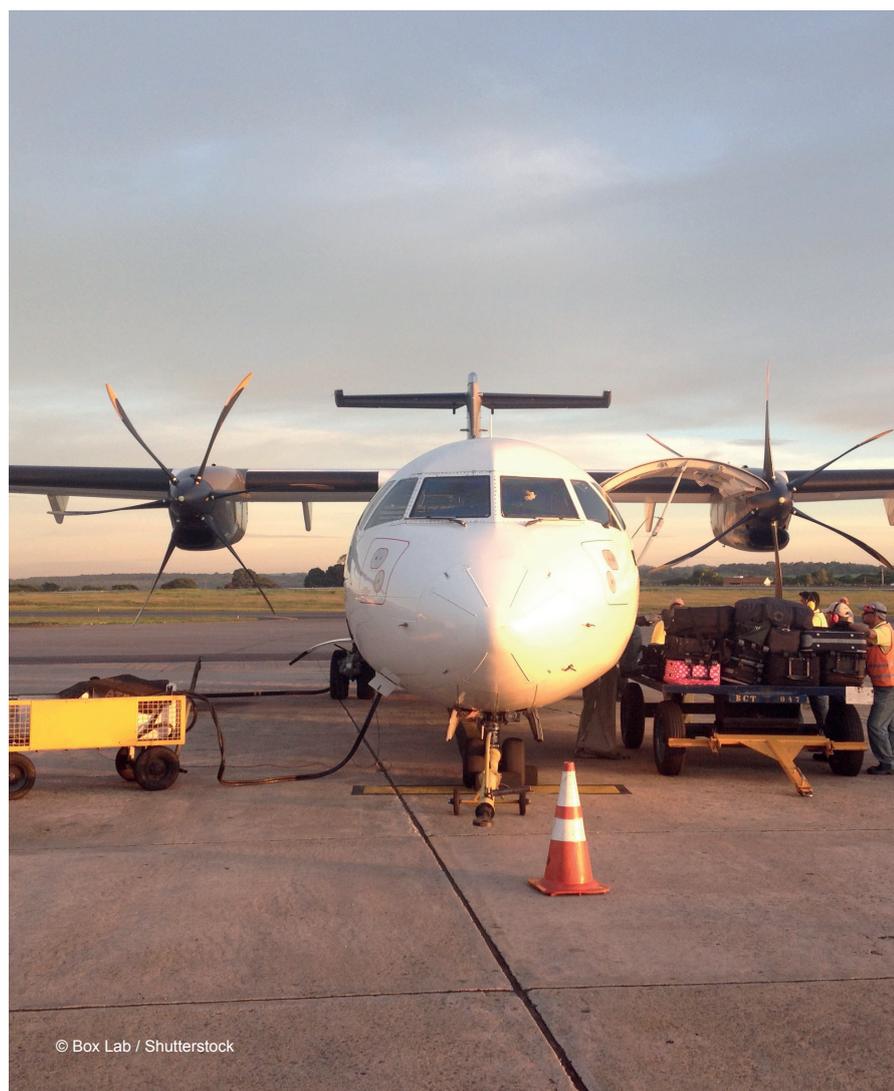
37. (ANAC, 2014) e (MMA, 2014)

38. A migração de pastagens para cultivos energéticos pode aumentar ou diminuir o carbono presente no solo. De modo geral, as pastagens degradadas possuem baixo teor de carbono, que tende a aumentar ao receber culturas perenes ou semiperenes. Medições realizadas no Brasil indicam que mesmo quando se consideram pastagens em melhores condições e as emissões provenientes da preparação do solo para produção de etanol de cana as emissões de carbono provenientes desse processo são compensadas entre dois e três anos (Mello et al, 2014 e Galdos et al, 2010).

CONCLUSÕES

É POSSÍVEL PRODUZIR BIOCOMBUSTÍVEIS SEM COMPROMETER A OFERTA DE ALIMENTOS E A PRESERVAÇÃO DOS HABITATS NATURAIS SE MECANISMOS DE CONTROLE E POLÍTICAS PÚBLICAS ADEQUADAS FOREM ADOTADOS

O Brasil possui mais de 170 milhões de hectares de pastagens, as quais apresentam uma produtividade média de 33%³⁹. O aumento dessa produtividade para 50% tornaria 36 milhões de hectares disponíveis para cultivos em geral, área mais que



© Box Lab / Shutterstock

suficiente para acomodar a expansão da produção de alimentos e de biocombustíveis por várias décadas. Ainda que o aumento da oferta de biocombustíveis possa ser obtido otimizando-se o uso de pastagens já existentes, é preciso garantir que esse crescimento não estimule a ocupação de áreas inadequadas ou até mesmo irregulares, ameaçando a conservação de ecossistemas naturais. Para tanto, é fundamental aplicar e aperfeiçoar os mecanismos existentes de controle do uso da terra, como o Cadastro Ambiental Rural (CAR) e o Zoneamento Agroecológico. Ademais, é preciso explorar em maior escala alternativas à produção baseada em monoculturas. A utilização de espécies nativas como a macaúba e a integração lavoura-pecuária-floresta pode oferecer níveis de produtividade e diversificação economicamente atrativas.

Embora existam áreas agriculturáveis em escala suficiente para acomodar a produção de biocombustíveis sem comprometer o suprimento de alimentos, a competição pelo uso do solo pode provocar elevação de preços e até mesmo escassez de alguns cultivos. Um exemplo é caso do açúcar e etanol, onde a elevação de preços de um tende a diminuir a oferta do outro, e vice-versa. Por outro lado, há casos em que há certa complementaridade, como na produção de farelo de soja, que tem como subproduto o óleo de soja, usado na produção de biodiesel. Políticas públicas para o setor de biocombustíveis devem considerar essas dinâmicas para não comprometer o abastecimento de alimentos.

39. (Strassburg, 2014)

O POTENCIAL DE OFERTA É ELEVADO, MAS NÃO É CAPAZ DE SUPRIR TODA A DEMANDA DO SETOR DE TRANSPORTES BRASILEIRO

O potencial de oferta sustentável de biocombustíveis é capaz de cumprir as metas atualmente previstas para expansão dos biocombustíveis na matriz energética brasileira, mas não é suficiente para suprir toda a demanda de combustíveis fósseis prevista para 2030. Nos cenários analisados, mesmo priorizando-se a produção de etanol e biodiesel, não seria possível atender a demanda total da frota brasileira de veículos rodoviários.

Por outro lado, é possível atender a demanda por QAV e GNV por meio da produção de bioquerosene e biometano. Este pode, inclusive, ser melhor aproveitado: o biometano pode ser o combustível na frota de veículos leves e pesados utilizados no setor agropecuário, eliminando a necessidade de criação de uma extensa rede de distribuição. O biometano também pode ser utilizado em outras atividades, substituindo gás natural tanto em regiões rurais como urbanas.

Dada a dificuldade de adoção de sistemas de propulsão elétrica na aviação, uma política pública para aumento dos renováveis no setor de transportes poderia priorizar a produção de biocombustíveis para

a aviação civil, ao mesmo tempo em que estimula a eletrificação da frota de veículos rodoviários -para os quais a adoção de sistemas híbridos ou puramente elétricos se mostra cada vez mais viável.

A UTILIZAÇÃO DE BIOCOMBUSTÍVEIS REDUZ AS EMISSÕES DE GEE, MAS HÁ OUTRAS ALTERNATIVAS COMO DIVERSIFICAÇÃO DE MODAIS, ELETRIFICAÇÃO DA FROTA E RESTAURAÇÃO FLORESTAL

A substituição de combustíveis fósseis por biocombustíveis proporciona a redução de emissões de GEE mesmo quando se consideram as emissões indiretas envolvidas na produção e distribuição deles. Além disso, a adoção de combustíveis renováveis é um passo necessário em direção à sustentabilidade energética no longo prazo. Ainda assim, a utilização de biocombustíveis não é solução definitiva ou a única alternativa para essas necessidades.

Além de outros combustíveis alternativos, é possível reduzir o consumo por meio da diversificação dos modais de transporte, expandindo o uso de ferrovias e hidrovias, aumento da eficiência energética veicular e expansão do transporte público nas cidades, entre outras ações.



**É FUNDAMENTAL APLICAR
E APERFEIÇOAR OS
MECANISMOS EXISTENTES
DE CONTROLE DO USO DA
TERRA, COMO O CADASTRO
AMBIENTAL RURAL
(CAR) E O ZONEAMENTO
AGROECOLÓGICO**

No que tange o balanço das emissões, análises indicam que a restauração florestal das áreas que de outra maneira seriam destinadas a biocombustíveis proporciona a captura de carbono muito mais intensa e rápida, fator importante quando se considera a necessidade de redução das emissões no menor prazo possível para limitar o aquecimento global a, no máximo, 2°C, buscando o 1,5°C.

Sob a ótica energética, a evolução tecnológica dos veículos elétricos oferece uma opção cada vez mais atrativa para a redução das emissões do setor de transportes à medida que a geração de eletricidade a partir de energia solar, eólica e de outras fontes renováveis alternativas torna-se cada vez mais barata. De forma complementar, é possível produzir combustíveis alternativos a partir de fontes diversas, inclusive renováveis.

Palmeiras perto da Cachoeira Grande na [→](#)
Serra do Cipó, Minas Gerais, Brasil



RECOMENDAÇÃO DE POLÍTICAS PÚBLICAS

Mesmo considerando todo o potencial, os biocombustíveis produzidos nas terras degradadas até 2014 e liberadas pelo aumento da produtividade dos rebanhos – única opção para que biocombustíveis possam ser sustentáveis – não são suficientes para acabar com o consumo de combustível fóssil no transporte. Tendo isso em vista, sua utilização deve ser considerada transitória e deve ser aplicada em conjunto com outras alternativas. Portanto as seguintes políticas públicas e ações são recomendadas:

RENOVABIO

O RenovaBio foi um marco para o setor de biocombustíveis no Brasil. No entanto, essa política é focada na redução de emissões nos motores a combustão, desconsiderando outros aspectos socioambientais, como a valorização da agricultura familiar e a conservação da biodiversidade. Tais critérios poderiam ser incorporados para a avaliação da sustentabilidade do biocombustível produzido. Ademais, o fato do RenovaBio focar em biocombustíveis para motor a combustão inviabiliza a inclusão de outras alternativas de baixo carbono, como hidrogênio (H₂) e veículos elétricos. Por fim, ele não prevê a possibilidade de combustíveis com emissão negativa se associados à restauração/SAF/ILPF. Isso possibilitaria, por exemplo, estimular a restauração de áreas degradadas conjugada à produção de energia com painéis solares, prática já indicada como mais eficiente climática e ecologicamente⁴⁰.

PRECIFICAÇÃO DO CARBONO E OUTRAS EXTERNALIDADES DOS COMBUSTÍVEIS FÓSSEIS

Ao RenovaBio deve ser associada uma política de precificação do carbono e de outras externalidades provocadas pelos combustíveis fósseis, o que permitiria incorporar aos combustíveis fósseis os impactos socioambientais que eles causam à sociedade. Tal política estimularia o desenvolvimento e adoção de combustíveis de baixo carbono, contribuindo com a mitigação das emissões brasileiras e outros benefícios socioambientais. No curto prazo, a Cide (Contribuição de Intervenção no Domínio Econômico) poderia ser ajustada para compor essa política.

MECANISMOS DE CONTROLE

Deve haver, ao contrário do que se observa, um aumento dos mecanismos de controle do uso da terra. Entre eles pode-se citar o estabelecimento, aprimoramento e criação de zoneamentos agroecológicos específicos para culturas ou para a produção de biocombustíveis; investimentos na detecção de iLUC e aumento da fiscalização contra o desmatamento.

DESENVOLVIMENTO TECNOLÓGICO

Os cenários aqui avaliados consideram o aumento da produtividade de diversas culturas e a intensificação de algumas culturas atualmente focadas em agricultura familiar. Para que isso seja viável, são imprescindíveis políticas públicas para o aumento de investimentos em pesquisas e desenvolvimento visando aumentar produtividades de culturas mais promissoras associadas à criação de leis de proteção às cadeias produtivas com agricultura familiar e modelos SAF/ILPF. Esses modelos produtivos, além de garantirem o aspecto socioeconômico da sustentabilidade, também garantem um aumento dos serviços ecossistêmicos prestados pela produção⁴¹ e manutenção da biodiversidade⁴².

BIOCOMBUSTÍVEIS COMO SOLUÇÃO DE NICHOS

No médio e longo prazo, os biocombustíveis devem ser pensados como solução para situações específicas. Por exemplo, uma ilha cuja a geração de energia elétrica seja a partir de geradores a diesel se beneficiaria mais de uma frota de veículos movidos a etanol do que uma frota de veículos elétricos pois, além da perda energética durante o processo



de queima do diesel, etanol emite menos GEE. Essa mesma ilha poderia se beneficiar com a substituição do diesel por biodiesel. No entanto, no continente, onde já existem alternativas comercialmente viáveis de veículos elétricos e a energia elétrica é majoritariamente obtida de fontes renováveis, deve-se planejar o aumento da frota de veículos elétricos, que apresentariam baixa emissão de GEE⁴³.

Outro nicho que os biocombustíveis devem ocupar por mais tempo são a aviação e transporte marítimo, nos quais ainda a eletrificação não se mostra economicamente viável. Desse modo é possível que o bioquerosene seja necessário por mais tempo que os outros biocombustíveis. Levando isso em consideração, os incentivos à pesquisa e ao desenvolvimento devem ser maiores para esse biocombustível. Nos cenários considerou-se que bioquerosene pode ser produzido a partir de cana e macaúba. Para a cana a cadeia produtiva já está estabelecida e em muitos casos próxima a aeroportos, razão pela qual a produção de cana pode auxiliar a produção de bioquerosene.

A macaúba, com maior rendimento que a cana, seria uma boa alternativa para os aeroportos do centro-oeste, onde ocorre sua distribuição natural. As políticas públicas voltadas para essa cultura devem incluir proteção à agricultura familiar e

aumento da produtividade da planta em seu habitat natural, incentivando modelos de produção SAF/ILPF.

RESÍDUOS

Outra direção recomendada para políticas públicas, observada principalmente nas projeções relacionadas ao biogás, é o aumento de incentivos ao reaproveitamento de resíduos agropecuários e urbanos para a produção de biocombustíveis.

Análises indicam que o óleo de cozinha poderia ser utilizado para produzir bioquerosene, razão pela qual incentivos a essa alternativa permitiriam o aproveitamento do óleo recolhido em grandes centros, geralmente próximos aos aeroportos. Isso reduziria a poluição pelo óleo ao mesmo tempo que facilitaria a logística de produção e distribuição do bioquerosene, diminuindo as emissões em seu ciclo de vida completo. Por outro lado, o biometano pode substituir a utilização do diesel no campo através da substituição de parte da frota atualmente movida a diesel. Essa substituição garante não só o reaproveitamento dos resíduos como também diminui as emissões de transporte do diesel até o campo.



A PRODUÇÃO DE VEÍCULOS HÍBRIDOS FLEX É UMA MANEIRA DE APROVEITAR AS VANTAGENS PROPORCIONADAS PELOS BIOCOMBUSTÍVEIS E PELA ELETRIFICAÇÃO

40. (Righelato & Spracklen, 2007)

41. (Lobato, 2016)

42. (Harvey & Villalobos, 2017)

43. (Fujii & Marin, 2017)

ANEXO I - DADOS OBTIDOS

TERRA		
DADO	VALOR	FONTE
Área liberada pelo aumento da produtividade da pecuária (milhões ha)	36	Strassburg, B. B.N.; Latawiec, A. E.; Barioni, L. G.; Nobre, C. A.; da Silva, V. P.; Valentim, J.F.; Vianna, M.; Assad, E. D. When enough should be enough: Improving the use of current agricultural lands could meet production demands and spare natural habitats in Brazil. Global Environmental Change 28: 84–97, 2014.
Área total plantada no Brasil em 2019 (milhões ha)	75,4	MAPA. Projeções do Agronegócio: Brasil 2018/19 a 2028/29. Ministério de Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Brasília, 2019.
Área destinada à produção de grãos (milhões ha) em 2019	62,8	MAPA. Projeções do Agronegócio: Brasil 2018/19 a 2028/29. Ministério de Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Brasília, 2019.
Área destinada à produção de cana-de-açúcar (milhões ha) em 2019	8,6	MAPA. Projeções do Agronegócio: Brasil 2018/19 a 2028/29. Ministério de Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Brasília, 2019.
Taxa mínima de crescimento da cana até 2029	-0,06% a.a.	MAPA. Projeções do Agronegócio: Brasil 2018/19 a 2028/29. Ministério de Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Brasília, 2019.
Taxa máxima de crescimento da cana até 2029	3,3% a.a.	MAPA. Projeções do Agronegócio: Brasil 2018/19 a 2028/29. Ministério de Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Brasília, 2019.
Área destinada à produção de soja (milhões ha) em 2019	35,8	MAPA. Projeções do Agronegócio: Brasil 2018/19 a 2028/29. Ministério de Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Brasília, 2019.
Taxa mínima de crescimento da soja até 2029	-0,03% a.a.	MAPA. Projeções do Agronegócio: Brasil 2018/19 a 2028/29. Ministério de Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Brasília, 2019.
Taxa máxima de crescimento da soja até 2029	4,6% a.a.	MAPA. Projeções do Agronegócio: Brasil 2018/19 a 2028/29. Ministério de Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Brasília, 2019.
Porcentagem da área de cana destinada ao etanol	60,0%	MAPA. Projeções do Agronegócio: Brasil 2018/19 a 2028/29. Ministério de Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Brasília, 2019.

ETANOL

DADO	VALOR	FONTE
Demanda Legal Etanol 2029	44000	MME. Plano Decenal de Expansão de Energia 2029. Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. Brasília, 2019.
Demanda Total Etanol 2029	107000	Relatório Anterior.
Fator de emissão para NDC-etanol hidratado	0	Conversa com especialista Ricardo Fujii (WWF).
Produtividade do etanol de milho (L/ha)	3500	ESTADÃO. Saiba as diferenças entre o etanol de milho e de cana de açúcar (2019). Disponível em: https://jornaldocarro.estadao.com.br/carros/diferencas-etanol-de-milho-e-de-cana-de-acucar/ . Acessado em maio de 2020/ Justificativa: Considerando os poucos dados que temos sobre a produção de etanol de milho no Brasil e que o dado encontrado para produtividade foi o valor máximo (comparado com 8000 do etanol de cana, por exemplo - acima do adotado pelo PDE), não foi considerado aumento de produtividade no período.
Produtividade da cana 2029 (tc/ha)	83,4	MME. Plano Decenal de Expansão de Energia 2029. Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. Brasília, 2019.
Taxa de aumento da produtividade da cana	1,2% a.a.	MME. Plano Decenal de Expansão de Energia 2029. Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. Brasília, 2019.
Cana: ART/tc	140*	MME. Plano Decenal de Expansão de Energia 2029. Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. Brasília, 2019.
Etano hidratado Rendimento (I/ART)	0,606*	MME. Plano Decenal de Expansão de Energia 2029. Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. Brasília, 2019.
	*multiplicando pela taxa de crescimento do período – muito pequena – dá o mesmo valor.	

BIOGÁS

DADO	VALOR	FONTE
Rendimento do biogás de vinhaça (NI/l etanol)	114	ANA (2009). Manual de conservação e reúso de água na agroindústria sucroenergética. Agência Nacional de Águas; Federação das Indústrias do Estado de São Paulo; União da Indústria da Cana-de-Açúcar; Centro de Tecnologia Canavieira. – Brasília : ANA, 2009; 288p
Produção de esgoto/habitante*dia (NLCH ₄ /hab*dia)	10,2	Fujii, R. (2015). Estudo sobre viabilidade econômica e possíveis incentivos econômicos para alternativas tecnológicas para micro geração e geração descentralizada de energia (que contemple os aspectos eficiência, sociais, econômicos e ambientais).
Produção de RSU/habitante/dia (Kg)	0,948	Fujii, R. (2015). Estudo sobre viabilidade econômica e possíveis incentivos econômicos para alternativas tecnológicas para micro geração e geração descentralizada de energia (que contemple os aspectos eficiência, sociais, econômicos e ambientais).
Porcentagem de FORSU nos RSU	50,0%	Fujii, R. (2015). Estudo sobre viabilidade econômica e possíveis incentivos econômicos para alternativas tecnológicas para micro geração e geração descentralizada de energia (que contemple os aspectos eficiência, sociais, econômicos e ambientais).
CH ₄ /RSU (Nm ³ /Kg)	0,1	Fujii, R. (2015). Estudo sobre viabilidade econômica e possíveis incentivos econômicos para alternativas tecnológicas para micro geração e geração descentralizada de energia (que contemple os aspectos eficiência, sociais, econômicos e ambientais).
Número cabeças de porco em 2019	43679600	Conab. Indicadores da Agropecuária. Companhia Nacional de Abastecimento. Brasília, 2019. Disponível em: www.conab.gov.br
Produção de CH ₄ / cabeça suína (m ³ CH ₄ /cabeça*dia)	0,144	FOLHA DE LONDRINA. Em São Miguel do Iguaçu, uma granja do futuro. Disponível em: < https://www.folhadelondrina.com.br/folha-rural/em-sao-miguel-do-iguacu-uma-granja-do-futuro-961447.html > Acesso em: maio de 2020.
Número de cabeças de pintos em 2019	6498200000	Conab. Indicadores da Agropecuária. Companhia Nacional de Abastecimento. Brasília, 2019. Disponível em: www.conab.gov.br
Produção de dejetos por frango(kg/dia*animal)	0,09	BSG Equipamentos para Biogás. Saiba como fazer o cálculo da produção de Biogás. Disponível em: https://www.bgsequipamentos.com.br/calculo-da-producao-de-biogas/ . Acessado em: maio de 2020
Rendimento de metano/dejeito avino (m ³ CH ₄ /ton)	32	Cabral, C. B. G. et al. Tecnologias de digestão anaeróbia com relevância para o Brasil: substratos, digestores e uso de biogás / Probiogás. Ministério das Cidades e GIZ. Brasília, 2015.
Número de cabeças de vacas ordenhadas em 2019	16400000	IBGE. 2019, Pesquisa Pecuária Municipal, https://sidra.ibge.gov.br/tabela/94 . Acessado em: maio de 2020.
Rendimento de biogás por vaca ordenhada (m ³ /dia*animal)	0,98	COLDEBELLA, A. Viabilidade do uso de biogás da bovinocultura e suinocultura para geração de energia elétrica e irrigação em propriedades rurais. 2006. 74f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2006.
Porcentagem media de Biometano nos dejetos das vacas ordenhadas	65%	COLDEBELLA, A. Viabilidade do uso de biogás da bovinocultura e suinocultura para geração de energia elétrica e irrigação em propriedades rurais. 2006. 74f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2006.
Fator de emissão para NDC – biometano	0	Conversa com especialista Ricardo Fujii (WWF).

BIOQUEROSENE

DADO	VALOR	FONTES
Demanda Legal Bioquerosene 2029	103	MME. Plano Decenal de Expansão de Energia 2029. Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. Brasília, 2019.
Demanda Total Bioquerosene 2029	12350	Relatório Anterior.
Fator de emissão para NDC – bioquerosene	0	Conversa com especialista Ricardo Fujii (WWF).
Produtividade do bioquerosene de macaúba (L/ha)	3833,33	Biodieselbr. Macaúba é alternativa promissora para o Biodiesel (2016). Disponível em: https://www.biodieselbr.com/noticias/materia-prima/macaba/macaba-alternativa-promissora-para-o-biodiesel-150716 . Acessado em: maio de 2020
Produtividade do bioquerosene de cana (L/ha)	4365	Conversa com especialista João Paulo Rossi (Artemys) em 2016.

BIODIESEL

DADO	VALOR	FONTES	
Demanda Legal Biodiesel 2029	11700	MME. Plano Decenal de Expansão de Energia 2029. Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. Brasília, 2019.	Biodiesel Geral
Demanda Total Biodiesel 2029	97850	Relatório Anterior.	
Rebanho bovino em 2018 (milhões)	31,9	IBGE. 2019, Pesquisa Pecuária Municipal, https://sidra.ibge.gov.br/tabela/3939 . Acessado em: maio de 2020	Sebo de Boi
Taxa de crescimento da produção Bovina	1,7% a.a.	MAPA. Projeções do Agronegócio: Brasil 2018/19 a 2028/29. Ministério de Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Brasília, 2019.	
Rendimento do biodiesel (Kg/cabeça)	34	Trigueirinho, F., Minelli, J.C., Tokarski, D.. Biodiesel: Oportunidades e Desafios no Longo Prazo. Aprobio (2016).	Óleo de cozinha
Rendimento de biodiesel por óleo de cozinha (l biodiesel/ton óleo)	854,28	Francechini, B.T. (2014). UTILIZAÇÃO DE ÓLEO DE FRITURA DESCARTADO PARA a PRODUÇÃO DE BIODIESEL. Universidade Federal do Rio grande do Sul.	
Quantidade de óleo de fritura utilizado no Brasil por mês (milhões L)	5500	O Estado de Minas. Óleo de Cozinha é transformado em Biodiesel. Disponível em: https://www.em.com.br/app/noticia/tecnologia/2016/02/29/interna_tecnologia,738403/oleo-de-cozinha-e-transformado-em-biodiesel.shtml . Acessado em maio de 2020.	
Densidade do óleo de fritura (kg/l)	0,891	O Estado de Minas. Óleo de Cozinha é transformado em Biodiesel. Disponível em: https://www.em.com.br/app/noticia/tecnologia/2016/02/29/interna_tecnologia,738403/oleo-de-cozinha-e-transformado-em-biodiesel.shtml . Acessado em maio de 2020.	
Produtividade do Biodiesel de soja (L/ha) em 2019	590	FGV. Biocombustíveis. FGV Energia Ano 4, no 8. Rio de Janeiro, 2017.	Soja

ANEXO II - CÁLCULOS REALIZADOS

TERRA		
DADO	VALOR	CÁLCULO
Área média projetada do cultivo de cana em 2030 (milhões ha)	10,63	Média das áreas mínimas e máximas estimadas para 2030 a partir das taxas máxima e mínimas de crescimento para o cultivo
Área média projetada do cultivo de soja em 2030 (milhões ha)	46,57	Média das áreas mínimas e máximas estimadas para 2030 a partir das taxas máxima e mínimas de crescimento para o cultivo
Média projetada de expansão da área cultivada em 2030 (milhões ha) no Brasil para suprimento de alimento e biocombustíveis	13,2	Projeção mínima de área plantada de grãos e cana-de-açúcar para 2030 subtraindo a área plantada até 2019 (i.e. expansão da área cultivada no período). O mesmo foi feito para a projeção máxima. A média projetada é o cálculo da média da expansão desses dois cenários
Média projetada da expansão agrícola descontando área para biocombustíveis (milhões ha)	11	Subtrai-se, da média da projeção de expansão, a área que os cenários <i>business as usual</i> consideram que serão destinadas aos biocombustíveis etanol e biodiesel (i.e. 60% da área de cana e 20% da área de soja)
Porcentagem da área cultivada destinada a cana dose açúcar em 2019	11,4%	Área destinada à produção de cana-de-açúcar (milhões ha) em 2019 / Área total plantada no Brasil em 2019 (milhões ha)
Porcentagem da área cultivada destinada a soja em 2019	47,5%	Área destinada à produção de soja (milhões ha) em 2019 / Área total plantada no Brasil em 2019 (milhões ha)

ETANOL		
DADO	VALOR	CÁLCULO
Produtividade do etanol de cana (l/ha)	7160,5	Produtividade da cana (tc/ha)* ART/tc * rendimento (l/ART). Observação: O aumento da produtividade do etanol hidratado foi baseado nas projeções do PDE2029, que consideram aumento de produtividade da cana e rendimento do etanol
Demanda Legal Etanol	41800	Valor citado no PDE 2029, expandido de acordo como a fórmula do juros compostos até 2030. Taxa de crescimento de 2,5% a.a. assumida para o período do PDE2029. Descontados 5% do efeito da pandemia
Demanda Total Etanol 2029	101650	Relatório Anterior - 5% da pandemia
Fator de emissão considerando ciclo – etanol hidratado	0,444	Valor do renovabio*densidade energética do biocombustível
Produtividade da cana 2030 (tc/ha)	84,4	Produtividade da cana 2029 * Taxa de aumento da produtividade da cana

BIOGÁS		
DADO	VALOR	CÁLCULO
Aumento do número de cabeças de porcos até 2030	2,4%a.a.	A partir dos dados do relatório na Conab 2019, foi feita a média do crescimento de 2015 a 2019
Aumento do número de cabeças de pintos até 2030	0,07%	A partir dos dados do relatório na Conab 2019, foi feita a média do crescimento de 2015 a 2019
m ³ de CH ₄ produzidos por avinos por dia	9429713	$[(\text{cabeças_avinas2030} * \text{dejetos_por_cabeça}) / 1000] * \text{m}^3\text{CH}_4 / \text{ton} * \text{aproveitamento}$
m ³ de CH ₄ produzidos por suínos por dia	4082354	$\text{cabecaporco2030} * \text{produçãoCH}_4 / \text{cabeça} * \text{aproveitamento}$
m ³ de CH ₄ produzidos por vacas por dia	5523400	$\text{vacas_ordenhadas2018} * \text{biogás} / \text{vaca_ordenhada_dia} * \% \text{biometano} * \text{aproveitamento}$
Fator de emissão considerando ciclo – biometano	0,282	Valor do renovabio * densidade energética do biocombustível

BIOQUEROSENE

DADO	VALOR	CÁLCULO
Demanda Legal Bioquerosene	97,85	Valor citado no PDE 2029 "1% da demanda total (103 mil m ³ em 29)". Descontados 5% do efeito da pandemia
Demanda Total Bioquerosene 2029	11732,5	Relatório Anterior - 5% da pandemia
Fator de emissão considerando ciclo – bioquerosene	1,14	Valor do renovabio*densidade energética do biocombustível

BIO DIESEL

	DADO	VALOR	CÁLCULO
Biodiesel Geral	Demanda Legal Biodiesel	11115	Valor citado no PDE 2029, expandidos de acordo como a fórmula do juros compostos até 2030. Taxa de crescimento de 3,1% a.a. assumida para o período de 2023 a 2029 no PDE2029. Descontados 5% do efeito da pandemia
	Demanda Total Biodiesel 2029	92957,5	Relatório Anterior - 5% da pandemia
Biodiesel de Cozinha	Biodiesel de Óleo de Cozinha (milhões L)	35165,75	$[(\text{oleo_cozinha_Brasil_mes} * 12\text{meses}) * \text{densidade} * 10^6] * \text{rendimento_biodiesel} * \text{porcentagem_aproveitada}$
Biodiesel de Soja	Produtividade do biodiesel de soja em 2030 (L/ha)	590	A partir de diversas fontes encontramos que a produtividade de biodiesel de soja só caiu de 2006 para 2016. Sendo assim, consideramos o maior valor (FGV) entre os dados recentes, mas não assumimos aumento de produtividade até 2030
	Fator de emissão considerando ciclo – biodiesel soja	0,95	Valor do renovabio * densidade energética do biocombustível
	Fator de emissão para NDC- biodiesel soja	0	
Biodiesel de Boi	Biodiesel de Sebo Bovino (milhões L)	1429	$[\text{cabeças2018} * (\text{taxa_cresc_produção_bovina}^{\text{anos_até_2030}})] * \text{rendimento_biodiesel_cabeça}$
	Rendimento do biodiesel (L/cabeça)	36,61	Rendimento de biodiesel em Kg/cabeça * densidade do óleo
	Fator de emissão considerando ciclo – biodiesel bovino	0,135	Valor do renovabio*densidade energética do biocombustível
	Fator de emissão para NDC - biodiesel bovino	0	

ANEXO III – PREMISSAS

BIOCOMBUSTÍVEL GERAL

PREMISSA	VALOR	JUSTIFICATIVA
Efeito da pandemia Covid-19 na demanda legal e total de biocombustíveis	-5%	Nenhum estudo consultado para obter os dados já considerava o efeito da Covid-19. O objetivo do estudo é expor o potencial, ou seja, o que poderia ser obtido. Portanto, não incluímos um efeito no potencial. Por outro lado, é provável que haja um efeito na demanda de combustíveis pelo efeito na economia. Portanto, incluímos uma pequena diminuição na demanda

TERRA

PREMISSA	VALOR	JUSTIFICATIVA
Porcentagem das áreas cultivadas destinadas aos biocombustíveis	Mesmas percentagens atuais	Para o cálculo da expansão de área do <i>business as usual</i> , que indica a expansão da área cultivada no Brasil, foram consideradas que a soja e a cana teriam participações em % iguais às que elas têm na área plantada no Brasil hoje

ETANOL

PREMISSA	VALOR	JUSTIFICATIVA
Porcentagem da área da soja que alterna com milho	80,0%	Conversa com especialista da área João Carlos Rocha Abdo – AgroAbdo
Porcentagem do milho que alterna com soja que é destinado à produção de etanol	10,0%	Atualmente essa % é inferior a 5% (conversa com especialista), no entanto esse setor está em expansão, com grande investimento na área. Como a tecnologia envolvida na adoção dessa nova cultura não são tão complexas, esperamos um alto crescimento

BIOGÁS		
PREMISSA	VALOR	JUSTIFICATIVA
Porcentagem de Vinhaça que vai para produção de energia	80,0%	Considerando que pretendemos expor um potencial, que as fontes alternativas receberão grande incentivo pelo RENOVABIO, e que essa fonte representa uma economia para a indústria, optamos por incluir uma % alta de aproveitamento.
Porcentagem da vinhaça destinada à produção de energia que é destinada ao biometano	80,0%	Considerando que pretendemos expor um potencial, que as fontes alternativas receberão grande incentivo pelo RENOVABIO, e que essa fonte representa uma economia para a indústria, optamos por incluir uma % alta de aproveitamento.
Aproveitamento dos rebanho para produção de biogás a partir dos dejetos	50,0%	É considerado que não é viável o aproveitamento de todo o rebanho nacional para captação de dejetos para biometano. Levando em conta o exercício de estimar o potencial, indicamos um aproveitamento de 50% dos dejetos gerados (% ainda bastante otimista).
Número de habitantes com recolhimento de RSU	> 100 mil ha	Consideramos que seria viável adotar captação e reaproveitamento dos resíduos nas cidades com mais de 100 mil/ha. Em 2019, a soma dos habitantes das cidades com mais de 100 mil habitantes é 120.699.507. Considerando que mesmo em 2030 não serão todos os habitantes dessas cidades que contribuirão para a captação, mativemos o número de habitantes de 2019 para as estimativas.
Porcentagem média de Biometano no Biogás	60,0%	De maneira geral, a porcentagem de biometano no biogás varia, mas sempre em torno de 60%. Sendo assim, quando o valor específico não foi encontrado, adotamos essa porcentagem.

BODIESEL		
PREMISSA	VALOR	JUSTIFICATIVA
Porcentagem do óleo de cozinha que será recolhido para produção de biodiesel	70,0%	Considerando que pretendemos expor um potencial e que as fontes alternativas receberão grande incentivo pelo RENOVABIO, optamos por incluir uma % alta de aproveitamento.
Porcentagem dos rebanhos que seriam aproveitados para produção de biodiesel	50,0%	Como existe uma dificuldade de transporte da matéria prima para as plantas de biodiesel, mantivemos uma porcentagem não tão alta com as anteriores.



REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANP. Biocombustíveis. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis, 2017.
- BRASIL. Decreto nº 76.593, de 14 de Novembro de 1975. Coleção de Leis do Brasil - Brasília, DF, Página 255 Vol. 8, 1975.
- MAPA. MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. 2004. Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel -PNPB. BRASILIA: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento.
- EPE-a. EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. Análise de Conjuntura dos Biocombustíveis - Ano 2019. Brasil, 2020.
- EPE-b. EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. Balanço Energético Nacional - relatório síntese. Brasil, 2020. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-479/topico-521/Relatório%20S%C3%ADntese%20BEN%202020-ab%202019_Final.pdf. Acessado em: 08/2020
- BRASIL. Lei 13.576/2017, de 26 de dezembro de 2017. Coleção de Leis do Brasil - Brasília, DF, 2017.
- IRENA. INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY. Renewable Energy and Jobs – Annual Review 2018. International Renewable Energy Agency. Masdar City, 2018.
- HLPE. HIGH LEVEL PANEL OF EXPERTS. Nutrition and food systems. A report by the High Level Panel of Experts on Food Security and Nutrition of the Committee on World Food Security, Rome, 2013.
- CCE. COMISSÃO DAS COMUNIDADES EUROPEIAS. Diretriz para redução de mudança de uso da terra para produção de biocombustíveis e biolíquidos. ((EU) 2015/1513). Bruxelas, 2015.
- Renzaho, A. M.N.; Kamara, J. K.; Toole, M. Biofuel production and its impact on food security in low and middle income countries: Implications for the post-2015 sustainable development goals. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 78: 503–516, 2017.
- Richards, P.D.; Walker, R.T.; Arima, E.Y. Spatially complex land change: The Indirect effect of Brazil's agricultural sector on land use in Amazonia. *Global Environmental Change* 29: 01–09, 2014.
- EPE. EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. O compromisso do Brasil no Combate às Mudanças Climáticas: Produção e Uso de Energia. Brasil, 2016.
- Strassburg, B. B.N.; Latawiec, A. E.; Barioni, L. G.; Nobre, C. A.; da Silva, V. P.; Valentim, J.F.; Vianna, M.; Assad, E. D. When enough should be enough: Improving the use of current agricultural lands could meet production demands and spare natural habitats in Brazil. *Global Environmental Change* 28: 84–97, 2014.
- Lobato, B. Em dez anos de ILPF, Fazenda Santa Brígida aumentou a produtividade em dez vezes, 2016. Disponível em: https://www.embrapa.br/web/rede-ilpf/ilpf-no-cerrado/-/asset_publisher/bnsma1rpYMvQ/content/santa-brigida_inheritRedirect=false, acessado em 01/10/2019
- MAPA. Projeções do Agronegócio: Brasil 2018/19 a 2028/29. Ministério de Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Brasília, 2019.
- FGV. FUNDAÇÃO GETÚLIO VARGAS. Biocombustíveis. FGV Energia Ano 4, no 8. Rio de Janeiro, 2017.
- CIBiogás e Itaipu inauguram planta de biogás para a geração de biometano, 2017. Disponível em: <https://cibiogas.org/inauguracaoud>, acessado em 12/12/2017.
- O Setor Elétrico. Biogás de aterro é alternativa para gerar energia elétrica nas cidades, 2016. Disponível em: <https://www.osetoelettrico.com.br/biogas-de-aterro-e-alternativa-para-gerar-energia-eletrica-nas-cidades/>, acessado em 12/04/2018.
- MME. MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. Plano Decenal de Expansão de Energia 2029. Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. Brasília, 2020.
- MMA. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários. 2013 Ano-Base 2012 -Relatório Final. Ministério do Meio Ambiente. Brasília, 2014.
- CIBiogás. A unidade gera energia elétrica no modelo de Geração Distribuída e apresenta grandes resultados com o uso do biofertilizante. 2015. Disponível em: <https://cibiogas.org/colombari>, acessado em 12/04/2018.
- OC. OBSERVATÓRIO DO CLIMA. Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa (SEEG). Observatório do Clima, 2020. Disponível em: <http://seeg.eco.br/>, acessado em 03/08/2020.
- MCTIC. MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA, INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES. Terceira Comunicação Nacional do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima – Volume III. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. Brasília, 2016.

- Searchinger, T. D.; Beringer, T.; Strong, A. Does the world have low-carbon bioenergy potential from the dedicated use of land? *Energy Policy*. Vol 110, pp 434-446, 2017.
- ANAC. AGENCIA NACIONAL DE VIAÇÃO CIVÍL. Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas da Aviação Civil. 2014 Ano-Base 2013 - Relatório Final. Agência Nacional de Aviação Civil. Brasília, 2014.
- Galdos, M. V.; Cerri, C. C.; Lal, R.; Bernoux, M.; Feigl, B.; Cerri, C. E. P. Net greenhouse gas fluxes in Brazilian ethanol production systems. *Global Change Biology Bioenergy*. Vol 2, 2010.
- Mello, F. F. C.; Cerri, C. E. P.; Davies, C. A.; Holbrook, N. M.; Paustian, K.; Maia, S. M. F.; Galdos, M. V.; Bernoux, M.; Cerri, C. C. Payback time for soil carbon and sugar-cane ethanol. *Nature Climate Change*, 2014.
- Righelato, R.; Spracklen, D.V. Carbon mitigation by biofuels or by saving and restoring forests. *Science* 317 (5840): 902, 2007.
- Harvey, C. A.; Villalobos, J. A. G. Agroforestry systems conserve species-rich but modified assemblages of tropical birds and bats. *Biodiversity and Conservation* 16 (8): 2257–2292, 2017.
- Fujii, R. J e Marin, G.L. O papel dos veículos na economia limpa (2017). Brasília, DF: WWF-Brasil. Disponível em: <https://www.wwf.org.br/?61662/O-Papel-dos-Veiculos-Eltricos-na-Economia-Limpa>



© Odairson Antonello / Shutterstock



**NOSSA MISSÃO É
PRESERVAR A NATUREZA E
REDUZIR AS AMEAÇAS MAIS
URGENTES À DIVERSIDADE
DA VIDA NA TERRA.**

©T Photography / Shutterstock



Trabalhamos pela conservação
da natureza, pelas pessoas e
pela vida selvagem.

#JuntosÉpossível

wwf.org.br

© 2021
Papel 100% reciclável

WWF-Brasil: CLS. 114 Bloco D 35 CEP: 70377-540 Asa Sul, Brasília/DF

® "WWF" is a WWF Registered Trademark
© 1986 - Panda Symbol WWF - World Wide Fund For Nature
(also known as World Wildlife Fund)