

O potencial de mitigação da mudança climática dos vetores energéticos da cana-de-açúcar na frota paulistana de veículos leves

RESUMO

O presente trabalho quantificou o potencial energético da cana-de-açúcar enquanto matéria prima para a produção de etanol e bioeletricidade para a frota de veículos leves na cidade de São Paulo em relação ao uso da gasolina; concomitantemente, quantificou-se a correlata mitigação da emissão de gases do efeito estufa – GEE. Neste contexto, a partir de uma modelagem focada no incremento no uso de vetores energéticos derivados da cana-de-açúcar, foi calculada uma massa evitada de 116 Mt de CO₂ até o ano de 2050. Consideramos um modelo no qual a partir de 2025, teria início uma evolução consistente do uso de veículos leves movidos a eletricidade. Para tanto, assumiu-se que, em 2050, o uso de combustíveis pela frota de veículos leves da cidade de São Paulo, seria igualitário, sendo um terço da frota movida à gasolina, um terço movida à etanol e um terço movida à eletricidade. Os recursos energéticos derivados da cana-de-açúcar, como o etanol e a bioeletricidade (eletricidade gerada a partir da queima de resíduos da cana-de-açúcar) seriam suficientes para atender o cenário proposto. No modelo, observa-se que, com a queda do uso na gasolina, cai, também, a demanda por etanol, visto que a vigente legislação brasileira prevê que a gasolina comercializada tenha em sua composição 27% de etanol anidro. Uma vez reduzida a demanda por etanol para adição na gasolina, há a correlata redução da necessidade de produção de cana-de-açúcar e, assim, consequentemente, uma redução da área de plantio. Esta redução, em contrapartida, poderia, por exemplo, implicar em mais área para plantação de gêneros agrícolas alimentícios (uma externalidade tipicamente positiva).

PALAVRAS-CHAVE: Mitigação Climática. Cana-de-açúcar. Energia. Veículos Leves. São Paulo.

Augusto Tolentino Camargo
augustocamargo61@gmail.com
Universidade de São Paulo – São Paulo,
São Paulo, Brasil.

André Felipe Simões
afsimo@usp.br
Universidade de São Paulo – São Paulo,
São Paulo, Brasil.

Sérgio Almeida Pacca
spacca@usp.br
Universidade de São Paulo – São Paulo,
São Paulo, Brasil.

INTRODUÇÃO

A demanda por energia é crescente bem como a pressão por fontes de energia renovável. Pactos multilaterais focados na adaptação e na mitigação das mudanças climáticas, tal como o Acordo de Paris (resultado central da 21ª Conferência das Partes da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima - UNFCCC - COP 21, realizada em Paris, em 2015), por exemplo, do qual o Brasil é signatário, representam esta busca por tecnologias de baixo carbono.

O Brasil apresentou, em 2015, sua Contribuição Nacionalmente Determinada (NDC)¹ ao Acordo de Paris. Com o depósito do instrumento de ratificação do acordo pelo país, em setembro de 2016, a Contribuição Nacionalmente Determinada (NDC) do Brasil deixou de ser “pretendida”. O Brasil, portanto, neste contexto, assumiu, pelo Acordo de Paris – em vigor desde 4 de novembro de 2016 –, o compromisso de implantar ações e medidas que apoiem o cumprimento das metas expressas na supracitada NDC. Neste sentido, o país, também como integrante da UNFCCC, determinou como objetivo principal de sua NDC a redução de 37% das emissões de GEE até 2025, assumindo como linha de base o ano de 2005. Complementarmente, a NDC brasileira contém outras medidas relacionadas à sua meta de redução das emissões de gases do efeito estufa (GEE) que abrangem diferentes setores da economia.

Frisa-se, no contexto das NDC do Brasil perante o Acordo de Paris, que o país se comprometeu com um aumento na participação de bioenergia em sua matriz de oferta de energia primária até 2030 e com a restauração de 12 milhões de hectares de florestas (MMA, 2017). De fato, a NDC brasileira encerra aumento da participação de biocombustíveis sustentáveis em até 18% no seio da matriz de oferta de energia primária até 2030. Isto, em princípio, implicaria, por exemplo, que a produção nacional de etanol deveria atingir o patamar de mais de 50 bilhões de litros até 2030. Outrossim, há a necessidade de que se atinja o patamar de cerca de 10% de biodiesel na mistura do Diesel fóssil também em 2030 (MMA, 2017).

O uso de bioenergia é uma alternativa usualmente considerada quando da construção de cenários de baixo carbono (VAILLANCOURT *et al.*, 2019). Uma análise focada no caso da Suécia indicou que os biocombustíveis poderiam atender 78% do uso final energético no setor de transportes, em 2050 (BÖRJESSON *et al.*, 2014). Poder-se-ia citar, também, neste contexto, que a bioenergia foi uma tecnologia central em cenários de transição para sistemas energéticos de baixo carbono na província de Quebec, no Canadá (VAILLANCOURT *et al.*, 2019).

No caso do Brasil, a ampliação do uso de etanol em veículos leves com base no aumento da produção de uso da cana-de-açúcar aparece como opção viável para o alcance destas metas, afinal, o país é referência no mercado agroenergético mundial. E isto se deve, e especial, à internacionalmente reconhecida a tradição e expertises brasileiros na produção e uso de combustíveis alternativos aos derivados de petróleo – fundamentalmente a partir do Proálcool2, em 1975.

Destarte, desde 1979, o país possui o mercado aberto para combustíveis alternativos via projetos de incentivo – como o já mencionado o Proálcool – além de desenvolvimentos tecnológicos como carros com motores movidos à etanol,

sendo um marco importante o antigo Fiat 147, com motor movido exclusivamente a álcool (SZMRESCÁNYI & MOREIRA, 1991).

Destaca-se, também, o avanço tecnológico do setor de transportes, em especial o desenvolvimento e maturação de veículos com tecnologia flex-fuel, os quais funcionam tanto com gasolina quanto com etanol, oferecendo uma alternativa econômica e ecologicamente mais sustentável (em comparação à gasolina, principalmente) e viável para o transporte por meio de veículos leves (SPA – MAPA, 2007). Além disso, a cana-de-açúcar pode substituir a gasolina tanto por meio do etanol quanto por meio da bioeletricidade, sendo esta uma alternativa economicamente competitiva (PACCA e MOREIRA 2011).

A tecnologia dos veículos híbridos plug in que já existe no mercado externo, pode ser combinada a motores *flex-fuel*; assim, neste contexto, é possível combinar uma frota de veículos flex-fuel com veículos elétricos para atender a população de grandes centros urbanos. Neste caso os veículos podem ser abastecidos tanto com etanol quanto com eletricidade. Isto seria correspondente a uma frota de veículos *flex-fuel* e elétricos.

Em 2015, o Brasil contava com 49.822.708 automóveis (IBGE, 2015). A elevada concentração de veículos pode, evidentemente, gerar congestionamentos, especialmente nas grandes cidades, como São ao Paulo, Rio de Janeiro ou Belo Horizonte, por exemplo. O crescimento do número de automóveis no Brasil há de demandar uma quantidade crescente de energia nos próximos anos, o que torna atrativo o uso dos biocombustíveis e da eletricidade no setor de transportes como alternativa aos combustíveis tradicionais derivados do refino do petróleo como, por exemplo, a gasolina e o óleo diesel (Baran e Legey, 2011).

A cidade de São Paulo é uma das primeiras megacidades da América Latina e os seus habitantes estão dentre os que mais demoram para se deslocar (MENEZES et al. 2017). A morosidade no deslocamento faz com que o consumo de combustíveis para transporte aumente. A cidade conta com uma extensa malha viária e uma grande frota de veículos leves. Nesta cidade, os postos de combustíveis comercializam tanto gasolina como etanol.

Destaca-se, ainda, que, recentemente, na frota de ônibus de São Paulo foram introduzidos veículos elétricos; e esta experiência tem sido, ao que tudo indica, exitosa – a despeito de haver necessidade de que mais tempo se passe ao ponto de permitir uma avaliação do ciclo de vida destes veículos movidos pela eletricidade. Fato é que esta tecnologia é vista, pelo próprio setor automotivo, como uma alternativa para mitigação das emissões de GEE advindas do transporte também no caso da frota de veículos leves. Frisa-se, porém, que uma eventual maior adoção de veículos elétricos pode gerar aumento da demanda de carga sobre o sistema elétrico brasileiro, o que tende a ampliar sobremaneira os investimentos para sua readequação (IPEA, 2015).

A mudança tecnológica, como são os casos do etanol e da eletricidade em veículos leves, oferece a principal possibilidade para reduzir emissões e atingir a estabilização das concentrações atmosféricas de gases de efeito estufa (Miguez, Oliveira e Mendes, 2010).

Sob a égide de tais considerações, o presente trabalho almeja averiguar o papel dos produtos de cana-de-açúcar na mitigação da frota paulistana de

veículos leves. Neste contexto, adotou-se uma modelagem – e a correlata construção de cenários energéticos – focada no incremento no uso de vetores energéticos derivados da cana-de-açúcar, e especial o etanol e a bioeletricidade (ou seja, a eletricidade gerada a partir da queima de resíduos da cana-de-açúcar).

METODOLOGIA

Criamos um modelo de previsão do consumo energético associado a combustíveis renováveis, no caso o etanol e a bioeletricidade, em comparação com a gasolina. A análise foi realizada a partir da distância que pode ser alcançada, com base na análise de parâmetros de consumo de combustíveis na capital paulista no ano de 2016. A partir disso, projetamos a demanda de combustíveis derivados da cana-de-açúcar como o etanol e a bioeletricidade.

Utilizamos o consumo e rendimento dos combustíveis nos carros (1L de gasolina um carro percorre 10km e 1L de etanol um carro percorre 7km) para determinar a distância percorrida em 2016. Esta distância foi considerada como um parâmetro fixo nos anos seguintes, até o ano de 2050. A partir daí, calculamos a quantidade aproximada de CO2 lançado na atmosfera pelo uso dos vetores energéticos, considerando a evolução no uso dos vetores derivados da cana-de-açúcar ao longo do tempo.

Utilizamos um modelo logarítmico para o cálculo do aumento e decaimento dos valores percentuais da participação dos combustíveis em uso na frota (Equação 1). Consideramos que em 2050 um terço da distância será percorrida por veículos elétricos, um terço por veículos consumindo gasolina e um terço por veículos consumindo etanol.

$$P_{a,a} = \ln(CP_f/CP_i)/(A_f/A_i) \quad \text{Equação 1}$$

onde:

$P_{a,a}$ é o percentual de aumento ao ano;

CP_f é o consumo percentual final no ano de 2050 (1/3 para cada combustível);

CP_i é o consumo percentual inicial (68% gasolina, 31% etanol e 1% bioeletricidade);

A_f é o ano final (2050) e

A_i o ano inicial da mudança (2025).

O período de 2016 a 2024 será considerado o período de desenvolvimento tecnológico e de testes para veículos híbridos plug-in que utilizem a eletricidade. Logo, neste período, permanecerão fixos os valores percentuais de uso dos combustíveis. Neste caso, 69% da distância percorrida consumiu gasolina e os outros 31% consumiram etanol. No ano de 2025, 1% da distância percorrida pela frota de veículos já será eletrificada. Nota-se que praticamente um terço (31%) da distância percorrida na cidade já é as custas do etanol. Sem considerar o etanol anidro que é misturado na gasolina.

Como 27% da composição da gasolina é etanol, é necessário calcular o volume total de etanol utilizado neste vetor energético (Equação 2).

$$V_t = V_{et} + (27\% \times V_{gas})$$

Equação 2

Onde:

V_t é o volume total de etanol utilizado,

V_{et} é o volume de etanol consumido como combustível e

V_{gas} é o volume total de gasolina consumida.

Segundo a Secretaria de Energia e Mineração do Estado de São Paulo (SEM – SP), no ano de 2016, foram consumidos 2.780.728 m³ de gasolina e 1.812.721 m³ de etanol na cidade de São Paulo (SEM – SP, 2017).

Consideramos, também, que 1 tonelada de cana-de-açúcar produz cerca de 80 L de etanol e apresenta um potencial de gerar 100kWh; que a produtividade da cana-de-açúcar é de 86 toneladas por hectare e que o rendimento elétrico de um carro é 0,155kWh/km.

Quanto às emissões, a queima da gasolina comercializada no Brasil, possui um Fator de Emissão de 2,14 kgCO₂/L (São Paulo, 2018). Para o etanol e a bioeletricidade consideramos um fator de emissão zero, pois toda a queima de combustíveis e o lançamento do CO₂ na atmosfera, acabam sendo (re)absorvidos pela fotossíntese da planta. Desta forma consideramos um balanço de emissões neutro pelo consumo dos derivados da cana-de-açúcar.

O cálculo da massa evitada será realizado pela diferença entre a massa total emitida se, de 2016 até 2050, fosse utilizada apenas a gasolina para percorrer a distância total pela massa total emitida segundo o cenário deste modelo.

DESENVOLVIMENTO (RESULTADOS E DISCUSSÕES)

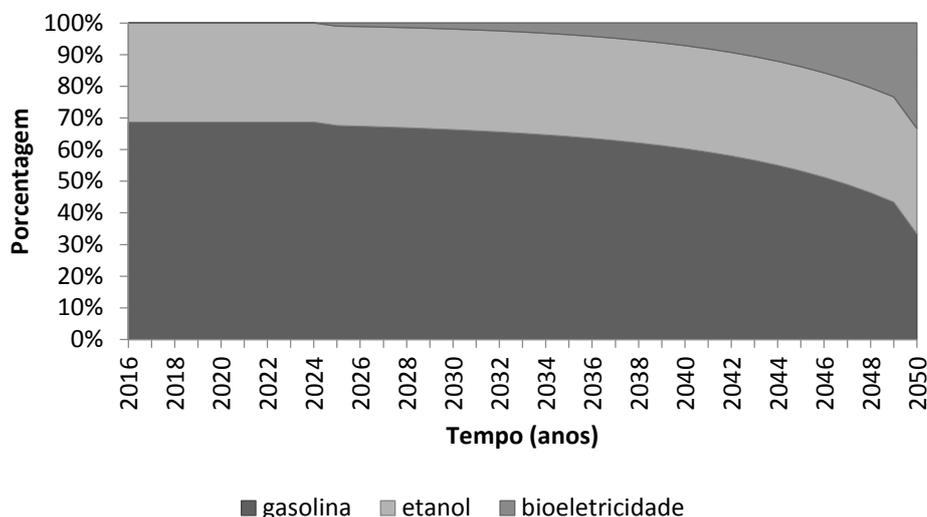
A partir dos dados de consumo de combustíveis da SEM – SP (2017) temos que a distância total percorrida pela frota, considerando o rendimento dos combustíveis nos carros, foi de aproximadamente $4,05 \times 10^{10}$ km. Este valor foi referência para os cálculos do modelo.

Para o cálculo da correlação entre o etanol e a área necessária para o plantio de cana-de-açúcar, temos que o valor total de etanol consumido, em 2016 e, para os anos seguintes, até 2024, é dado pela Equação 2. Sendo assim, foram necessários 2.583.518 m³ de etanol em 2016. Logo, de acordo com o rendimento industrial, foram necessárias 32.043.970 toneladas de cana-de-açúcar, o que corresponde a uma área de 373 mil hectares. Com essa massa de cana-de-açúcar produzida ao ano para o atendimento da demanda energética da frota, tem-se a possibilidade, com a queima da palha da cana-de-açúcar, de gerar cerca de 3,2 TWh.

Chegando-se ao ano de 2025, onde 1% da distância total foi percorrida graças ao consumo de eletricidade, temos que a demanda por eletricidade foi de, aproximadamente, 63 GWh. Esta demanda corresponde a cerca de 2% do potencial de produção de bioeletricidade a partir da cana-de-açúcar produzida para o atendimento da demanda por etanol combustível e o etanol a ser adicionado na composição da gasolina na cidade de São Paulo. Ainda analisando o ano de 2025, com a substituição gradual do uso da gasolina pela eletricidade, nota-se um leve decaimento no volume consumido de gasolina, pois dos 69%

antes consumidos até 2024, agora já são 68% em 2025. A participação percentual dos combustíveis ao longo do tempo, pode ser observada na figura 1:

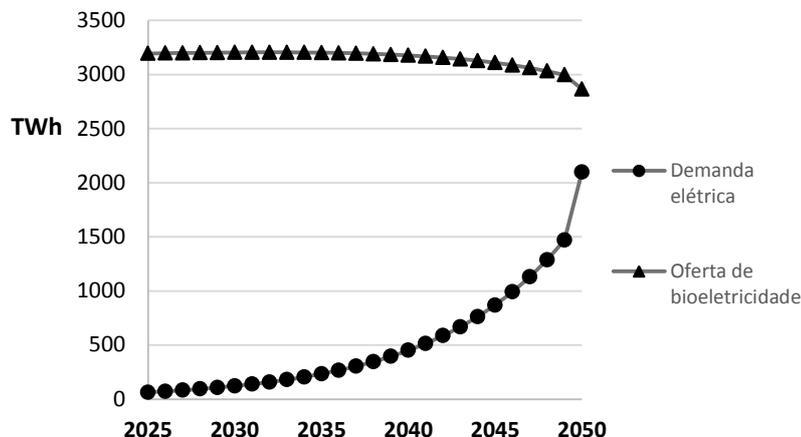
Figura 1. Percentual da distância total rodada pelo percentual de combustíveis ofertados. Elaboração própria.



A figura 1 nos mostra o gradativo decaimento da participação da gasolina e o aumento da participação da eletricidade como vetor energético utilizado pela frota paulistana. Nota-se, também, um leve aumento na participação do etanol ao longo do tempo. As taxas de aumento e decaimento percentual da participação dos combustíveis ao longo do tempo são calculadas conforme a Equação 1 e mostram uma taxa de decaimento de cerca de 14% ao ano para a gasolina e taxas de aumento de 0,238% e 14% ao ano para o etanol e a bioeletricidade, respectivamente. Com este comportamento, podemos afirmar a queda na demanda por volumes de gasolina e de etanol, o que, em tese, faria com que a necessidade de plantio e área necessária fosse reduzida. No entanto, o setor agroindustrial, não reduziria suas produções, mas sim as redirecionaria para usos onde houvesse maior demanda. Dessa maneira, a produção de cana-de-açúcar, em massa, continuaria com o valor mínimo de 32 milhões de toneladas, ainda ocupando uma área de cerca de 373 mil hectares.

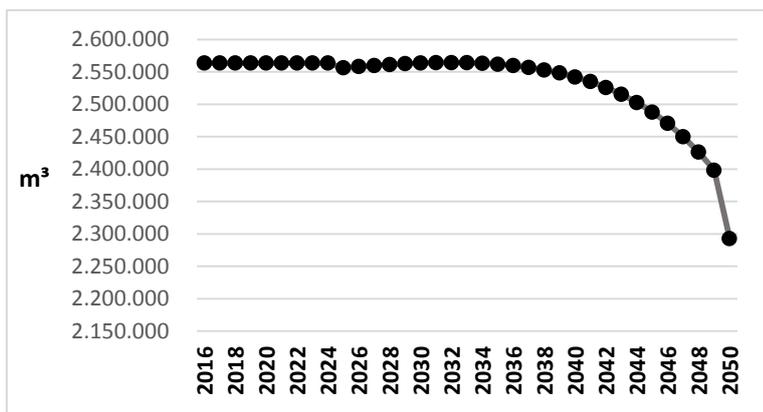
Com relação ao abastecimento da frota pela queima dos resíduos de cana-de-açúcar (bagaço e palha), supusemos que existem processos de eletrificação e transmissão de energia eficientes para o abastecimento dos veículos. E, partindo da oferta e demanda crescente ao longo do tempo, temos que a produção e o abastecimento da frota, até 2050, é plenamente contemplado pela bioeletricidade oriunda de menos de 373.000 ha, como mostra a figura 2:

Figura 2. Oferta e demanda de bioeletricidade. Elaboração própria



Percebe-se então que, a produção de cana-de-açúcar é suficiente para atender a demanda por eletricidade da frota paulistana, além de, também, poder abastecer a demanda por etanol combustível, o qual aumentou de 31% para 33% ao longo do período considerado. Entretanto, no geral, com a introdução e crescimento percentual do uso da bioeletricidade, houve queda na demanda por combustíveis derivados da cana-de-açúcar, conforme mostra a figura 3:

Figura 3. Demanda por produtos derivados da cana-de-açúcar. Elaboração própria.

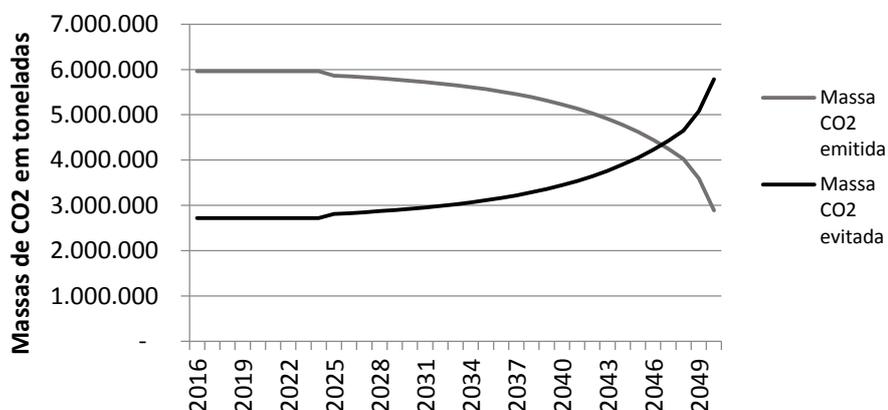


Mesmo assim, esta diminuição não compromete a oferta de bioeletricidade em quantia suficiente para atender à demanda dos veículos elétricos/plug-in.

No tocante à massa evitada a qual o modelo se propõe a calcular, temos então o cenário com o uso exclusivo de gasolina ao longo do período estudado. Considerando o rendimento do veículo, a distância total percorrida e o fator de emissão de CO₂ da gasolina, temos que ao ano, seriam consumidos, aproximadamente, $4,05 \times 10^9$ L de gasolina. Isso implica em uma emissão de 8,67 MtCO₂. A massa total emitida, acumulada ao longo do período, chegaria a 303,7 MtCO₂. Já no cenário onde há a variação do percentual de uso das fontes energéticas, o consumo de gasolina decai 14% ao ano, o que influencia diretamente o volume de gasolina consumido e a massa de CO₂ emitida. O acumulado de CO₂ lançado no período, seguindo a transição energética, é de 187,3 MtCO₂. Uma redução de 116 MtCO₂, o que equivale a cerca de 39%, batendo a meta do Acordo de Paris, no que tange à redução de emissões de GEE.

A curva de comportamento das massas de emissões de CO₂ ao ano, tanto a massa emitida quanto a evitada pelo cenário modelado, possuem característica extremamente semelhantes, como mostra a figura 4:

Figura 4. Comportamento de massas de CO₂. Elaboração própria.



Percebe-se que o formato das curvas é praticamente idêntico, mostrando uma maior correlação sobre a substituição do uso da gasolina pela bioeletricidade e a diminuição das massas de CO₂ emitidas.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com relação ao cenário avaliado até 2050, no qual um terço dos veículos leves em São Paulo utilizariam gasolina, um terço etanol e um terço bioeletricidade, os resultados demonstram um potencial de mitigação de 116 milhões de toneladas de CO₂. A análise prescindiu de simplificações e limitações que podem ser sanadas em um trabalho mais detalhado. Por exemplo, não consideramos que atualmente já existem usinas que exportam a eletricidade da co-geração e que esta eletricidade já estaria comprometida com outros usos finais. Em conclusão os vetores energéticos da cana-de-açúcar (etanol e bioeletricidade) podem contribuir para a redução das emissões de GEE na cidade de São Paulo mitigando impactos decorrentes da poluição atmosférica em centros urbanos.

A viabilização do aumento da geração da bioeletricidade, a partir dos recursos já disponíveis, está de acordo com a meta nacional do Acordo de Paris de aumento na participação de bioenergia em sua matriz de oferta de energia primária. Este aumento não implica necessariamente no aumento da oferta de etanol, mas sim em uma maior eficiência na conversão do bagaço em bioeletricidade.

Há de se ressaltar que, a queda na demanda por etanol, devido à sua redução principalmente no que se refere à adição na composição da gasolina, e a consequente redução na área de plantio de cana-de-açúcar para atender a demanda interna por produtos derivados, pode implicar em um aumento de área livre para outros usos.

Como destaca VEIGA (2010), o primeiro passo para o desenvolvimento sustentável é a transição energética que permita superar a atual dependência das fontes fósseis. Este exercício demonstrou que as usinas de cana-de-açúcar podem

viabilizar a transição energética para uma frota híbrida de veículos leves na cidade de São Paulo que atende os compromissos de limitação das emissões de gases de efeito estufa. Não sendo necessária uma expansão na área cultivada de cana-de-açúcar.

The mitigation potential of sugarcane products on the light vehicles fleet of Sao Paulo city

ABSTRACT

This work compares energy and carbon mitigation potential of sugarcane for light passenger vehicles in Sao Paulo city with respect to gasoline. A model considering increasing use of sugarcane-based energy carriers demonstrates that 116×10^6 tonnes of CO₂ are avoided up to 2050. We have considered that in 2025 the share of electric vehicles would consistently grow and one third of the city's fleet would run based on electricity, one third would run based on gasoline, and one third would run based on ethanol. Sugarcane energy carriers (ethanol and bioelectricity) would be enough to power the fleet. The model shows that reducing gasoline consumption implies in reducing ethanol demand because 27% of the gasoline volume sold at the pump is anhydrous ethanol. Therefore, this affects ethanol demand, sugarcane production, and cropped land. Such reduction might imply in available land to increase food production (typically perceived as a positive externality).

KEYWORDS: Bioenergy. Urban sustainability. Sustainable transport. Carbon mitigation. Energy transitions.

NOTAS

¹ O mecanismo por meio do qual os países signatários do acordo de Paris formalizam suas propostas de redução das emissões de GEE e mitigação do aquecimento global perante a comunidade internacional é conhecido como “Contribuições Determinadas Nacionalmente” (NDC). Estas contribuições refletem as ações que cada governo pretende adotar em função do seu perfil de emissões, contexto econômico e demais fatores internos. Frisa-se que, diferentemente do Protocolo de Kyoto, no âmbito do Acordo de Paris não há distinção entre os compromissos dos países em função de suas características socioeconômicas. Neste sentido, é observada uma grande variedade de NDC em termos de metas, prazos e anos-base. A data de início das NDC é 2020, quando se encerra, oficialmente, o segundo período do Protocolo de Kyoto.

² Programa Nacional do Álcool, lançado em 1975, foi um programa de substituição em larga escala dos combustíveis veiculares derivados de petróleo por álcool.

REFERÊNCIAS

BARAN, R.; LEGEY, L. Veículos elétricos: história e perspectivas no Brasil. In: **XIII Congresso Brasileiro de Energia**, 2010, Brasil, n. XIII, p. 207–224, 2010. Disponível em:

<http://www.bndespar.com.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes_pt/Galerias/Arquivos/conhecimento/bnset/set3306.pdf>.

BORDONAL, Ricardo de Oliveira; CARVALHO, João Luis Nunes; LAL, Rattan; FIGUEIREDO, Eduardo B. de; OLIVEIRA, Bruna G. de; JUNIOR, Newton La Scala. Sustainability of sugarcane production in Brazil. A review. *Agronomy for Sustainable Development*. INRA, Science and Impact. 2018

BÖRJESSON, Martin, Erik O. AHLGREN, Robert LUNDMARK, e Dimitris ATHANASSIADIS. 2014. “**Biofuel Futures in Road Transport – A Modeling Analysis for Sweden**”. *Transportation Research Part D: Transport and Environment* 32 (outubro): 239–52. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2014.08.002>.

BRASIL. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **O agroecossistema canavieiro**. A geografia da cana-de-açúcar. 2017.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Agroenergia**. Produção brasileira de cana-de-açúcar, açúcar e etanol. 2017. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/assuntos/sustentabilidade/agroenergia/arquivos-precos/producao-brasileira-de-cana-de-acucar-acucar-e-etanol.pdf/view>>. Acesso em: 21/05/2018, às 23:34.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Produção e Agroenergia. Departamento de cana-de-açúcar e agroenergia. **Açúcar e Álcool no Brasil**. Março, 2007.

BRASIL. Ministério da Casa Civil. **Governo estabelece adição de 27% de etanol na gasolina. Brasília, 2015.** Disponível em: <<http://www.casacivil.gov.br/central-de-conteudos/noticias/2015/marco/mistura-de-etanol-na-gasolina-sera-de-27-a-partir-de-16-de-marco>> Acesso em 18/06/2018, às 16:15.

EPSTEIN, Dan; SYKES, Judith; CARRIS, Jo. **Usefull simple projects.** Oficina “Pegada de Carbono”. Brasília, agosto 2011.

MENEZES, Esther, Alexandre Gori MAIA, e Cristiane Silva de CARVALHO. 2017. Effectiveness of Low-Carbon Development Strategies: Evaluation of Policy Scenarios for the Urban Transport Sector in a Brazilian Megacity. **Technological Forecasting and Social Change** 114 (janeiro): 226–41. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2016.08.016>.

MIGUEZ, J.D.G., OLIVEIRA, AD., MENDES, T.A. **O desafio das novas tecnologias de mitigação da mudança do clima no contexto do desenvolvimento sustentável.** Parc.Estrat.Ed. Esp. Brasília, v. 15, n.31, p.211-234, 2010.

MYHRE, G., D. SHINDELL, F.-M. BREÓN, W. COLLINS, J. FUGLESTVEDT, J. HUANG, D. KOCH, J.-F. LAMARQUE, D. LEE, B. MENDOZA, T. NAKAJIMA, A. ROBOCK, G. STEPHENS, T. TAKEMURA and H. ZHANG, 2013. Anthropogenic and Natural Radiative Forcing. In: **Climate Change 2013: The Physical Science Basis.** Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia E Estatística. **Infográficos-Frota municipal de veículos.** Brasília, 2015. Disponível em: <<http://cidades.ibge.gov.br/painel/frota.php>> Acesso em: 10 de maio de 2018.

IPEA – Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA). **Impactos ambientais e econômicos dos veículos elétricos e híbridos plug-in:** uma revisão da literatura. Texto para discussão, Brasília, 48p.,2015.

PACCA, S., e J. R. MOREIRA. 2011. **A Biorefinery for Mobility?** Environmental Science & Technology 45 (22): 9498–9505. <https://doi.org/10.1021/es2004667>.

PETROBRÁS. Ficha de Informações de Segurança de Produto Químico (FISPQ) nºBR0028. **Etanol anidro combustível.** Versão 10. Rio de Janeiro, 2018.

SÃO PAULO. Secretaria de Energia e Mineração. **Balço energético do Estado de São Paulo ano base 2013**. São Paulo, 2014.

SÃO PAULO. Secretaria de Energia e Mineração. Dados Energéticos do Estado de São Paulo. **Dados Municipais; Consumo do Município**; São Paulo – 2017.

Disponível em:

<<http://dadosenergeticos.energia.sp.gov.br/portalecv2/index.html>>. Acesso em: 10 de maio de 2018

SINDIPETRO. **Testes de Qualidade 1ª edição**. Rio de Janeiro, 2015

STRASSBURG, Bernardo; LATAWIEC, Agnieszka; BARONI, Luís; NOBRE, Carlos A.; DA SILVA, Vanderley P.; VALENTIM, Judson; VIANNA, Murilo & ASSAD, Eduardo. When enough should be enough: improving the use of current agricultural lands could meet production demands na spare natural habitats in Brazil. **Global Environmental Change**. Elsevier, 2014.

SZMRECSÁNYI, Tamás & MOREIRA, Eduardo Pestana. O desenvolvimento da agroindústria canaveira do Brasil desde a Segunda Guerra Mundial. **Estudos Avançados** 11(5), 1991.

VAILLANCOURT, Kathleen, Olivier BAHN, e Annie LEVASSEUR. 2019. The Role of Bioenergy in Low-Carbon Energy Transition Scenarios: A Case Study for Quebec (Canada). **Renewable and Sustainable Energy Reviews** 102 (março): 24–34. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.11.025>.

VEIGA, José Eli da. Economia Política da Qualidade. **Pensata RAE** v.50, n.3, pag 338-344. São Paulo, jul/set 2010.

Recebido: 10 mar. 2019.

Aprovado: 26 jun. 2019.

DOI: 10.3895/rts.v15n37.9791

Como citar: CAMARGO A. T.; SIMÕES, A. F.; PACCA, S. A. O potencial de mitigação da mudança climática dos vetores energéticos da cana-de-açúcar na frota paulistana de veículos leves. **R. Technol. Soc.**, Curitiba, v. 15, n. 37, p. 518-528, jul./set. 2019. Disponível em: <<https://periodicos.utfpr.edu.br/rts/article/view/9791>>. Acesso em: XXX.

Correspondência:

Augusto Tolentino Camargo

-

Direito autorial: Este artigo está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.

