

11º Seminário Internacional de Transporte e Desenvolvimento Hidroviário Interior

Brasília/DF, 22-24 de outubro de 2019

Análise do potencial de redução das emissões de gases do efeito estufa- Um estudo de caso das exportações de soja e milho mato-grossenses

Kelton Pimentel Guimarães, UFRJ/COPPE, Rio de Janeiro/Brasil, kelton.guimaraes@oceanica.ufrj.br

Maricruz A Fun Sang Cepeda, UFRJ/COPPE, Rio de Janeiro/Brasil, maricruzcepeda@oceanica.ufrj.br

Jean-David Caprace, UFRJ/COPPE, Rio de Janeiro/Brasil, jdcaprace@oceanica.ufrj.br

Abstract

As a signatory to the Paris agreement, Brazil needs to look for ways to make its transport logistics more environmentally efficient in order to reduce its greenhouse gas (GHG) emissions. Note that in the academic literature there is no analysis regarding the mitigation of these emissions from the use of logistics corridors recently incorporated into the transport matrix of Mato Grosso. Therefore, this paper aims to quantify the potential mitigation of greenhouse gas emissions generated by the transportation of soybean and mato-grossense corn to export through the Top-Down method. Quantify the current transport matrix emissions scenario analyzed and provide a tool for Brazilian decision makers and regulators to assess different possibilities for reducing fuel consumption and GHG emissions from more efficient logistics corridors. The results indicate that compared to 2000, Brazil has already reduced its fuel consumption by 22% and its GHG emissions by 21%. Regarding future scenarios, the target of 20% of biodiesel to fossil diesel and use of ports located in the Barcarena region is expected to reduce fuel consumption by up to 23% and GHG emissions by 22%. Finally, it is noted that compliance with the IMO standards will reduce by up to 80% the SO₂ emissions generated by the use of fuel oil in waterway transportation.

1. Introdução

A produção de soja no Brasil se deu a partir do estado do Rio Grande do Sul, onde o clima propiciava condições ideais para o plantio. Avanços tecnológicos obtidos pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) no domínio do cultivo em terras quentes e áridas, somados a diversos incentivos do governo federal em ocupar o Centro Oeste a partir dos anos de 1980, permitiram a expansão das fronteiras agrícolas rumo ao norte e nordeste, fomentando o surgimento de uma indústria agropecuária no estado do Mato Grosso focada na produção de soja, milho e carne bovina (IMEA, 2015).

Atualmente o Brasil é um dos principais *players* mundiais na produção e exportação de soja e milho, e diferentemente dos concorrentes, Estados Unidos e Argentina, previsões indicam que as exportações brasileiras continuarão crescendo nos próximos anos, alcançando em torno de 110 milhões de toneladas por ano até a safra 2026/27

(MAPA, 2017), sendo o Mato Grosso responsável por cerca de 2/3 do total exportado (IMEA, 2016). Embora o Brasil tenha apresentado investimentos balanceados nos diferentes modais da matriz de transportes na primeira metade do século XX, o incentivo à indústria automobilística a partir da segunda metade do século criou uma matriz de transportes desbalanceada e elaborada sob a ótica da construção de rodovias (WANKE, BARROS e FIGUEIREDO, 2014). Por muitos anos os portos das regiões sul e sudeste foram as únicas opções para escoar a produção do Mato Grosso rumo a exportação, por meio de longos trajetos rodoviários que reduziam o lucro dos produtores em relação aos concorrentes internacionais e até mesmo de outros estados (MEADE, PURICELLI, et al., 2016).

Quando bem dimensionado o modal rodoviário é o único que permite captação de carga diretamente em diversas origens, oferecendo maior capilaridade ao sistema. Por outro lado, o modal se

mostra economicamente ineficiente para distâncias superiores a 300 quilômetros (MEERS, MACHARIS, et al., 2017), consome mais combustível (HUANG, AN, et al., 2018) e emite mais gases causadores do efeito estufa que os demais modais (AVETISYAN, 2018). Segundo GUCWA e SCHÄFER (2013), quanto maior a capacidade de transporte do modal, menor o consumo de combustível por tonelada. HANSSSEN, MATHISEN e JØRGENSEN (2012), por sua vez, ressaltam a importância da redução da participação do modal rodoviário no sistema de transporte no intuito de reduzir custos e externalidades negativas. JANIC e VLEUGEL (2012) desenvolvem e aplicam modelo matemático na matriz de transportes europeia e apontam para uma redução de até 30% nas externalidades negativas (poluição sonora e atmosférica, congestionamentos e acidentes) com a substituição de caminhões por trens no transporte de cargas pelo continente. Adicionalmente, MÁRQUEZ e CANTILLO (2013) analisam os impactos das externalidades sobre o preço do frete colombiano e apontam que os custos sociais podem chegar a 37% dos custos operacionais do modal rodoviário, 12% no caso do modal ferroviário e 1% no caso do modal hidroviário.

Após a Conferência das Nações Unidas sobre as Mudanças Climáticas, na cidade de Paris, em 2015 (COP-21), o Brasil e diversos outros países concordaram com metas de redução das emissões de gases do efeito estufa no intuito de conter o aquecimento global. Embora a União Europeia considere crucial a análise dos custos de externalidades negativas do transporte visando sua diminuição por meio do espaço único europeu de transportes, não são documentados estudos ou propostas muito aprofundadas acerca do assunto no Brasil, especialmente quando se trata setor de transportes de commodities agrícolas, onde o esforço se concentra principalmente em maneiras de reduzir os altos custos logísticos praticados no país. Ainda assim, mesmo com investimentos em infraestrutura de transportes muito inferiores em relação aos demais *players* exportadores de soja e milho, o Brasil incorporou novas rotas à logística de transportes com sentido a exportação, principalmente para atender a região do Mato Grosso, principal exportador brasileiro.

O município de Sorriso, um dos principais produtores do estado foco deste estudo, localiza-se em média 2.330 quilômetros de distância dos principais portos brasileiros. Até meados dos anos 2000, praticamente toda carga oriunda do estado era escoada pelos portos de Santos (SP) e Paranaguá (PR) por meio de rotas exclusivamente rodoviárias, gerando maiores custos ambientais e

econômicos, impactando diretamente no lucro dos produtores locais.

No início dos anos 2000 a região compreendida acima do paralelo 16, denominada arco norte, surge como alternativa logística, apresentando rotas intermodais com menores distâncias até os portos exportadores localizados no norte e nordeste, como Itacoatiara (AM), Santarém (PA), Santana (AP) e Itaqui (MA), além dos portos localizados no município de Barcarena (PA), como o Terminais Portuários Fronteira Norte - TERFRON, Ponta da Montanha e TUP Vila do Conde. A partir de 2013 também passou a operar um novo trecho ferroviário ligando o município de Rondonópolis (MT) a Santos (SP). Tomando como referência o município de Sorriso (MT), a Tabela 1 apresenta uma matriz de origem e destino com as respectivas distâncias em quilômetros (km) para cada rota.

Tabela 1 - Matriz de Origem e Destino

Rota	Porto Exportador	Distância (km)			Dist. Total
		Rodo	Hidro	Ferro	
Rota 1	Barcarena	1.080	1.130	-	2.210
Rota 2	Itaqui	1.383	-	1.617	3.000
Rota 3	Santos	614	-	1.593	2.207
Rota 4	Santos	2.051	-	-	2.051
Rota 4	Paranaguá	2.202	-	-	2.202
Outros	Outros	1.491	326	513	2.330

Considerando a incorporação de novas rotas à logística mato-grossense, a ausência de análises do serviço de transportes de *commodities* agrícolas sob a ótica dos custos de externalidades e a necessidade brasileira de reduzir a emissão de gases do efeito estufa no intuito de cumprir as metas estabelecidas na COP-21, este trabalho pretende quantificar a redução do consumo de combustível e emissão de gases do efeito estufa a partir da utilização de corredores logísticos mais eficientes para exportar a produção agrícola do Mato Grosso.

Partindo do volume atual de exportações brasileiras, são propostos cinco cenários, onde o primeiro considera a matriz de transportes atual enquanto que no segundo cenário a matriz considerada refere-se a existente no país no ano de 2000, no intuito de se analisar o quanto o país já mitigou suas emissões. Em seguida, desconsiderando eventuais limitações físicas das rotas, são propostos 3 cenários onde a carga movimentada por corredores ambientalmente menos eficientes é redistribuída pelos corredores menos geradores de gases do efeito estufa, permitindo assim, uma análise do potencial de mitigação ainda a ser explorado.

2. Externalidades

Pode-se dividir custos de transportes entre internos e externos. Custos internos, também chamados de custos privados, referem-se as despesas operacionais do serviço de transporte, enquanto que os custos externos, também chamados de externalidades negativas, englobam custos com geração de acidentes, congestionamento, consumo de energia, ruído e poluição do ar, água e solo (JUGOVIĆ, SLIŠKOVIĆ e VUKIĆ, 2018).

Percebe-se que as externalidades negativas de um sistema de produção podem ser entendidas como um custo social a medida que seus efeitos colaterais são sentidos por toda a sociedade. Dentre as diversas externalidades negativas geradas pelos serviços de transportes, as que recebem maior atenção na literatura referem-se a poluição do ar com gases do efeito estufa, dos rios, barulho, acidentes e congestionamentos (SANTOS, BEHRENDT, *et al.*, 2010).

2.1. Acidentes

É comum considerar apenas danos físicos e financeiros gerados às pessoas, veículos e carga envolvidos diretamente no acidente. No entanto, acidentes enquanto externalidade, envolvem uma série de outros componentes, como serviço de emergência, congestionamento e poluição ambiental (MCAULEY, 2010).

2.2. Congestionamentos

O congestionamento acontece quando há mais entidades transportadoras do que a via é capaz de suportar (DEMIR, HUANG, *et al.*, 2015), resultando em maior tempo de viagem, fretes mais caros e indiretamente, maior poluição e barulho. Vale ressaltar, que no caso do mercado de transporte de *commodities* agrícolas estes fatores podem sofrer alterações sazonais, em razão do aumento da demanda por transportes durante o pico da colheita ou deterioração do asfalto em períodos de chuva no norte do país.

2.3. Poluição da água

O modal hidroviário em especial pode gerar também a poluição dos cursos d'água em razão de acidentes com derramamento de óleo e carga no rio (LAWSON, 2007). Assim como no risco de acidentes, o derramamento de grãos na via teria impactos relativamente pequenos, mas o derramamento de combustíveis, por outro lado, é potencialmente danoso, especialmente em zonas de alta biodiversidade. Vale ressaltar que a medida que cresce a movimentação de cargas pela via,

crescem também os riscos de poluição, que são de difícil estimativa.

2.4. Barulho

A poluição sonora é o excesso de barulhos e afeta saúde física e mental da população que convive com a situação frequentemente. A poluição sonora é medida em decibéis e quando acima de 61 dB podem causar problemas de sono e cardiovasculares. A localização e composição da vizinhança são fatores de extrema importância para definir os impactos e consequentemente os danos causados à população pela poluição sonora gerada pelo serviço de transporte (LU e MORELL, 2006).

2.5. Gases do Efeito Estufa

Os gases causadores do efeito estufa (GEE) provavelmente são a externalidade mais estudada no meio acadêmico atualmente. Estes gases são gerados principalmente por resíduos orgânicos e pela queima de combustíveis fósseis, absorvem parte da radiação infravermelha emitida pela terra e geram aumento da temperatura. Dentre os gases do efeito estufa gerados pela queima de combustíveis fósseis utilizados nos veículos de transporte pode-se citar o dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) e óxido nitroso (N₂O) (MERCHAN, LÉONARD, *et al.*, 2019). Além destes, cabe citar ainda o enxofre, que ao entrar em contato com o oxigênio se transforma em dióxido de enxofre (SO₂) e acidifica a chuva, sendo também altamente solúvel nas mucosas aéreas e provocando problemas respiratórios e cardiovasculares à população.

O principal combustível utilizado em automóveis pesados é o diesel, combustível fóssil que gera gases do efeito estufa e óxidos de enxofre durante sua queima. A fim de diminuir os impactos ambientais causados pela queima do combustível foi criado, em 2014, o Programa de Produção e Uso de Biodiesel, que previa adição inicial de 2% de biodiesel (B2) ao diesel fóssil e incrementos periódicos até a meta de 20% (B20), atualmente prevista para ser alcançada até 2023. Além disso, desde 2014 somente o diesel com até 500 mg/Kg de enxofre (S500) e 10 mg/Kg de enxofre (S10) podem ser comercializados no Brasil.

O óleo combustível marítimo, também chamado de bunker ou MF, também é obtido através do refino de petróleo, com classificação principalmente em razão de sua viscosidade. De acordo com ANP, até o ano de 2019 o óleo combustível comercializado pelo Brasil pode conter até 3,5% de enxofre, mas em atendimento à acordos internacionais aos quais o Brasil é

signatário, o limite máximo passa a ser de 0,5% a partir de 2020.

3. Demanda por transportes

Por muitos anos os portos do sul e sudeste foram as únicas opções para que produtores do Mato Grosso escoassem sua produção rumo ao mercado externo. A Figura 1 apresenta a participação percentual dos principais portos brasileiros na exportação da soja e milho mato-grossenses.

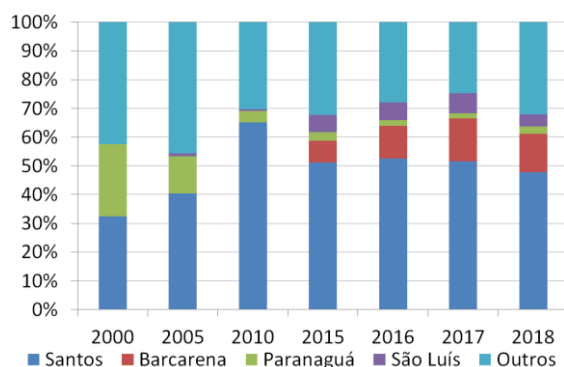


Figura 1 - Evolução anual da participação percentual dos principais portos brasileiros na exportação da soja e milho mato-grossenses, Comex Stat (MDIC)

Nota-se que no ano 2000, Santos (SP) e Paranaguá (PR) exportavam juntos aproximadamente 60% de toda soja e milho produzidos no estado do Mato Grosso. Embora o porto de Paranaguá tenha perdido gradativamente a capacidade de captar cargas nessa região, o porto de Santos expandiu o volume movimentado e ainda hoje é o maior exportador dos grãos do Mato Grosso, com quase 50% de todo volume exportado do estado, seguido pelos portos localizados na região de Barcarena (PA), com 13%; pelo porto de São Luís (MA), com 4%; e Paranaguá (PR), com 3%. Segundo dados disponibilizados pela ANTT, apenas 65% do montante exportado pelo porto de Santos (SP) foi movimentado pelo corredor rodo-ferroviário denominado neste trabalho como rota 3, de forma que pode-se afirmar que os outros 35% foi movimentado por rodovias e é analisado neste trabalho por meio da rota 4. Nota-se que 32% do total exportado foi pulverizado em diversos outros corredores, onde será considerada a divisão modal apresentada por IBGE (2017), mas desconsiderando os modais dutoviário e aeroviário. Assim, a matriz de transportes considerada no corredor "outros" será composta em 62% pelo modal rodoviário, 28% pelo modal ferroviário e 10% pelo modal hidroviário.

No intuito de quantificar a demanda por combustíveis no setor de transportes, Novo (2016) analisa a composição atual da frota brasileira e aponta que o consumo específico de diesel no

modal rodoviário é de 0,0078 l/t.km e no modal ferroviário é 0,0045 l/t.km. No caso do modal hidroviário, existe uma diversidade de potência, consumo e tipos de combustíveis utilizados nos diferentes combustíveis de embarcações. Após diversas consultas realizadas junto à empresas de navegação da região norte, serão considerados neste trabalho comboios operando em formação de 20 balsas e capacidade total de 44.000 toneladas, onde o empurrador é dotado de 2 motores de propulsão alimentados por óleo combustível MF180 e potência máxima instalada de 3.550 HP. Desta forma, considerando histórico e meta de consumo destas empresas, o consumo específico adotado no modal hidroviário é de 0,0015 l/t.km.

A partir de consulta pública aos dados de exportação do Ministério da Indústria e Comércio do Brasil referentes ao estado do Mato Grosso e considerando as rotas propostas na matriz de origem e destino, a Tabela 2 - Movimentação total de carga em toneladas, consumo de combustível em litros por tonelada e consumo aparente total para o ano de 2018 nos corredores analisados (l/t) apresenta a movimentação total, consumo de combustível por tonelada movimentada e estimativa do consumo total aparente dos corredores logísticos analisados no ano de 2018.

Tabela 2 - Movimentação total de carga em toneladas, consumo de combustível em litros por tonelada e consumo aparente total para o ano de 2018 nos corredores analisados (l/t)

Rota	Movimentação Total (t)	Consumo Combustível (l/t)	Consumo Aparente (l/ano)
Rota 1	5.624.279	10,12	42.641.034
Rota 2	1.774.821	18,06	17.231.129
Rota 3	13.041.343	11,96	56.211.838
Rota 4	7.022.261	16,00	101.106.660
Rota 4	1.103.070	17,18	17.051.304
Outros	13.524.661	14,55	137.154.829

4. Estimativa de Emissões

Desde a revolução industrial a emissão de gases causadores do efeito estufa tem aumentado, com crescimento mais acentuado nos últimos 50 anos. Na primeira metade da década de 1970, aproximadamente 39% da matriz energética brasileira era composta pela queima de madeira e 46% pela queima de derivados de petróleo. Atualmente as fontes renováveis representam cerca de 45,3% da matriz energética mas os derivados de petróleo ainda respondem por cerca de 35% da geração de energia no país (EPE, 2019). De acordo com dados da Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis o Brasil

ainda importa grandes volumes de derivados de petróleo (ANP, 2019), de forma que uma demanda excessiva destes produtos expõe o país às variações de preços do mercado internacional, que pode gerar impactos significativos na economia e custo de vida do brasileiro.

A fim de alcançar as metas acordadas na COP-21, países signatários do acordo adotaram diversas estratégias para limitar a emissão de carbono, sendo a mais comum por meio de precificação das emissões por meio de tributação ou comércio de carbono, forçando uma internalização da externalidade no preço final. A tributação tem por objetivo tornar o produto mais caro a medida que gera mais carbono, tornando produtos ambientalmente amigáveis economicamente mais competitivos. Já a comercialização de carbono parte da ideia que uma empresa ou país que reduz sua emissão de carbono em 1 tonelada gera 1 crédito que pode ser comercializado para compensar a emissão de outra empresa ou país. O sistema se baseia no Mecanismo de Desenvolvimento Limpo criado pelo protocolo de Quioto em 1997, estabelecendo critérios rigorosos para qualificação de projetos de redução de carbono que devem ser avaliados pela entidade nacional designada para receber o título de Redução Certificada de Emissão (CER) (FRONDIZI, 2009).

De acordo com o Painel Intergovernamental para Mudanças Climáticas da ONU (IPCC), o dióxido de carbono responde por cerca de 97% das emissões de gases do efeito estufa, que segundo (ALVARES JR. e LINKE, 2001), quando emitidos por fontes móveis são melhor calculados a partir da quantidade de combustível queimado, seu teor de carbono e emissões correspondentes de gases. Desta forma, a metodologia utilizada ao longo deste trabalho é denominada *Top-Down*, que parte do consumo aparente de combustível (CA) para estimar as emissões de gases do efeito estufa (AGUIAR, FORTES e MARTINS, 2016).

O método prevê que o consumo aparente deve ser transformado em consumo de energia por meio do fator de conversão, determinando a quantidade de energia contida em cada tonelada equivalente de petróleo (tep) com base no poder calorífico (GOMES, FARIA e DALLEMOLE, 2010), conforme Equação (1). De acordo com EPE (2019), o fator de conversão a ser considerado é de 0,848 tep/m³ para o diesel e 0,957 tep/m³ para o óleo combustível.

$$CE = CA \times F_{Conv} \times 45,2 \times 10^{-3} \quad \text{Equação (1)}$$

Onde: CE - Consumo de energia (TJ)
CA - Consumo aparente de combustível

(l/unidade de tempo);

F_{Conv} - Fator de conversão

(Tep/unidade física);

$45,2 \times 10^{-3}$ TJ = 1tEP brasileiro.

Vale ressaltar, entretanto, que de acordo com a Lei nº 13.263, de 23 de março de 2016, atualmente o diesel brasileiro recebe adição de 10% de biodiesel, devendo chegar a 15% até 2023. Embora a queima do biocombustível também gere gases do efeito estufa, estes são considerados "limpos" uma vez que no replantio e crescimento da cultura o CO₂ gerado na queima anterior é consumido, interrompendo o ciclo do carbono. Desta forma, para efeito do consumo aparente de combustível dos modais rodoviário e ferroviário deve-se descontar o percentual de biodiesel adicionado ao diesel. Não foi encontrado na literatura parâmetro para o fator de emissão de SO₂ para óleo combustível com teor de 3,5% de enxofre, sendo utilizado fator referente ao teor 2,7% para estimativa de emissões até 2019 e referente a 0,5% de enxofre para estimativas a partir do ano seguinte (FAN, ZHANG, *et al.*, 2016). Os fatores de emissão (F_{Emiss}) adotados estão de acordo com valores *default* recomendados por IPCC (2006), conforme Tabela 3.

Tabela 3 - Fatores de emissão de gases do efeito estufa (t/TJ)

GEE	Rodo	Ferro	Hidro
CO ₂	74,10	74,10	77,40
N ₂ O	0,003	0,003	0,003
CH ₄	0,0006	0,0006	0,0006
SO ₂ (2,7%)	-	-	2,86
SO ₂ (0,5%)	-	-	0,59

Uma vez obtido o consumo de energia e considerando os fatores de emissão apresentados na Tabela 3, pode-se obter a quantidade de dióxido de carbono (QCO₂), óxido nitroso (QN₂O), metano (QCH₄) e dióxido de enxofre (QSO₂) emitidos na queima do respectivo combustível em toneladas (t), conforme Equação (2).

$$QG = CE \times F_{Emiss} \times 10^{-3} \quad \text{Equação (2)}$$

Onde: QG - Quantidade do gás emitida (Gg)

F_{Emiss} - Fator de emissão do respectivo gás (Tep/unidade física);

5. Descrição dos cenários

Para efeito de comparação são propostos 5 cenários. No primeiro cenário considera-se as

condições atuais, com divisão da matriz de transportes, demanda e consumo já explicitados anteriormente. A Figura 2 apresenta a participação percentual de cada modal em relação às distâncias totais de cada rota proposta no cenário 1.

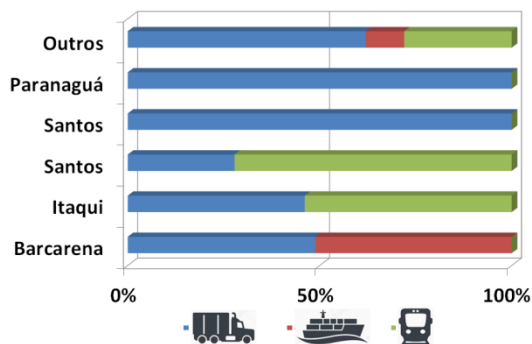


Figura 2 - Participação percentual dos modais de transporte nos corredores logísticos do cenário 1

O cenário 2 se baseia na infraestrutura logística disponível para escoar a produção agrícola do Mato Grosso no ano de 2000, conforme Figura 3. Nota-se que os portos de Paranaguá e Santos eram acessados exclusivamente pelo modal rodoviário. Nota-se também que 78% da matriz de transportes brasileira era composta pelo modal rodoviário, 19% pelo hidroviário e 3% pelo ferroviário. Vale ressaltar que não adição de biodiesel ao diesel comercializado no país e que os fatores de conversão e emissão adotados são os mesmos em todos os cenários propostos.

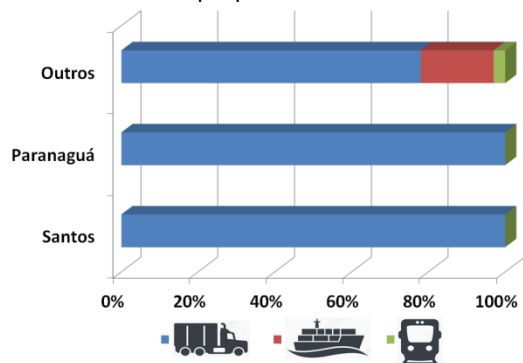


Figura 3 - Participação percentual dos modais de transporte nos corredores logísticos no ano de 2000

Os cenários 3, 4 e 5 abordarão o potencial de mitigação com uma melhor escolha dos modais utilizados futuramente. A infraestrutura logística disponível é a mesma utilizada no cenário 1, mas com a carga movimentada pelas rotas 3, 4 e 5 movimentadas pela rota 1 (cenário 3), pela rota 2 (cenário 4) e pela rota 3 (cenário 5). Desta forma, espera-se quantificar as emissões brasileiras na hipótese da extinção de rotas exclusivamente rodoviárias e melhor distribuição da carga movimentada pelo corredor "outros" por corredores ambientalmente mais eficientes. Vale

ressaltar que não serão verificadas eventuais limitações físicas das rotas e que será considerada adição de 15% de biodiesel no combustível utilizado nos modais rodoviário e ferroviário, além de teor máximo de enxofre de 0,5% no óleo combustível. A Figura 4 apresenta a participação percentual dos principais portos brasileiros para cada um dos cenários propostos.

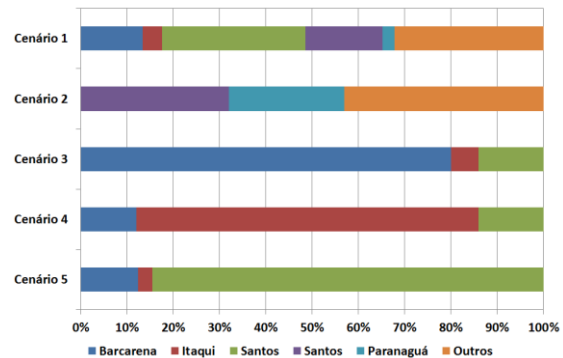


Figura 4 - Participação percentual dos principais portos brasileiros para cada cenário

6. Resultados e Discussões

Os resultados obtidos referentes à emissão total de gases são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 - Emissão total dos gases (em toneladas) dos cenários avaliados

Rota	CO ₂	EN ₂ O	ECH ₄	ESO ₂
Cenário 1	1.476.072	60	12	1.764
Cenário 2	1.876.629	76	15	783
Cenário 3	1.156.131	46	9	1.457
Cenário 4	1.947.649	79	16	218
Cenário 5	1.386.483	56	11	218

Percebe-se em relação ao cenário 2, que considerando a mesma quantidade de carga movimentada, o Brasil já diminuiu em 21% as emissões de gases. Nota-se também que o cenário 3 apresenta-se com maior potencial de redução de gases do efeito estufa, em torno de 22%.

Como ponto negativo da maior participação das hidrovias na matriz de transportes está a emissão de SO₂, que no cenário 1 cresceu 125% em relação ao cenário 2. Por outro lado, embora as emissões de SO₂ do cenário 1 sejam maiores em relação ao cenário 3 em razão do aumento da movimentação de cargas na rota, percebe-se uma redução de 79% nas emissões de tSO₂/t-km como resultado do menor teor de enxofre no óleo combustível.

Considerando que o diesel corresponde a 96% do combustível utilizado no cenário 1, faz-se necessária uma análise dos resultados sob a ótica da dependência energética brasileira. Nota-se que a redistribuição da matriz de transportes registrada entre 2000 e 2019 gerou uma redução de 22% do

consumo de combustível necessário para transportar 1 tonelada, podendo ser reduzido em mais 23% a partir do cenário 3. Considerando a mesma demanda por transportes, a Figura 5 demonstra que a redução constatada no cenário 1 em relação ao cenário 2 seria de 150 milhões de litros, podendo ser reduzida em mais 163 milhões a partir do cenário 3.

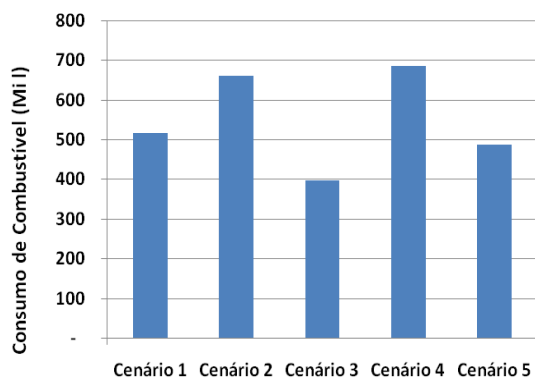


Figura 5 - Estimativa do consumo de combustível em (milhões de litros) para cada cenário proposto

No intuito de viabilizar a comercialização de gases do efeito estufa conforme previsto no Mecanismo de Desenvolvimento Limpo e considerando que há outros GEE além do dióxido de carbono, tornou-se necessário um fator de conversão que seja capaz de relacionar todos os principais gases do efeito estufa em uma unidade comum. Neste sentido, o quinto relatório do IPCC (AR5) cria o Carbono Equivalente (CEq), calculado a partir de fatores estabelecidos em razão do potencial de aquecimento dos demais gases, sendo estes fatores igual a 1 para o dióxido de carbono, 28 para o metano e 265 para o óxido nitroso. A Figura 6 demonstra que considerando o mesmo volume movimentado que no cenário 1, o Brasil reduziria em torno de 17% suas emissões de carbono equivalente em relação ao cenário 2, podendo chegar a 26% em relação aos volumes atuais a partir do cenário 3.

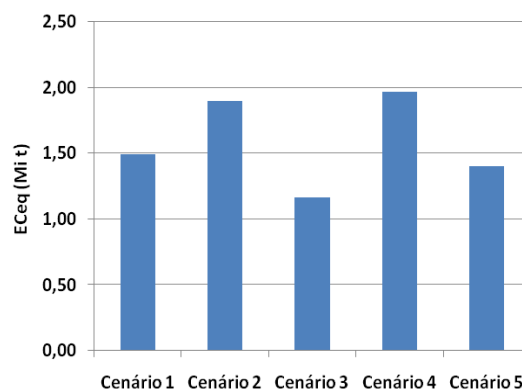


Figura 6 - Estimativa da emissão total de carbono equivalente (ECeq) em milhões de toneladas para cada cenário proposto

Alguns estudos indicam que muitos países ao redor do mundo já utilizam a taxaço de carbono, dentre eles CAFE (2005) e HEATCO (2006), referentes a União Europeia; (AEA, 2006), referente ao Reino Unido; (NSW, 2005), referente a Austrália; (IVL, 2005), referente a Suécia; Marbek (2007), referente ao Canadá; e Muller e Mendelsonhn (2007), referente aos Estados Unidos. No Brasil ainda não há taxaço da emissão de carbono, mas o projeto PMR, criado em 2014 sob a alçada do Ministério da Fazenda, conduz estudos sobre o tema.

Segundo dados disponibilizados *on-line* pela Investing.com, a cotaço da tonelada de carbono na bolsa de Londres no mês julho 2019 foi de US\$ 31,05/t com variaço média 6,52%, o que equivale. Assim sendo, considerando que o volume movimentado em 2000 fosse igual aos atuais, o país teria gerado o equivalente a 12,5 milhões de dólares em créditos de carbono, podendo gerar mais 10 milhões de dólares nos próximos anos a partir de maior adiço de biodiesel ao diesel fóssil e melhor aproveitamento de sua matriz de transportes.

7. Conclusão

O método Top-Down foi efetivo para fazer a quantificação de emissões de gases em função do transporte de commodities nos cenários propostos. Percebe-se que, em relação a infraestrutura de transportes utilizada para escoar a produção agrícola do Mato Grosso durante os anos 2000 e retratada neste trabalho a partir do cenário 2, o Brasil já mitiga em torno de 21% as emissões de carbono equivalente. Nota-se ainda que o cenário 3, a partir da utilização de portos localizados na região de Barcarena, mostra-se como mais vantajoso, podendo reduzir em mais 22% as emissões de gases nos próximos anos, seguido do cenário 5 que é o segundo mais

conveniente em função da redução do consumo de combustíveis e emissão de GEE.

Nota-se ainda que a adição de biodiesel ao diesel têm se mostrado eficiente na redução das emissões de GEE e que a limitação do teor máximo de enxofre do óleo combustível comercializado no país tende a reduzir as emissões de tSO₂/t-km em aproximadamente 80%.

Por fim, o estudo oferece uma ferramenta para os tomadores de decisão e às autoridades reguladoras brasileiras para implementar novas políticas públicas como são a taxação das emissões.

8. Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior” - Brazil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

9. Referências Bibliográficas

AEA. Report number ED48796. Damage Costs for Air Pollution: Final Report to DEFRA - AEA Technology plc, Didcot, UK, Feb 2006.

AGUIAR, L. V.; FORTES, J. D. N.; MARTINS, E. Neutralização compensatória de carbono – Estudo de caso: Indústria do setor metal mecânico, Rio de Janeiro (RJ). **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, RJ, v. 21, n. 1, p. 197-205, 2016. ISSN 1413-4152. <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-41520201600100116414>.

ALVARES JR., O. D. M.; LINKE, R. R. A. Metodologia simplificada de cálculo das emissões de gases do efeito estufa de frotas de veículos no Brasil. **CETESB**, São Paulo, SP, 182, 2001. 12.

ANP. Relatório de Comércio Exterior nº 8. **Superintendência de Distribuição e Logística**, Brasília, DF, 2019. 1-12.

AVETISYAN, M. Impacts of global carbon pricing on international trade, modal choice and emissions from international transport. **Energy Economics**, Lubbock, TX, 23 Oct 2018. 532-548. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2018.10.020>.

CAFE. Damages per tonne emission of PM2.5, NH3, SO2, NOx and VOCs from each EU25 Member State (excluding Cyprus) and surrounding seas. **AEA Technology Environment**, Didcot, UK, Mar 2005. 1-32.

DEMIR, E. et al. A selected review on the negative externalities of the freight transportation:

Modeling and pricing. **Transportation Research Part E**, Eindhoven, NL, 21 Mar 2015. 95-114. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tre.2015.02.020>.

EPE. Balanço Energético Nacional 2019. **Relatório síntese referente ao ano de 2018 da Empresa de Pesquisa Energética**, Rio de Janeiro, RJ, p. 67, Mai 2019.

FAN, Q. et al. Spatial and Seasonal Dynamics of Ship Emissions over the Yangtze River Delta and East China Sea and Their Potential Environmental Influence. **Environmental Science & Technology**, 2016. 1322-1329. [10.1021/acs.est.5b03965](https://doi.org/10.1021/acs.est.5b03965).

FRONDIZI, I. **O Mecanismo de Desenvolvimento Limpo**: Guia de Orientação - 2009. Rio de Janeiro, RJ: Imperial Novo Milênio, 2009.

GOMES, V. M.; FARIA, A. M. D. M.; DALEMOLLE, D. Emissão de CO2 Derivado do Consumo de Combustíveis no Brasil e Mato Grosso entre 2000 e 2008: Biocombustíveis como estratégia de ajustamento a uma economia de baixo carbono. **Revista de Estudos Sociais**, Cuiabá, MT, v. 2, n. 24, p. 129-152, 2010. ISSN 2358-7024.

GUCWA, M.; SCHÄFER, A. The impact of scale on energy intensity in freight transportation. **Transportation Research Part D: Transport and Environment**, Ago 2013. 41-49. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2013.03.008>.

HANSEN, T.-E. S.; MATHISEN, T. A.; JØRGENSEN, F. Generalized transport costs in intermodal freight transport. **Procedia - Social and Behavioral Sciences**, Bodø, NO, 2012. 189-200. [doi:10.1016/j.sbspro.2012.09.738](https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2012.09.738).

HEATCO. Developing Harmonised European Approaches for Transport Costing and Project Assessment. **Deliverable 5 Proposal for Harmonised Guidelines - University of Stuttgart**, Stuttgart, DE, Feb 2006. 1-193.

HUANG, S. et al. Terrestrial transport modalities in China concerning monetary, energy and environmental costs. **Energy Policy**, Pequim, CHN, 24 Jul 2018. 129-141. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2018.06.047>.

IBGE. Brasil em números. In: D'AGOSTO, M. D. A.; GONÇALVES, D. N. S. **Transportes**. Brasília, DF: [s.n.], v. 25, 2017. Cap. 17, p. 1-480.

IMEA. **Entendendo o Mercado da Soja**. Instituto Matogrossense de Economia Agropecuária. Mato Grosso. 2015.

IMEA. **Projeções do Agronegócio em Mato Grosso para 2025**. AgroMT 2025. Cuiabá: [s.n.]. 2016. p. 46.

IPCC. Guidelines for national greenhouse gas inventories. **Vol 2 - Energy**, Hayama, Japan, 2006.

IVL. Quantification of population exposure to PM2.5 and PM10 in Sweden. **Swedish Environmental Research Institute**, Goteborg, SE, Jan 2005. 1-75.

JANIC, M.; VLEUGEL, J. Estimating potential reductions in externalities from rail-road substitution in Trans-European freight transport corridors. **Transportation Research Part D**, p. 154-160, 2012. ISSN 1361-9209. <http://doi.org/10.1016/j.trd.2011.09.015>.

JUGOVIĆ, A.; SLIŠKOVIĆ, M.; VUKIĆ, L. Concept of external costs calculation in the ports: Environmental impacts. **Tehnički vjesnik**, Split, HR, v. 25, n. 2, p. 495-502, 2018. ISSN 1848-6339. <https://doi.org/10.17559/TV-20161201113235>.

LAWSON, J. The environmental footprint of surface freight transportation. **Transportation Research Board Special Report 291**, Ottawa, CA, Jun 2007. 1-27.

LU, C.; MORELL, P. Determination and applications of environmental costs at different sized airports - Aircraft noise engine emissions. **Transportation**, Tainan, TW, 2006. 45-61. <https://doi.org/10.1007/s11116-005-2300-y>.

MAPA. **Projeções do Agronegócio: Brasil 2016/17 a 2026/27**. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Brasília, p. 98. 2017.

MARBEEK. Evaluation of Total Cost of Air Pollution Due to Transportation in Canada. **Marbek Resource Consultants**, Ottawa, CA, Mar 2007. 1-115.

MÁRQUEZ, L.; CANTILLO, V. Evaluating strategic freight transport corridors including external costs. **Transportation Planning and Technology**, Barranquilla, v. 36, n. 6, p. 529-546, Abril 2013.

ISSN 1029-0354.
<http://dx.doi.org/10.1080/03081060.2013.830892>.

MCAULEY, J. External costs of inter-capital freight in Australia. **Australia Transport Research Forum 2010**, Canberra, AU, Oct 2010. 1-13. <http://www.patrec.uwa.edu.au/publications>.

MEADE, B. et al. Corn and soybean production costs and export competitiveness in Argentina, Brazil and the United States. **EIB-154, U.S. Department of Agriculture, Economic Research Service**, Jun 2016. 1-52.

MEERS, D. et al. Modal choice preferences in short-distances hinterland container transport. **Research in Transportation Business & Management**, Bruxelas, BE, 27 Feb 2017. 46-53. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rtbm.2017.02.011>.

MERCHAN, A. L. et al. Life cycle externalities versus external costs: The case of inland freight transport in Belgium. **Transportation Research Part D**, Liège, BE, Jan 2019. 576-595. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2019.01.017>.

MULLER, N. Z.; MENDELSONHN, R. Measuring the damages of air pollution in the United States. **Journal of Environmental Economics and Management**, Jul 2007. 1-14. <https://doi.org/10.1016/j.jeem.2006.12.002>.

NOVO, A. L. A. Perspectiva para o consumo de combustível no transporte de carga no Brasil: Uma comparação entre os efeitos estrutura e intensidade no uso final de energia no setor. **Dissertação de Mestrado (Planejamento Energético) - UFRJ/COPPE**, Rio de Janeiro, RJ, Mar 2016. 161.

NSW. Health Costs of Air Pollution in the Greater Sydney Metropolitan Region. **Department of Environmental and Conservation (NSW) - Air Pollution Economics**, Sydney, AU, 2005. 1-73.

SANTOS, G. et al. Part I : Externalities and economic policies in road transport. **Research in Transportation Economics**, Oxford, UK, v. 28, p. 2-45, 2010. ISSN 0739-8859. doi:10.1016/j.retrec.2009.11.00.

WANKE, P.; BARROS, C. P.; FIGUEIREDO, O. Measuring efficiency improvement in brazilian trucking: A distance friction minimization approach

with fixed factors. **Measurement**, Rio de Janeiro,
BR, 28 Apr 2014. 166-177.
[http://dx.doi.org/10.1016/j.measurement.2014.04.
013](http://dx.doi.org/10.1016/j.measurement.2014.04.013).