

COMPARAÇÃO DE EMISSÃO DE CO₂ ENTRE OS MODOS RODOVIÁRIO E HIDROVIÁRIO – ENSAIO SOBRE O CORREDOR NORTE/EIXO TOCANTINS

Bruna Renata Cavalcante de Barros

Eliezé Bulhões de Carvalho

Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes

Wesley Cândido de Melo

Elayne Barbosa dos Santos

Augusto Cesar de Mendonça Brasil

Universidade de Brasília

Programa de Pós-Graduação em Transportes

RESUMO

Este artigo investiga o Rio Tocantins como alternativa logística para mitigar a emissão de CO₂ no escoamento da produção de soja da região do MATOPIBA. Foram calculadas as emissões de dióxido de carbono pelos caminhões que trafegaram em 2016 na BR-153, no trecho de 851 quilômetros entre Gurupi/TO e Marabá/PA, com dados do Plano Nacional de Contagem de Tráfego do DNIT. Posteriormente, calculou-se a quantidade de CO₂ que seria emitida por comboios fluviais para transportar a mesma quantidade de carga pelos 1.188 quilômetros entre Peixe/TO e Marabá/PA do Rio Tocantins, onde o Governo Federal pretende viabilizar, em 2022, a navegação comercial com o derrocamento do Pedral do Lourenço. Concluiu-se que o transporte hidroviário reduziria o total de emissões em 67,32%, pode diminuir a dependência das rodovias na matriz de transportes brasileira e ajudar a atingir as metas com as quais o Brasil se comprometeu no Acordo de Paris em 2015.

ABSTRACT

This paper investigates Tocantins River as a logistics alternative to decrease CO₂ emissions in soybean transportation in MATOPIBA region. CO₂ emissions by heavy load vehicles that passed by the 851 kilometers of BR-153 between Gurupi/TO and Marabá/PA in 2016 were calculated, according to the Traffic Counting National Plan, conducted by Brazil's National Department of Transportation Infrastructure. Afterwards, CO₂ emissions of vessels that would be necessary to carry the same amount of bulk through 1,188 kilometers that separate Peixe/TO from Marabá/PA, in the waterway route that the Federal Government aims to make feasible in 2022, by excavating Lourenço's rocks. The conclusion is that the use of inland waterway could reduce CO₂ emissions by 67,32%, decrease highway dependence of Brazilian transport matrix and help Brazil meet the commitments taken in the Paris Agreement of 2015.

1. INTRODUÇÃO

O presente trabalho tem o objetivo de investigar a possível contribuição da Hidrovia do Rio Tocantins como alternativa logística para mitigar a emissão de CO₂ no escoamento da produção de soja da região. A hidrovia, integrante do Corredor Norte (MT, 2017) poderia atrair grandes volumes de cargas que hoje trafegam pela BR-153. A intenção é comparar as rotas rodoviária e hidroviária de escoamento, do ponto de vista da emissão de Gases do Efeito Estufa. A premissa é a conclusão, em 2022, das obras de derrocamento dos afloramentos rochosos conhecidos como Pedral do Lourenço, que atualmente inviabilizam a navegação comercial nos períodos de estiagem.

Durante a 21ª Conferência das Partes (COP-21) em 2015, foi aprovado o Acordo de Paris para reduzir emissões de gases do efeito estufa (GEE), no âmbito da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança do Clima (UNFCCC). O objetivo é limitar o aumento da temperatura global a menos de 2°C acima dos níveis pré-industriais. Como signatário do documento, o Brasil assumiu o compromisso de adotar medidas para reduzir a emissão de GEE, por meio da Contribuição Nacionalmente Determinada – NDC (MCTIC, 2017). Em outras palavras, o país precisa alcançar metas de emissões de Gases do Efeito Estufa: redução em 37% para 2025 e em 43% para 2030. Foram feitos estudos para estabelecer estratégias para o cumprimento dessas

medidas, os quais apontaram que a adoção de atividades de baixo carbono poderia contribuir para reduzir emissões em 60,4 MtCO₂e para 2025 e 211,1 MtCO₂e em 2030.

Estima-se que o setor de transportes seja responsável por 14% do total de emissões globais de dióxido de carbono (IPCC, 2014). A matriz de transportes brasileira ainda tem forte tendência rodoviária, com 52% da carga movimentada, enquanto apenas 5% são transportados pelo modo hidroviário. A figura 1 apresenta a participação de cada modo, com percentuais estimados em Toneladas-Quilômetro-Úteis (TKU). O Plano Nacional de Logística de Transportes (MT, 2011) declarou intenção de equilibrar essa distribuição, e aponta para uma maior utilização de modos não rodoviários.

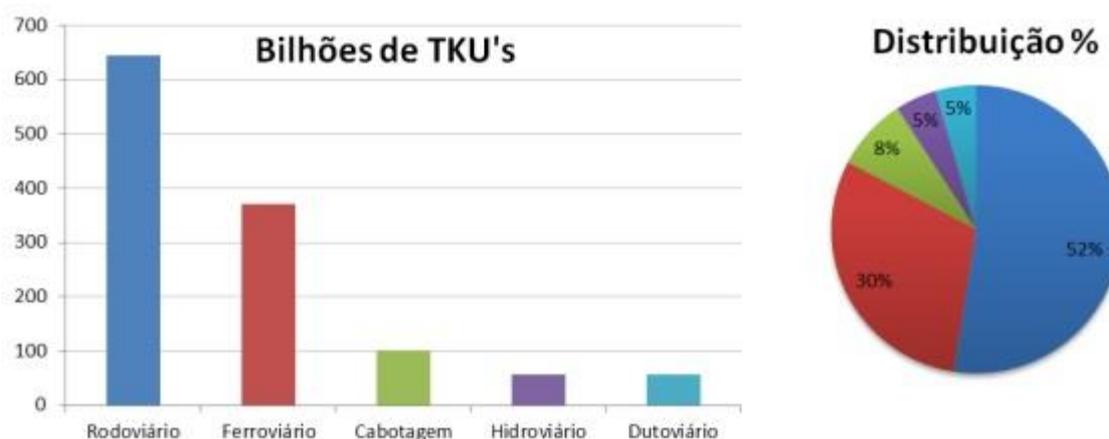


Figura 1: Distribuição modal da matriz brasileira de transporte de cargas. (PNLT, 2011)

De fato, entre 2006 e 2016, a frota de caminhões na região Norte do País cresceu 40%, tendência de crescimento que se confirma, se considerados apenas os estados de Tocantins e Pará, abordados no presente estudo (CNT, 2017). Entretanto, mudanças na matriz de transportes, com ênfase nos investimentos para fomentar o transporte hidroviário, figuram também entre as principais ações setoriais de baixo carbono para que os objetivos brasileiros no Acordo de Paris sejam alcançados (MCTIC, 2017). O transporte por hidrovias tem como vantagens a grande capacidade de carga e o baixo custo de tonelada transportada por unidade de distância. Por isso, é o modo mais adequado ao transporte de produtos de menor valor agregado, como commodities agrícolas. Ampliar a capacidade de movimentação das vias navegáveis e adequar estruturas localizadas nelas pode aumentar a eficiência logística (BARROS *et. al.*, 2017). De acordo com a ANTAQ (2018a), foram transportadas 102 milhões de toneladas de carga pelas vias interiores brasileiras em 2017, e pelo Rio Tocantins, embarcações carregaram 2,9 milhões de toneladas de grãos agrícolas. O presente trabalho visa investigar se, além de diminuir os custos de frete, este modo de transporte pode colaborar para diminuir as emissões de Gases do Efeito Estufa. O presente artigo está dividido em cinco partes: 1 – Introdução; 2 – Contextualização do Corredor Logístico Norte – Eixo Tocantins; 3 – Aspectos teóricos relativos à emissão de CO₂; 4 – Cálculos e simulações da emissão de CO₂ no Corredor Norte – Eixo Tocantins; e 5 – Considerações finais.

2. CORREDOR LOGÍSTICO NORTE – EIXO TOCANTINS

A agricultura brasileira tem evoluído rapidamente nos últimos anos, tanto na área de plantio quanto na produtividade. A fronteira agrícola mais recente em expansão é denominada MATOPIBA – Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia (Figura 2). A região tem apresentado crescimento expressivo na produção de soja (CONAB, 2017b), e a área plantada com esta oleaginosa no estado do Tocantins tem evoluído ao longo dos últimos anos: aumentou de 535,9 mil hectares para 1,37 milhão de hectares em 2017 (CONAB, 2017a). A produção obteve evolução ainda mais expressiva: no Tocantins, na safra 2006/2007, foram produzidas 646,5 mil toneladas, e na safra 2016/2017, 2 milhões de toneladas, cerca de três vezes mais.

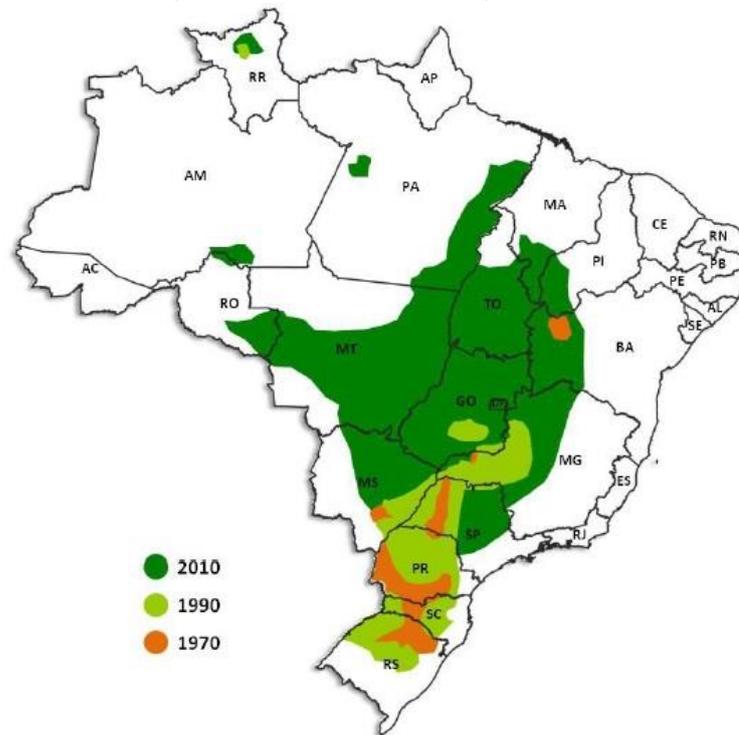


Figura 2: Avanço da área plantada no Brasil. (MTPA, 2017)

Portanto, desde a virada deste século, o mercado interno cresceu impulsionado pelo agronegócio, o que tem trazido pressões sobre a rede logística brasileira. As ações e investimentos ao longo deste período não têm se mostrado suficientes para resolver os gargalos existentes na infraestrutura e promover o crescimento sustentável do país. Em 2016, o Brasil ocupava o 55º lugar no Ranking Global de Desempenho Logístico elaborado pelo Banco Mundial para medir a eficiência de 160 países em enviar bens para além de suas fronteiras (BATISTA e CORRÊA, 2016). Há uma gama de planos de infraestrutura, com ações de médio e longo prazo para melhorar a eficiência da cadeia de transportes. Podem ser citados o Plano Nacional de Logística de Transportes (PNLT), Plano Nacional de Logística Portuária (PNLP), Plano Hidroviário Estratégico (PHE), desenvolvidos pelo Ministério dos Transportes, Portos e Aviação Civil. Eles foram usados como subsídios para programas como o Programa de Aceleração do Crescimento (PAC) e Programa de Investimentos em Logística (PIL).

O Ministério dos Transportes, Portos e Aviação Civil lançou em 2017 uma visão panorâmica e diagnóstica do atual momento das infraestruturas de transportes. O trabalho é voltado para a identificação e caracterização dos corredores logísticos estratégicos no território nacional. Esses corredores foram caracterizados em função de seus usos para deslocamento dos principais produtos da economia nacional (MTPA, 2017). Foram estudadas as cadeias produtivas do

complexo da soja, incluindo soja em grãos e seus derivados e do milho, mapeando volumes, fluxos e necessidades de infraestrutura. Para os fluxos de exportação, foram definidos nove corredores logísticos estratégicos. Um deles é denominado “Corredor Logístico Norte – Eixo Tocantins” (Figura 3), objeto de análise da presente pesquisa.

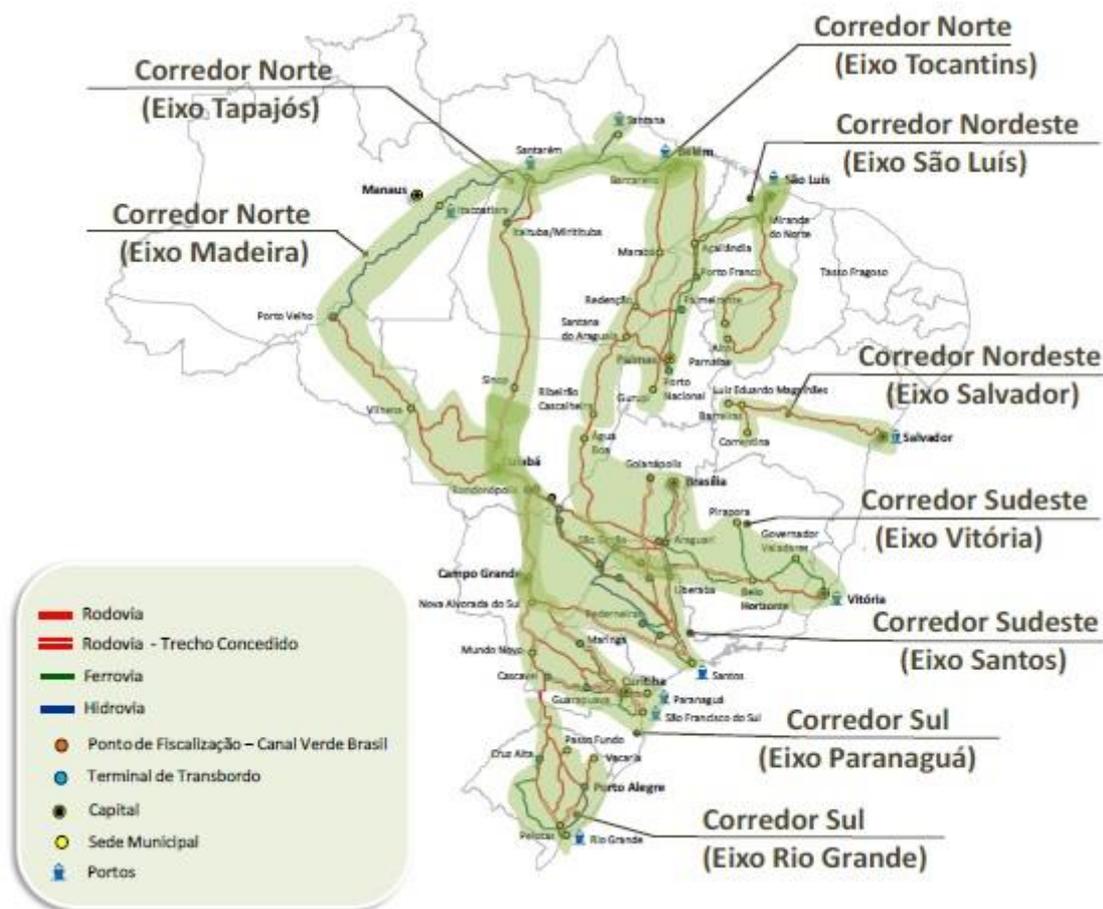


Figura 3: Mapa dos corredores logísticos. (MTPA, 2017).

O Rio Tocantins (MT, 2013) tem 1.555 quilômetros de extensão total, mas a montante de Tucuruí/PA precisa de intervenções que possibilitem a navegação até Peixe/TO (PORTO *et al.*, 2014). A construção da barragem da UHE de Tucuruí, cujo enchimento se deu em 1984, melhorou as condições de navegabilidade entre a foz, na Baía de Marajó, perto de Belém, e Marabá/PA. Entretanto, a montante desse trecho, registra-se o aparecimento de afloramentos rochosos que impedem a navegação comercial nos períodos de estiagem, entre julho e outubro. É o caso do Pedral do Lourenço, que tem 45 quilômetros de extensão. Para resolver o problema, em junho de 2016, o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes contratou projetos e obras para derrocar o pedral (DNIT, 2016). O empreendimento tem previsão de conclusão para 2022, e a retirada das rochas vai abrir um canal de navegação com 140 metros de largura, o que permitirá o tráfego de comboios com dimensões totais de 200m de comprimento por 30m de largura e capacidade unitária de carga de 12.000 toneladas durante todo o ano (DNIT, 2015a).

A BR-153 tem extensão total de 3.566,3 quilômetros e liga Aceguá/RS a Marabá/PA (DNIT, 2015b). No Pará ela tem 152,1 quilômetros de extensão, entre Marabá e a divisa com Tocantins,

em São Geraldo do Araguaia. Em Tocantins, são 673,7 quilômetros desde a cidade de Gurupi até a divisa com o Pará. Neste estudo, será analisada emissão de CO₂ pela frota de veículos de carga circulantes nesse trecho de 825,8 quilômetros. Foram usados os dados do Plano Nacional de Contagem de Tráfego do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes – DNIT, retomado em 2014 pela Autarquia. Desde então, estão vigentes contratos para contagem permanente de tráfego, em que o volume de veículos que passa em determinado ponto da rodovia é contabilizado e classificado (DNIT, 2017).

A escolha dos trechos rodoviário e hidroviário até Marabá/PA se justifica porque o município é um ponto de confluência de diferentes modos de transporte. De lá, a carga pode ser transbordada para o modo ferroviário, pela Norte-Sul, prosseguir pela hidrovía até o porto marítimo de Belém/PA ou seguir pelas rodovias da região para variados destinos, como Belém, Santarém/PA ou o São Luís/MA (MTPA, 2017).

3. EMISSÕES DE CO₂ – ASPECTOS TEÓRICOS

Na presente pesquisa o cálculo da emissão de CO₂ foi feito com base na metodologia do Painel Internacional de Mudanças do Clima (IPCC). Esta é a base metodológica adotada pelo Governo Federal para o SIRENE – Sistema de Registro Nacional de Emissões (MCTIC, 2017). Em outubro de 2017, o Governo Federal publicou decreto que instituiu o SIRENE como instrumento oficial para a disponibilização de resultados de emissões de GEE (BRASIL, 2017).

O IPCC é a principal organização para avaliação das mudanças climáticas. Ele foi estabelecido em 1988 pelo Programa Ambiental das Nações Unidas – UNEP – e pela Organização Mundial de Meteorologia – WMO. O objetivo é dotar o mundo de uma visão científica clara sobre os conhecimentos existentes sobre mudanças no clima e o potencial impacto delas no meio ambiente, na economia e na sociedade. O Brasil é um dos 195 membros do Painel, que conta com a colaboração de milhares de cientistas ao redor do mundo (IPCC, 2017). Em 2009 foi criado o Painel Brasileiro sobre Mudanças no Clima. A iniciativa conta com mais de 300 pesquisadores responsáveis por compilar e analisar toda a produção científica a respeito do assunto (BRASIL, 2014), com o apoio da Rede Brasileira de Pesquisas sobre Mudanças Climáticas Globais, Rede Clima, estabelecida em 2007.

O IPCC estabeleceu diretrizes para inventários de GEE (IPCC, 2006). O relatório traz orientações para compilação de dados nacionais sobre emissões e é estruturado para que qualquer país produza estimativas de emissões e remoções desses gases. É esse o método explorado no estudo de caso do presente trabalho. Na maior parte dos países, os sistemas de energia são orientados para combustíveis fósseis. Durante a combustão, o carbono e o hidrogênio se convertem em dióxido de carbono (CO₂) e água (H₂O), liberando a energia química do combustível em forma de calor. Esse calor é usado para gerar eletricidade ou para o transporte. Em geral, o setor de energia é o que mais emite Gases do Efeito Estufa, e é o responsável por 90% das emissões de CO₂ e 75% de todos os GEE em países desenvolvidos. O setor de transportes, por sua vez, é responsável por um quarto das emissões, e o restante corresponde às atividades da indústria (IPCC, 2006).

4. EMISSÃO DE CO₂ NO CORREDOR NORTE – EIXO TOCANTINS

Para avaliar a emissão de dióxido de carbono no transporte de cargas pela BR-163 foi usado um método em duas etapas: (1) Cálculo de emissão de CO₂ na BR-153/TO, no trecho entre Gurupi/TO e Marabá/PA, ao longo de todo o ano de 2016. (2) Cálculo de emissão anual de CO₂

pelo comboio fluvial que se adapta às dimensões do canal de navegação que o DNIT vai disponibilizar aos usuários após a conclusão das obras de derrocamento do Pedral do Lourenço. A metodologia adotada restringe-se às emissões diretas de CO₂. A escolha se deu porque o cálculo de emissões de dióxido de carbono proveniente da queima de combustíveis fósseis como o diesel, objeto de análise deste trabalho, apresenta-se com o maior nível de confiabilidade entre os gases do efeito estufa, como CH₄ e N₂O, por exemplo (IPCC, 2014). As emissões indiretas, por sua vez, tendem a ser difusas e difíceis de monitorar diretamente (IPCC, 2006).

Com base na metodologia do IPCC (2006), as emissões foram estimadas pela distância percorrida pelos veículos e o combustível consumido por eles, conforme o nível 2 do método. Foram usados dados nacionais específicos para fatores de emissão, de acordo com a idade dos veículos, por meio da Equação 1:

$$\text{ConsumoCombustível} = \sum \text{Veículos} \times \text{Distância} \times \text{Consumo} \quad (1)$$

em que ConsumoCombustível: consumo total estimado de combustível (l)

Veículos: número de veículos

Distância: distância anual percorrida por veículos (km)

Consumo: consumo médio de combustível por veículo (l/km)

Para determinação das emissões de CO₂ foi utilizado o nível 1 do método, que permite usar o fator de emissões, relacionado ao consumo de combustível, por meio da Equação 2:

$$\text{Emissões} = \sum a \left[\text{ConsumoCombustível} \times \left(\frac{\text{FEa}}{1.000.000} \right) \right] \quad (2)$$

em que Emissões: Emissões diretas de CO₂ (t)

ConsumoCombustível: consumo total estimado de combustível (t)

FEa: fator de emissão (g/l) e a: tipo de combustível (diesel)

1.000.000: fator de conversão de g para t.

4.1. Obtenção e tratamento dos dados

Para avaliar a situação do transporte de cargas pela BR-153 foram usados os dados do Plano Nacional de Contagem de Tráfego – PNCT – do DNIT. O PNCT dispõe de três postos de contagem no trecho de 851 quilômetros de extensão da BR-153 que separa Gurupi/TO de Marabá/PA. Foram considerados apenas os caminhões pesados, pois são os comumente utilizados para transporte de granéis agrícolas. Devido ao posicionamento dos contadores, a extensão total da viagem foi dividida em três trechos (Tabela 1):

Tabela 1: Divisão em trechos da BR-153, conforme a posição dos contadores (DNIT, 2017)

Trecho	Início	Fim	Extensão (km)
1	Gurupi/TO	Colinas do Tocantins/TO	432
2	Colinas do Tocantins/TO	Araguaína/TO	115
3	Araguaína/TO	Marabá/PA	304

Divididos os trechos, computou-se a quantidade de caminhões que passaram pelo trecho rodoviário em todo o ano de 2016, a média mensal, os tipos de veículos, de acordo com a quantidade de eixos (6, 7, 8 ou 9) e a carga transportada (Tabela 2).

Tabela 2: Quantidade de veículos e carga transportada pela BR-153 em 2016 (DNIT, 2017)

Trecho	Eixos	Total caminhões/ANO	Carga transportada por ano (t)	Média de caminhões por mês
1	6	110.004	3.520.128	9.167
	7	53.159	1.860.565	4.430
	8	580	21.460	48
	9	31.123	1.618.396	2.594
2	6	103.324	3.306.368	8.610
	7	53.300	1.865.500	4.442
	8	519	19.203	43
	9	34.491	1.793.532	2.874
3	6	106.664	3.413.248	9.167
	7	53.230	1.863.033	4.430
	8	550	20.332	48
	9	32.807	1.705.964	2.594

O passo seguinte foi calcular o número de comboios fluviais necessários para, hipoteticamente, transportar a mesma carga pelo modo hidroviário. A extensão da viagem fluvial de 1.188 quilômetros de extensão do Rio Tocantins também foi dividida em três trechos, e o critério foi a localização de terminais hidroviários previstos para serem construídos (ANTAQ, 2013a). Foram escolhidos os terminais geograficamente paralelos aos pontos de contagem instalados na rodovia (Tabela 3).

Tabela 3: Divisão em trechos do Rio Tocantins. (ANTAQ, 2013a)

Trecho	Início	Fim	Extensão (km)
1	Peixe/TO	Barra do Ouro/TO	670
2	Barra do Ouro/TO	Carolina/MA	140
3	Carolina/MA	Marabá/PA	378

Adaptados os trechos rodoviários aos correspondentes hidroviários, o total de carga transportada em cada trecho rodoviário foi dividida pela capacidade total do comboio, que é de 12 mil toneladas (Tabela 4). Também se calculou a média mensal, assim como foi feito para os veículos rodoviários.

Tabela 4: Quantidade hipotética de comboios fluviais necessária para transportar a carga no trecho hidroviário, durante um ano. Fonte: dados da pesquisa

Trecho	Total de Comboios/Ano	Carga Transportada (t)	Média de comboios/mês
1	585	7.020.549	49
2	582	6.984.603	48
3	584	7.002.577	49

Estabelecidas as quantidades e tipos de veículos em cada trecho e modo de transporte, buscaram-se os consumos médios de combustível e o fator de emissão de CO₂ para cada veículo, dados que foram, posteriormente, aplicados às distâncias percorridas. Os veículos de carga em operação na rodovia atualmente têm consumos diferentes de combustível, e isso foi levado em consideração nos cálculos desta pesquisa. O gasto médio para aqueles fabricados entre 2006 e 2011 é de 0,29 l/km. Já os fabricados entre 2012 e 2017 apresentam média de

consumo menor: 0,27 l/km (MMA, 2013). O consumo de cada comboio fluvial é de 21,647 l/km (EPL, 2017). Os fatores de emissão de CO₂ usados foram os estabelecidos pelo PROCONVE: os caminhões que trafegaram pela BR-153 em 2016, conforme a data de fabricação, enquadram-se nas categorias P5 e P7, cujo fator de emissão de CO₂ é 2,603. Por sua vez, os empurradores fluviais não estão contemplados na tabela do PROCONVE. Entretanto, foi verificado que os equipamentos de propriedade das empresas de navegação autorizadas a operar no transporte longitudinal de carga no Rio Tocantins foram fabricados entre 2013 e 2015 (ANTAQ, 2018b). Considerando que se tratam de motores a diesel, assim como os de veículos rodoviários de carga, foi feito um paralelismo com a tabela do PROCONVE e os comboios fluviais foram enquadrados na categoria P7, cujo fator de emissão de CO₂ é 2,603. Esses dados estão esquematizados na Tabela 5.

Tabela 5: Extensões a percorrer, consumo de combustível dos veículos e Fator de Emissão de CO₂. Fonte: dados da pesquisa

Via de transporte	Extensão (km)	Fase PROCONVE	Consumo médio de combustível (l/km)	Fator de emissão de CO ₂
BR-153	851	P5	0,29	2,603
BR-153	851	P7	0,27	2,603
Rio Tocantins	1.188	P7, por paralelismo.	21,647	2,603

A partir dessas informações, foi calculada a emissão direta de CO₂ total, por todos os veículos, para cada trecho da viagem, de acordo com o modo de transporte escolhido, a distância percorrida, o tipo de veículo e a via (Tabelas 6 e 7).

Tabela 6: Consumo de combustível e emissão de CO₂ por caminhões na BR-153. Fonte: dados da pesquisa

Trecho	Total de Caminhões	Consumo de combustível (l)	Emissão de CO ₂ (t)
1	184.866	23.468.562	61,062
2	191.634	6.143.800	15,993
3	193.341	16.362.116	42,59
Total		45.974.478	119,672

Tabela 7: Consumo de combustível e emissão de CO₂ por comboios no Rio Tocantins. Fonte: dados da pesquisa

Trecho	Total de Comboios	Consumo de combustível (l)	Emissão de CO ₂ (t)
1	585	8.485.205	22,086
2	582	1.763.949	4,591
3	584	4.774.920	12,429
Total		15.024.074	39,107

Observa-se que o modo hidroviário emite uma quantidade significativamente menor de CO₂, em comparação com o modo rodoviário, pois tem capacidade de carga superior, o que implica menos veículos necessários para efetuar o transporte, com redução do gasto de combustível e da emissão de CO₂ em 67,32% (Tabela 8).

Tabela 8: Comparação do gasto de combustível e emissão de CO₂ entre o modo rodoviário e hidroviário no Corredor Norte – Eixo Tocantins. Fonte: dados da pesquisa

Modo de transporte	Consumo total de combustível (l)	Emissão total de CO ₂ (t)	Consumo relativo de combustível (%)	Emissão relativa de CO ₂ (%)
Rodoviário	45.974.478	119,672	100	100
Hidroviário	15.024.074	39,107	32,67	32,67

Enquanto o empurrador do comboio consome 21,671 litros de diesel a cada quilômetro percorrido, o caminhão consome entre 0,27 e 0,29 litro de diesel a cada quilômetro. Entretanto, um só comboio equivale a cerca de 210 caminhões, se considerado o mais pesado, de nove eixos. Se considerado o menor caminhão, de apenas seis eixos, essa relação aumenta: 375 carretas. Destaca-se que este cálculo considera o Peso Bruto Total dos veículos rodoviários, desconsiderando o peso do veículo descarregado. Foram comparadas as emissões de CO₂ para cada tipo de veículo, considerada a tarefa de transportar 12.000 toneladas de soja, capacidade de carga de um único comboio. Para cálculo do consumo de combustível rodoviário, adotou-se a fase mais recente e econômica do PROCONVE (Tabela 9). Foram encontradas diferenças de até 71%.

Tabela 9: Comparação de emissão de CO₂ por tipo de veículo para transporte de 12.000 toneladas de grãos. Fonte: dados da pesquisa

Veículo	Quantidade de veículos necessária	Consumo de combustível (l)	Emissão de CO ₂ (t)	Emissão de CO ₂ relativa (%)
Caminhão 6 eixos	375	86.163,75	0,2242	100
Caminhão 7 eixos	343	78.811,11	0,2051	91
Caminhão 8 eixos	324	74.445,48	0,1937	86
Caminhão 9 eixos	230	52.847,1	0,1375	61
Comboio Tocantins	1	25.745,14	0,067	29

Foi feita outra simulação, para demonstrar a capacidade de emissão de GEE de acordo com os tipos de veículos. Desta vez, os cálculos visaram investigar quanto CO₂ seria emitido se apenas um tipo de veículo fosse levar toda a carga transportada naquele trecho. As diferenças encontradas chegaram a 74% (Tabela 10). Ressalta-se que os trechos foram agrupados para facilitar a compreensão, mas o trecho hidroviário tem quilometragens diferentes do rodoviário, pois a viagem pelo Rio Tocantins é mais longa do que a viagem pela BR-153.

Tabela 10: Comparação de emissão de CO₂ para transporte da carga total transportada, separada por trecho e tipo de veículo. Fonte: dados da pesquisa

Trecho	Veículo	Carga transportada (t)	Capacidade unitária (t)	Quantidade de veículos	Consumo de combustível (l)	Emissão de CO ₂ (t)	Emissão de CO ₂ relativa (%)
1	Caminhão 6 eixos	7.020.549	32	219.392	25.589.882,88	66,61	100
	Caminhão 7 eixos	7.020.549	35	200.587	23.396.467,68	60,90	91
	Caminhão 8 eixos	7.020.549	37	189.745	22.131.856,80	57,60	86
	Caminhão 9 eixos	7.020.549	52	135.011	15.747.683,04	40,99	61
	Comboio Tocantins	7.020.549	12.000	585	8.485.205,00	22,08	33
2	Caminhão 6 eixos	6.984.603	32	218.269	6.777.252,45	17,64	100
	Caminhão 7 eixos	6.984.603	35	199.560	6.196.338,00	16,12	91
	Caminhão 8 eixos	6.984.603	37	188.773	5.861.401,65	15,25	86
	Caminhão 9 eixos	6.984.603	52	134.319	4.170.604,95	10,85	61
	Comboio Tocantins	6.984.603	12.000	582	1.763.949,00	4,59	26
3	Caminhão 6 eixos	7.002.577	32	218.831	17.961.648,48	46,75	100
	Caminhão 7 eixos	7.002.577	35	200.074	16.422.073,92	42,74	91
	Caminhão 8 eixos	7.002.577	37	189.259	15.534.378,72	40,43	86
	Caminhão 9 eixos	7.002.577	52	134.665	11.053.303,20	28,77	61
	Comboio Tocantins	7.002.577	12.000	584	4.774.920,00	12,42	26

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo do caso do Corredor Norte – Eixo Tocantins demonstrou que a variável ambiental deve ser tomada como parâmetro para o desenvolvimento do Transporte Hidroviário Interior no Brasil. Para a carga total transportada, o modo hidroviário mostrou-se capaz de emitir 67,32% menos CO₂ do que o modo rodoviário. As diferenças entre os custos financeiros entre os modos foram estimadas em outros estudos: na região considerada no presente artigo, para grânéis sólidos agrícolas, estima-se o frete rodoviário em R\$ 0,102 por t/km, e o frete hidroviário é mais barato: está estimado em R\$ 0,042 (ANTAQ, 2013b). Ampliar a participação das hidrovias na matriz de transporte brasileira, além de reduzir o custo financeiro, pode reduzir o custo ambiental do frete. Ressalta-se, porém, que o modo hidroviário tem suas limitações: o tempo de viagem é significativamente maior, pois uma viagem entre os 1.188 quilômetros de rio que separam Gurupi/TO de Marabá/PA pode levar cerca de 110 horas, considerada a velocidade média de 11 km/h desenvolvida pelo comboio carregado (EPL, 2017). Por isso as hidrovias são adequadas apenas a cargas não-perecíveis de grande volume. Um caminhão, em contrapartida, pode desenvolver velocidades de até 80 km/h, e enfatiza-se que o trecho rodoviário estudado no presente artigo é mais curto, com apenas 851 quilômetros. Como recomendação para estudos futuros propõe-se o acompanhamento das condições reais da operação comercial da hidrovia, após o término das obras de derrocamento do Pedral do

Lourenço. Só então será possível verificar se as previsões de atratividade de cargas do Rio Tocantins do Ministério dos Transportes (2013) serão confirmadas, e qual será a real redução de emissão de CO₂ com o uso da hidrovía.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANTAQ (2013a). Estudo de Macrolocalização de Terminais Hidroviários no Brasil. *Plano Nacional de Integração Hidroviária*. Disponível em: <http://web.antaq.gov.br/Portal/PNIH/PropostaMacrolocalizacaoTerminais2.pdf>, acesso em 30 jun. 2018.
- ANTAQ (2013b). Relatório técnico Bacia Tocantins-Araguaia. Plano Nacional de Integração Hidroviária. Disponível em: <http://web.antaq.gov.br/Portal/PNIH/RTBaciaTocantinsAraguaia.pdf>, acesso em 30 jun. 2018.
- ANTAQ (2018a). *Anuário Estatístico*. Disponível em: <http://web.antaq.gov.br/Anuario/>. Acesso em 30 jun. 2018.
- ANTAQ (2018b). *Navegação interior* – frota por empresa. Disponível em: <http://web.antaq.gov.br/Portal/Frota/ConsultarFrotaPorEmpresa.aspx?tipoNav=interior>, acesso em 30 jun. 2018.
- BARROS, B.R.C., BULHÕES, E.C., QUIRINO, M.G. (2017). Proposta de modelo de avaliação de hidrovias para escoamento da produção pelo Arco Norte sob a ótica da metodologia multicritério de apoio à decisão construtivista. XXXI Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes. *Anais...* Rio de Janeiro: Anpet, 2017.
- BRASIL (2017). *Decreto nº 9.172*, de 17 de outubro de 2017.
- CNT (2017). Evolução da frota de caminhão com placa por região e unidade da federação 2002-2016. *Anuário CNT do Transporte* – estatísticas consolidadas. Disponível em: <http://anuariodotransporte.cnt.org.br/2017/Rodoviario/1-4-2-1-1-/Frota>, acesso em 30 jun. 2018.
- CONAB (2017). *Grãos – série histórica*. Disponível em: <https://portaldeinformacoes.conab.gov.br/index.php/safra-serie-historica-dashboard>, acesso em 30 jun. 2018.
- _____. (2017a). *Acompanhamento da safra brasileira de grãos*. V.4 – Safra 2016/2017, n. 12. Brasília: CONAB. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safra-graos/boletim-da-safra-de-graos?limitstart=0>, acesso em 30 jun. 2018.
- DNIT (2017). *Plano Nacional de Contagem de Tráfego*. Disponível em: <http://servicos.dnit.gov.br/dadospnt/Inicio/institucional>, acesso em 30 jun. 2018.
- _____. (2016). *Governo Federal assina contrato para estudos e remoção do Pedral do Lourenço*. Disponível em: <http://www.dnit.gov.br/noticias/governo-federal-assina-contrato-para-estudos-e-remocao-do-pedral-do-lourenco>, acesso em 30 jun. 2018.
- _____. (2015a). *Anteprojeto do derrocamento – Hidrovia do Tocantins*. Disponível em: http://www1.dnit.gov.br/anexo/Anexo/Anexo_0048_16-00_0.pdf, acesso em 30 jun. 2018.
- _____. (2015b). *Nomenclatura das rodovias federais – rodovias longitudinais*. Disponível em: <http://www.dnit.gov.br/download/rodovias/rodovias-federais-nomenclatura-das-rodovias-federais-rodovias-longitudinais.pdf>, acesso em 30 jun. 2018.
- EPL (2017). *Estudo dos custos de transporte hidroviário no Brasil* – elaboração de ferramenta de simulação. Disponível em <https://www.epl.gov.br/frete/source/data/coastal-waterways.xlsx>, acesso em 30 jun 2018.
- IPCC (2006). *Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*. Vol. 2 – Energy. Japão: IGES. Disponível em: http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/2_Volume2/V2_1_Ch1_Introduction.pdf, acesso em 30 jun. 2018.
- IPCC (2014). *Climate Change 2014 Synthesis Report*. Disponível em: https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/AR5_SYR_FINAL_All_Topics.pdf, acesso em 30 jun. 2018.
- IPCC (2017). Intergovernmental panel on climate change – Organization. *Site oficial*. Disponível em <http://www.ipcc.ch/organization/organization.shtml>, acesso em 30 jun. 2018.
- MCTIC (2017). *Trajetórias de mitigação e instrumentos de políticas públicas para alcance das metas brasileiras no Acordo de Paris*. Disponível em: http://sirene.mcti.gov.br/documents/1686653/2098519/Contribuic%CC%A7a%CC%83o+MCTIC+II_ND_C_1.pdf/8db5a027-ccd3-4f1c-af01-23dacbd6d6a9, acesso em 30 jun. 2018.
- MMA (2013). *Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários 2013 – Ano Base 2012 - Relatório Final*. Disponível em: http://www.mma.gov.br/images/arquivo/80060/Inventario_de_Emissoes_por_Veiculos_Rodoviaros_2013.pdf, acesso em 30 jun. 2018.
- MT (2011). *Plano Nacional de Logística de Transportes*. Disponível em: <http://www2.transportes.gov.br/bit/01-inicial/pnlnt.html>, acesso em 30 jun. 2018.
- _____. (2013). *Plano Hidroviário Estratégico* – Relatório de diagnóstico e avaliação. Disponível em:

http://www.transportes.gov.br/images/TRANSPORTE_HIDROVIARIO/PHE/DIAGNOSTICO_AVALI_ACAO.pdf , acesso em 30 jun. 2018.

MTPA (2017). *Corredores logísticos estratégicos*. Vol. I – Complexo Soja e Milho. Brasília: Ministério dos Transportes, Portos e Aviação Civil. Disponível em: http://portaldaestrategia.transportes.gov.br/images/Artigos/Relatorio_CorredoresLog%C3%ADsticos_SojaMilho_V1.1.pdf, acesso em 30 jun. 2018.

PORTO, C.M., ARAGÃO, J.J.G., MATIAS, M.C. e YAMASHITA, Y. (2014). Avaliação do Investimento Público para a Hidrovia Tocantins-Araguaia e a sua integração espacial. In: XXIX Congresso Nacional de Pesquisa e Ensino em Transportes (XXIX Anpet). *Anais...* Rio de Janeiro: ANPET, 2014. pp. 2141-2152.

Bruna Renata Cavalcante de Barros (buru.renata@gmail.com)

Eliezé Bulhões de Carvalho (eliezec@gmail.com)

Wesley Cândido de Melo (wesleycandido@gmail.com)

Elayne Barbosa dos Santos (bselayne@gmail.com)

Augusto César de Mendonça Brasil (ambrasil@unb.br)

Diretoria de Infraestrutura Aquaviária, Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
SAN Quadra 3, Lote A, Edifício Núcleo dos Transportes – Brasília, DF, Brasil