

OTIMIZAÇÃO DE EMISSÕES NA LOGÍSTICA DA SOJA NA AMAZÔNIA

Harlenn dos Santos Lopes – harlenn@ufpa.br
Renato da Silva Lima – rslima@unifei.edu.br
Guilherme dos Santos Lucca – delucca1717@gmail.com

Palavras-chave: Emissões, Sustentabilidade, Amazônia, Logística, Soja

1. INTRODUÇÃO

O Brasil é o maior produtor e exportador de soja mundial. A busca pela competitividade vem direcionando novas alternativas logísticas no país, utilizando os portos da Amazônia para exportação, dada a menor distância marítima aos mercados consumidores. Essa expansão é economicamente relevante, porém traz consigo desafios ambientais significativos, como o desmatamento e o aumento das emissões de gases de efeito estufa (GEE) (Barona et al., 2010). Essa expansão é economicamente relevante, porém traz consigo desafios ambientais significativos, como o aumento das emissões de gases de efeito estufa (GEE) contribuindo para a poluição atmosférica e aumentando a vulnerabilidade das populações às mudanças climáticas (SEEG, 2024).

Em resposta à urgência de um desenvolvimento global mais sustentável, a Organização das Nações Unidas (ONU) estabeleceu 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) em 2015 (ONU BRASIL, 2025). No contexto brasileiro, a cadeia produtiva da soja tem um papel fundamental na mitigação dos impactos ambientais, exigindo soluções que harmonizem o crescimento agrícola com a preservação dos recursos naturais (Silva Junior et al., 2021). A emissão de GEE pelos modais de transporte na cadeia de distribuição para exportação é uma das principais problemáticas ambientais.

Visando a redução das emissões de GEE e alinhamento aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) estabelecidos pela Organização das Nações

Unidas – ONU (ONU BRASIL, 2025), esta pesquisa utilizou um modelo de otimização para comparar rotas alternativas da exportação de soja na Amazônia.

O modelo alinha-se ao ODS 3, 7 e 13, ao propor soluções para melhorar a sustentabilidade logística na Amazônia, buscando cenários com menor impacto ambiental. Plaza et al. (2020) mostraram que a economia pode ser estendida do nível econômico para o ambiental pela redução das emissões, atingindo metas estabelecidas em acordos internacionais, reforçando ainda mais o alinhamento da gestão de transportes aos ODS.

2. METODOLOGIA

No modelo, estruturaram-se 10 rotas uni e multimodais, com coeficientes de emissão de CO₂ por modal. As rotas têm como destinos quatro portos da Amazônia — Itacoatiara (ITA), Santarém (STM), Barcarena (BAR) e Itaqui (ITQ). As origens são as microrregiões (MCR) dos estados amazônicos. A base de produção é a Safra 2023 (IBGE, 2023). Os fatores de emissão de GEE seguem Mathers et al. (2019). O modelo é baseado no problema de transporte e seu objetivo é minimizar as emissões totais de CO₂ nas rotas. O modelo de otimização proposto está descrito nas Equações 1 a 4.

$$\text{Min } Z = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n [(c_{ij}d_{ij})] \cdot x_{i,j} \quad (1)$$

Composição de Custos:

$$C_{ij} = C_r + C_f + C_h \quad (2)$$

Sujeito às restrições:

Capacidade dos Portos

$$\sum_{i=1}^m x_{i,j} \leq J_j, \text{ para } j = 1, \dots, n \quad (3)$$

Oferta e demanda

$$\sum_{j=1}^n x_{i,j} = a_i, \text{ para } i = 1, \dots, m \quad (4)$$

Onde:

m : número de origens produtoras de soja;

n : número de portos exportadores ou pontos de transbordo;

J_j : capacidade do porto exportador j ;

a_i : quantidade ofertada em cada origem i ;

c_{ij} : custo ambiental da movimentação logística entre a origem i até o porto exportador j ;

d_{ij} : distância entre a origem i até o porto exportador j ; x_{ij} : quantidade transportada da origem i até porto exportador j ;

Z : custo total de emissão de CO₂ do transporte.

Elaboraram-se 14 cenários considerando a demanda de 2023 e projeção para 2034 (MAPA, 2024). Em parte deles, avaliou-se a adoção do B15 (15% biodiesel e 85% diesel mineral) na frota rodoviária, assumindo redução estimada de 15% nas emissões de CO₂ (MME, 2019).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

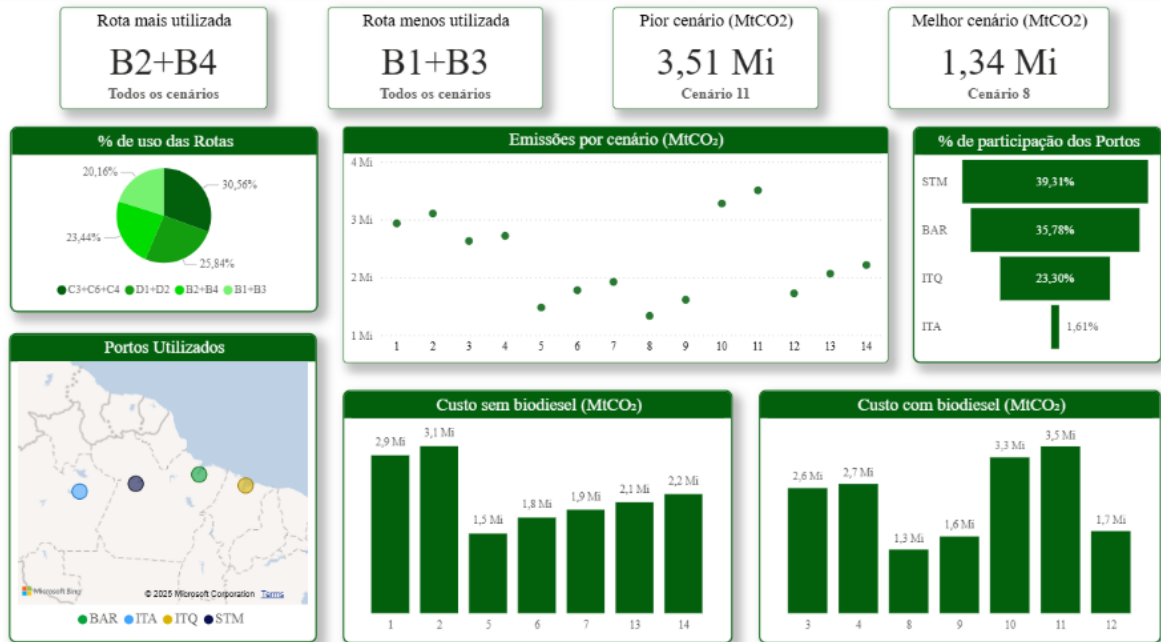
Um *dashboard* com os principais resultados obtidos após geração dos 14 cenários comparativos do modelo é apresentado na Figura 1.

Figura 1 Principais resultados após implementação dos cenários comparativos.



IEPG SUMMIT'25

Pensando o futuro com inteligência
artificial e consciência social



A Figura 1 indica B2+B4 (ferrovia e hidrovía, ainda em projeção) como rota mais utilizada seguida por C3+C4+C6 (trecho da Ferrovia Norte-Sul), bem como a relevância do Porto de Santarém e da ETC de Miritituba como nós estratégicos. No painel “Emissões por cenário (MtCO₂)”, o pior desempenho ocorre em C11 (3,51 Mi) e o melhor em C8 (1,34 Mi). No recorte por portos, as participações consolidadas são: STM 39,31%, BAR 35,78%, ITQ 23,30% e ITA 1,61%.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados indicam que a multimodalidade e a introdução de novos projetos logísticos são determinantes para a sustentabilidade do escoamento: a ampliação isolada de capacidade portuária não foi suficiente para reduzir emissões, e a configuração vigente permanece intensiva em carbono, demandando reestruturação da matriz de transporte. Em contraste, a combinação de infraestrutura multimodal com adoção do B15 posiciona os Cenários 8 e 12 como os de melhor desempenho ambiental no conjunto analisado. Ademais, mesmo sem a implementação ainda das rotas projetadas, a reconfiguração dos fluxos priorizando destinos multimodais — especialmente Barcarena, Itaquí e Santos — já proporciona reduções adicionais de emissões.

AGRADECIMENTOS

Ao CNPq, FAPEMIG e FAPESPA pelo apoio financeiro concedido ao desenvolvimento deste trabalho.

REFERÊNCIAS

BARONA, E.; RAMANKUTTY, N.; HYMAN, G.; COOMES, O. (2010) The role of pasture and soybean in deforestation of the Brazilian Amazon. *Environmental Research Letters*, v. 5, p. 2–10 DOI: 10.1088/1748-9326/5/2/024002

IBGE (2025) INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/9117-producao-agricola-municipal-culturas-temporarias-e-permanentes.html?=&t=resultados>>. Acesso em: 19 jun. 2025.

MAPA (2024). MINISTÉRIO DA AGRICULTURA E PECUÁRIA. Projeções do Agronegócio. Brasil 2023/24 a 2033/34. Projeções de longo prazo. Brasília, 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/politica-agricola/todas-publicacoes-de-politica-agricola/projecoes-do-agronegocio/projecoes-do-agronegocio-2022-2023-a-2032-2033.pdf>. (Acesso em: 31/03/2025).

MATHERS, J.; CRAFT, E.; NORSWORTHY, M.; WOLFE, C. (2019) The Green Freight Handbook A Practical Guide for Developing a Sustainable Freight Transportation Strategy for Business. Environmental Defense Fund. Disponível em: <https://netzeroaction.org/app/uploads/2023/07/EDF-Green-Freight-Handbook-1.pdf> (Acesso em: 06/06/2025).

MME (2019) Ministério de Minas e Energia. Relatório de consolidação dos testes e ensaios para validação da utilização de Biodiesel B15 em motores e veículos. 2019. Brasília. Disponível em: https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/secretarias/petroleo-gas-natural-e-bicombustiveis/biodiesel/documentos/relatorios-de-aprovacao-dob15/copy_of_Relatriodeconsolidaodostestese.pdf (Acesso em 30/05/2025).

ONU BRASIL (2025). Objetivos de Desenvolvimento Sustentável. Disponível em: <<https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>>. (Acesso em: 29/04/2025).

SALIN, D. (2024) Soybean Transportation Guide. Brazil 2024. U. S. Department of Agriculture, Agricultural Marketing Service. Web. <http://dx.doi.org/10.9752/TS048.09-2024>

SEEG (2023) Sistema de Estimativas Emissões e Remoções de Gases Efeito Estufa. Observatório do Clima. Análise das emissões de gases de efeito estufa e suas implicações para as metas climáticas do Brasil 1970-2021. Observatório do clima. Disponível em:



IEPG **SUMMIT'25**

*Pensando o futuro com inteligência
artificial e consciência social*

<https://www.climatewatchdata.org/ghg-emissions?end_year=2021&start_year=1990>.

(Acesso em 28/04/2025).



Inatel

