

EMISSÃO DE CO₂ E QUOCIENTE DE IMPACTO AMBIENTAL COMO INDICADORES DE SUSTENTABILIDADE EM LAVOURAS DE ARROZ IRRIGADO

Bruna Pinto Ramos¹, Camille Flores Soares², Paula de Souza Cardoso³, Alencar Junior Zanon⁴, Enzo Pilecco Sonego⁵, Marcos Dalla Nora⁵

Palavras-chave: *Oryza sativa*, carbono, produção sustentável.

INTRODUÇÃO

O arroz é fonte de proteína, vitamina e carboidratos, desempenhando papel estratégico tanto no aspecto de valor econômico, quanto no social por apresentar maior potencial no combate à fome no mundo, através da sua ampla adaptabilidade a diferentes condições de solo, clima e manejo (SILVA; WANDER, 2014). A taxa de crescimento da população mundial é motivo de preocupação quanto à segurança alimentar, tendo em vista que se estima o número de 10 bilhões de habitantes até o ano de 2050 (UNITED NATION POPULATION DIVISION, 2021). Nesse cenário, busca-se uma maneira de aumentar a produção de forma vertical, ou seja, com a conservação do meio ambiente e da biodiversidade (IPCC, 2021).

No entanto, a produtividade média atual na cultura do arroz no Sul do Brasil é de 8.1 Mg ha⁻¹ e a produtividade potencial de 14.8 Mg ha⁻¹ (RIBAS et al., 2021) apresentando uma lacuna de produtividade de 3.7 Mg ha⁻¹. A produtividade potencial é definida pela concentração de CO₂ na atmosfera, temperatura, radiação e genética. Diante disso, devido a importância do arroz em atender metas globais de segurança alimentar, estudos baseados em eficiência no uso de recursos e indicadores de sustentabilidade são necessários para identificar vantagens e desvantagens das estratégias de gestão em distintos contextos de produção (STUART et al., 2018).

Assim sendo, a literatura cita a utilização de indicadores de sustentabilidade para essa classificação. Logo, este estudo tem como objetivo analisar 9 ambientes de produção a fim de classificar e desenvolver indicadores de sustentabilidade para caracterizar as lavouras utilizando os índices de emissão de carbono (CO₂ eq.) e quociente de impacto ambiental (QIA) de pesticidas.

MATERIAL E MÉTODOS

Durante a safra 2021/2022, nove lavouras comerciais de arroz no Sul do Brasil foram acompanhadas da semeadura até a colheita com coleta de dados de práticas de manejo e insumos utilizados, como fertilizantes, sementes, pesticidas e diesel, utilizados durante o ciclo da cultura. A fim de relacionar diferentes indicadores de sustentabilidade, realizou-se estimativa do potencial de produtividade das lavouras através de modelo matemático Simularroz, baseado em processos e desenvolvido para simular o crescimento, desenvolvimento e produtividade do arroz (STRECK et al., 2013).

Para realizar a conversão das quantidades dos insumos utilizados em CO₂ eq., empregou-se a metodologia descrita na Tabela 1. A estimativa do quociente de impacto ambiental (QIA) de herbicidas, fungicidas e inseticidas, realizou-se conforme Kovach et al. (1992), o qual considerou três componentes de classificação dos ingredientes ativos: aplicador (*farmworker*), consumidor e ecológico, além de considerar a dose utilizada no campo e a concentração do ingrediente ativo.

¹ Acadêmica de Agronomia, Universidade Federal de Santa Maria, Av. Roraima nº 1000, Bairro Camobi, CEP 97105-900. E-mail: brunapr.amos@hotmail.com

² Eng. Agr. Doutoranda em Agronomia, UFSM. E-mail: camille-flores@hotmail.com

³ Eng. agr. Doutoranda em Eng. Agrícola, UFSM. E-mail: paulasouza_1993@hotmail.com

⁴ Eng. Agr. Prof. Dr. do Departamento de Fitotecnia, UFSM. E-mail: alencarzanon@hotmail.com

⁵ Acadêmico do curso de Agronomia, UFSM. E-mail: enzopil@gmail.com

⁵ Acadêmico do curso de Agronomia, UFSM. E-mail: marcosdallanora7@gmail.com

Em adição, ressalta-se que cada produto têm um determinado quociente de impacto ambiental, ou seja, mesmo utilizado com uma dose baixa o QIA pode ser muito alto devido seu princípio ativo.

Tabela 1. Fatores de conversão utilizados para estimar a emissão de CO₂ eq. a partir de insumos utilizados na lavoura de arroz.

Conversion factors for energy consumption and CO₂ equivalents

Table S1. Energy conversion factors and estimated CO₂ equivalents (CO₂e) per unit of input used in the analysis.

| Input | Energy | | | CO ₂ | | |
|------------------|----------------------------------|-----------------------|------|----------------------------------|--------------------------------------|------|
| | Unit | MJ unit ⁻¹ | Ref. | Unit | CO ₂ e unit ⁻¹ | Ref. |
| Diesel | L | 47.7 | a | L | 3.2 | b |
| Electricity | kWh | 9.4 | b | kWh | 0.6 | b |
| Nitrogen | kg N | 63.5 | a | kg N | 4.52/5.0* | c |
| Phosphorus | kg P ₂ O ₅ | 13.95 | a | kg P ₂ O ₅ | 1.77 | c |
| Potassium | kg K ₂ O | 6.69 | a | kg K ₂ O | 0.69 | c |
| Herbicide | kg | 303.8 | a | MJ | 0.069 | d |
| Insecticide | kg | 418.4 | a | MJ | 0.069 | d |
| Fungicide | kg | 115 | a | MJ | 0.069 | d |
| Seed | kg | 15.5 | a | kg | 0.7 | b |
| Rice grain yield | kg | 15.2 | a | n/a | n/a | n/a |

(a) Quilty, J.R., McKinley, J., Pede, V.O., Buresh, R.J., Correa, T.Q., Sandro, J.M., 2014. Energy efficiency of rice production in farmers' fields and intensively cropped research fields in the Philippines. *Field Crops Res.* 168, 8-18.

(b) Grassini, P., Cassman, K.G., 2012. High-yield maize with large net energy yield and small global warming intensity. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 109, 1074-1079.

(c) Kool, A., Marinussen, M., Blonk, H., 2012. LCI data for the calculation tool Feedprint for greenhouse gas emissions of feed production and utilization: GHG Emissions of N, P and K fertilizer production. Blonk Consultants, Gouda, the Netherlands.

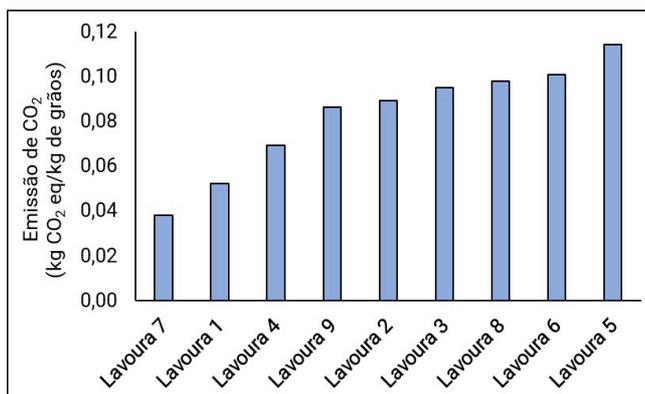
(d) Audsley, E., Stacey, K., Parsons, D.J., Williams, A.G., 2009. Estimation of the Greenhouse Gas Emissions from Agricultural Pesticide Manufacture and Use. Cranfield University, 20pp.

* 4.52 kg CO₂e/kg N in DAP for basal fertilization and 5.0 kg CO₂e/kg N in urea as topdress N

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Tendo em vista que, os agroecossistemas podem atuar como dreno de carbono, mitigando as emissões de gases do efeito estufa ao sequestrar o CO₂ da atmosfera para as plantas e solo (LAL, 2004; JIANG et al., 2019), destaca-se a lavoura 7 que utilizou adubação orgânica (Figura 1). Além de atingir 70% do seu potencial produtivo, valor considerado economicamente sustentável (LOBELL et al., 2009), o impacto ambiental foi 63% menor do que a lavoura 5, a qual alcançou o mesmo potencial, porém utilizou fertilizante mineral. As lavouras 1 e 4 pelas altas produtividades, alcançando 85% do seu potencial a partir de intensificação sustentável (Figura 2), se destacam pela baixa emissão de CO₂ eq., pois a emissão é diluída pela alta produção de grãos. Os resultados observados corroboram com Tseng et al. (2020), onde a intensificação sustentável reduziu em 17% a emissão de CO₂ por kilo produzido em lavouras de arroz irrigado no Uruguai.

Figura 1. Emissão de CO₂ produzido em 9 de arroz na safra



CO₂ por kilo de arroz sistemas produtivos 2021/22.

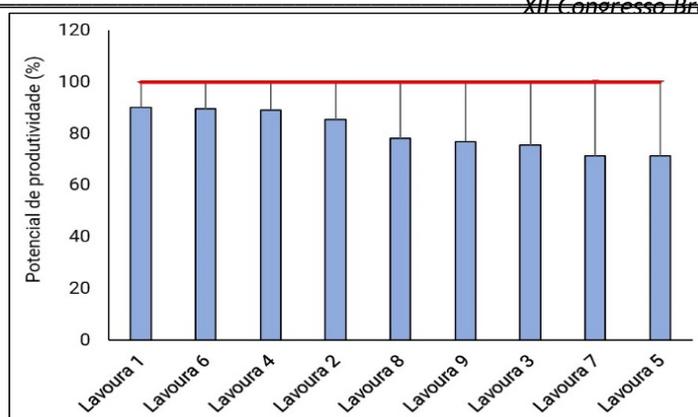


Figura 2. Potencial de produtividade e eficiência produtiva de lavouras de arroz estimadas através do modelo SimulArroz para a safra 2021/2022.

Em relação ao quociente de impacto ambiental (Figura 3) observa-se que os maiores valores são de herbicida, devido à quantidade de produtos e vezes que são aplicados, em relação aos demais. A lavoura 3 destaca-se pelo alto quociente também de fungicida, não pela quantidade de produto ou vezes aplicado, mas sim pelo quociente isolado do ingrediente ativo mancozebe. Gaona et al. (2019) e Arora et al. (2019) já utilizam o QIA para classificar o impacto que as lavouras ocasionam ao ambiente, na Argentina e na Índia, respectivamente. Nesse sentido, este critério se mostra uma boa ferramenta e de fácil acesso para classificar o impacto e a sustentabilidade das lavouras de arroz no Sul do Brasil.

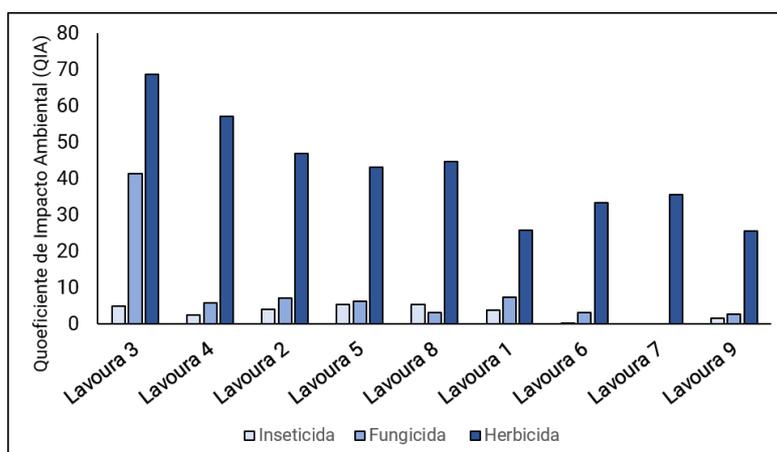


Figura 3. Quociente de impacto ambiental de herbicidas, inseticidas e fungicidas utilizados em lavouras de arroz irrigado na safra 2021/22.

CONCLUSÃO

A emissão de CO₂ eq. e o quociente de impacto ambiental de pesticidas, podem ser utilizados como indicadores para classificar a sustentabilidade de lavouras de arroz irrigado.

AGRADECIMENTOS

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior pela bolsa de doutorado do segundo autor, ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico pela bolsa de produtividade em pesquisa do quarto autor.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARORA, Sumitra et al. Rice pest management with reduced risk pesticides in India. **Environmental monitoring and assessment**, v. 191, n. 4, p. 1-20, 2019.

GAONA, L. et al. Estimating the risk of groundwater contamination and environmental impact of pesticides in an agricultural basin in Argentina. **International Journal of Environmental Science and Technology**, v. 16, n. 11, p. 6657-6670, 2019.

IPCC. Climate Change: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. **Cambridge University Press**, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, p. 1535, 2021.

JIANG, Z. et al. Effect of nitrogen fertilizer rates on carbon footprint and ecosystem service of carbon sequestration in rice production. **Science of the Total Environment**, v. 670, 210-21, 2019.

KOVACH, J. et al. **A method to measure the environmental impact of pesticides**, 1992.

LAL, R. Carbon emission from farm operations. **Environment International**, v. 20, 981-990, 2004.

RIBAS, G. G. et al. Assessing factors related to yield gaps in flooded rice in southern Brazil. **Agronomy Journal**, v. 113, n. 4, p. 3341-3350, 2021.

SILVA, O. F. da; WANDER, A. E. **O arroz no Brasil : evidências do censo agropecuário 2006 e anos posteriores**. Santo Antônio de Goiás : Embrapa.Arroz e Feijão, 2014. 58 p. (Embrapa Arroz e Feijão. Documentos, 299).

STRECK, N. A. et al. SimulArroz: um aplicativo para estimar a produtividade de arroz no Rio Grande do Sul. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO**, 8., 2013, Santa Maria. Anais... Santa Maria/RS: SOSBAI, 2013. p.1618-1627.

STUART, A. M. et al. On-farm assessment of different rice crop management practices in the Mekong Delta, Vietnam, using sustainability performance indicators. **Field Crops Research**, v. 229, 103-114, 2018.

TSENG, Meng-Chun et al. Towards actionable research frameworks for sustainable intensification in high-yielding rice systems. **Scientific reports**, v. 10, n. 1, p. 1-13, 2020.

UNITED NATIONS. **World Population Prospects 2019**. Disponível em: <https://population.un.org/wpp/Graphs/Probabilistic/POP/TOT/900>. Acesso em: 19 jun. 2022.