

ESTIMATIVA DOS GASES DE EFEITO ESTUFA DO CULTIVO DA SOJA EM UMA LOCALIDADE EM CAÇAPAVA DO SUL-RS

Pedro Daniel da Cunha Kemerich (Docente, UNIPAMPA); eng.kemerich@yahoo.com.br

**Ana Rafaela Freitas Dotto (Discente de Engenharia Ambiental e Sanitária, UNIPAMPA);
anarafaelad@gmail.com**

Mateus Guimarães da Silva (Docente, UNIPAMPA); guimaraesmateus@hotmail.com

Resumo: O crescimento da população mundial tem influenciado o aumento significativo da produção de soja. Essa produção acaba por ocasionar diversos impactos sociais e ambientais, principalmente relacionados ao aquecimento global, se fazendo necessária a busca por metodologias que auxiliem na identificação e contabilização dos mesmos. A avaliação do ciclo de vida é uma ferramenta estratégica de gestão ambiental que contabiliza as emissões por fontes específicas em determinadas áreas geográficas. Neste trabalho foram identificadas e quantificadas as principais etapas e os insumos presentes no cultivo da soja em uma propriedade do município de Caçapava do Sul, para que fosse possível estimar as emissões dos gases de efeito estufa. Concluiu-se que o cultivo de soja contribui para o impacto de aquecimento global, com o valor igual a 0,56 kg CO_{2eq}/kg soja colhida, sendo que as principais fontes de emissão são derivadas da aplicação do calcário no solo e produção dos insumos, especialmente dos herbicidas.

Palavras-chave: agricultura, mudanças climáticas, fatores de emissão.

ESTIMATION OF GREENHOUSE GASES OF SOYBEAN CULTIVATION IN A LOCALITY IN THE CITY OF CAÇAPAVA DO SUL-RS

Abstract: The world population growth has influenced the significant increase in soybean production. This production results in several social and environmental impacts, mainly related to global warming, being necessary to make a research by methodologies that help in the identification and accounting of them. The life cycle assessment is a strategic environmental management tool that accounts for emissions by specific sources in geographic areas. In this work, it was identified and quantified the main stages and the inputs

present in the soybean cultivation in a locality in the city of Caçapava do Sul, so that it was possible to estimate the emissions of greenhouse gases. It was concluded that the cultivation of soybean is relevant to the impact of global warming, with the value equal to 0,56 kgCO_{2eq}/kg soybean harvested, being that the main sources of emission are derived from the application of limestone in the soil and production of inputs, especially the herbicides.

Keywords: agriculture, climatechange, emissionfactors.

1. INTRODUÇÃO

A agricultura é um dos setores que mais crescem no Brasil devido ao aumento populacional mundial e a necessidade de produção e exportação de alimentos, porém esse acréscimo é uma das principais questões que ocupam as preocupações no século XXI (FREITAS; MENDONÇA, 2016). Entre as commodities agrícolas, a soja (*Glycine max*) é a principal oleaginosa cultivada no mundo devido ao seu alto valor proteico, muito relevante na alimentação humana e de animais criados para o abate. Além disso, o Brasil possui a segunda maior produção e área plantada dessa commodity, atrás apenas dos EUA (CARVALHO, 2012).

A soja é produzida em um sistema de agricultura moderna industrial, fundamentado no uso de energia fóssil, insumos industriais, fertilizantes químicos, agrotóxicos, mecanização, pouca mão-de-obra, variedades geneticamente modificadas de alto potencial produtivo além de muitos outros recursos não renováveis. Esse modelo agrícola chama a atenção para impactos ambientais associados ao seu cultivo, trazendo relevância para a aplicação de metodologias de avaliação de desempenho ambiental de sua cadeia produtiva (GRILLO et al, 2016).

Dentre os problemas associados à produção da soja, estão as emissões atmosféricas de origem antrópica, onde os gases relacionados a essas emissões são gerados em importantes etapas do cultivo. O uso de fertilizantes nitrogenados e o consumo de combustíveis fósseis são alguns exemplos de fontes de emissões de gases de efeito estufa (GEE), sendo que os principais são o metano (CH₄), dióxido de carbono (CO₂) e óxido nitroso (N₂O). Estima-se que o setor agrícola contribua com 20% do aumento do poder radioativo global, ocasionando em um acréscimo na concentração dos GEE na atmosfera e causando assim, um aquecimento além do natural (IPCC, 2006). Esses GEE têm a propriedade de reter uma parte da radiação solar que é transformada em radiação

infravermelha (calor) na superfície do planeta. Assim, parte do calor fica retida entre atmosfera e a superfície, o que tem provocado um aumento da temperatura média do planeta, levando a mudanças no clima (IPCC, 2007). As mudanças climáticas ocasionam severas consequências para os seres vivos, sendo assim necessária a busca por ferramentas, como o inventário de emissões, que sejam capazes de identificar, quantificar e qualificar as emissões provenientes de fontes específicas em determinadas áreas geográficas. Podendo assim, realizar o desenvolvimento de planos estratégicos para o gerenciamento de qualidade ambiental e controle de emissões.

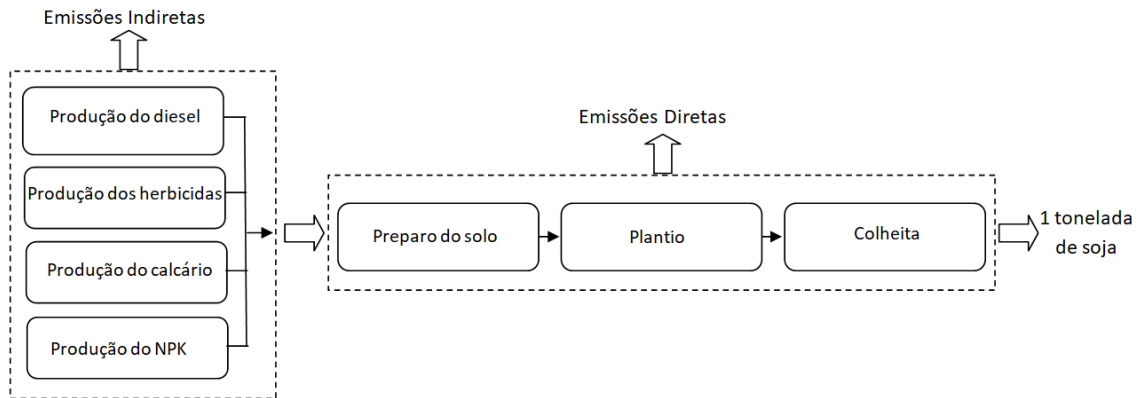
2. METODOLOGIA

Neste trabalho foram investigadas as emissões dos gases de efeito estufa e o potencial impacto de aquecimento global do cultivo da soja utilizando a metodologia de Avaliação de Ciclo de Vida. A aplicação desta metodologia possibilita a identificação, quantificação e avaliação dos impactos ambientais decorrentes do ciclo de vida de um produto, desde a aquisição das matérias-primas, produção, uso, tratamento pós-uso, reciclagem até a disposição final (ABNT, 2009).

O estudo foi baseado nos dados coletados do cultivo da soja em uma propriedade rural do município de Caçapava do Sul, localizada na região sul do estado do Rio Grande do Sul, cujas coordenadas geográficas são 30°39'25.75" Latitude Sul e 53°14'19.98" Longitude Oeste. A propriedade possui 750 hectares de área plantada e a produtividade da soja é aproximadamente 2,99 t/ha.

O escopo do estudo de avaliação do ciclo de vida compreende as principais etapas do cultivo da soja, desde o preparo do solo, plantio até a colheita. Além disso, foi realizada a análise das emissões diretas e indiretas em uma tonelada de soja, sendo que as emissões diretas abrangem as emissões oriundas da produção dos insumos utilizados, e as indiretas abrangem as emissões procedentes da aplicação ou consumo desses insumos nas etapas do cultivo, conforme apresentado na Figura 1.

Figura 1. Fronteiras da avaliação do ciclo de vida do cultivo da soja.



Fonte: Autores (2018).

Para estimar tanto as emissões diretas quanto indiretas, foram utilizados fatores de emissões estabelecidos pelo IPCC e publicados por pesquisadores que retratam os cenários brasileiros. As emissões da produção e transporte das sementes, assim como o transporte dos insumos até a lavoura, não foram consideradas.

O potencial impacto do aquecimento global foi estimado pela metodologia e fatores de caracterização (*global warming potential*, GWP) estabelecidos pelo IPCC (2014). Os fatores de caracterização indicam o quanto um GEE específico contribui para o aquecimento global em comparação com o CO₂ (substância de referência). Os gases de efeito estufa analisados foram o dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) e óxido nitroso (N₂O). Para um horizonte de 100 anos (GWP-100), o GWP para CO₂, CH₄ e N₂O são 1 kg CO₂/kg CO₂, 34 kg CO₂/kg CH₄ e 298 kg CO₂/kg N₂O, respectivamente. Deste modo, é possível expressar todos os gases com base em CO_{2eq}, conforme a Equação 1:

$$E_{GEE} = \sum_j GWP_j \cdot m_j \quad (1)$$

Em que E_{GEE} é o indicador de emissão dos GEE (kg CO_{2eq}); GWP_j é o fator de caracterização do GEE (kg CO_{2eq}/kg GEE) e m_j é a quantidade do GEE (kg).

3. ANÁLISE GERAL DO PROCESSO

3.1 Etapas do cultivo da soja e inventário dos insumos

3.1.1 Preparo do solo

Primeiramente é realizado o preparo do solo com a aplicação dos herbicidas 2-4D Aminol e Glifosato, e do calcário dolomítico. Essas aplicações são feitas com trator pulverizador autopropelido (motor a cilindro) e as quantidades utilizadas estão demonstradas na Tabela 1.

Tabela 1. Quantidade de insumos utilizados no preparo do solo

Insumo	Quantidade	Unidade
2-4D aminol	2	L/ha
Glifosato	2	L/ha
Calcário	2,5	t/ha
Diesel	1,6	L/ha

Fonte: Autores (2018).

3.1.2 Plantio da soja

Na etapa do plantio é utilizado 60 kg de semente por hectare. Posteriormente, é realizada a aplicação do fertilizante NPK (nitrogênio, potássio e fósforo) e uma segunda aplicação do herbicida Glifosato. Se caso houver necessidade, de acordo com o monitoramento das pragas durante essa etapa, são aplicados inseticidas e fungicidas, mas estes não foram considerados. O plantio da soja e a aplicação do fertilizante são realizados por meio de dois tratores agrícolas (motor - 140HP) acompanhados por plantadeiras. A segunda aplicação do herbicida Glifosato é feita por trator pulverizador autopropelido (motor a cilindro). As quantidades dos insumos utilizados estão demonstradas na Tabela 2.

Tabela 2. Quantidade de insumos utilizados no plantio.

Insumo	Quantidade	Unidade
Glifosato	2	L/ha
NPK	300	kg/ha
Diesel	21,6	L/ha

Fonte: Autores (2018).

3.1.3 Colheita

A colheita da soja é realizada por meio de duas máquinas colheitadeiras (motor - 360HP). A quantidade de diesel utilizado nesta etapa é igual a 40 L/ha.

3.2 Emissões indiretas

3.2.1 Emissões da produção dos insumos

Para estimar as emissões dos gases de efeito estufa da produção dos insumos químicos e energéticos do ciclo de vida do cultivo da soja foi utilizada a Equação 2 e os fatores de emissões relativos ao cenário brasileiro e estabelecidos pelo IPCC, conforme apresentado na Tabela 3.

$$E_{pi} = Q_{ins} \cdot FE_{ins} \quad (2)$$

Em que E_{pi} corresponde a emissão oriunda da produção do insumo, Q_{ins} é a quantidade do insumo consumo, FE_{ins} é o fator de emissão da produção do insumo.

Tabela 3 – Fator de emissão do CO_{2eq} na produção dos insumos

Insumo	Fator de emissão (kg CO _{2eq} /kg)	Fonte
Calcário	0,01	Macedo et al. (2008)
Herbicida	25,00	Macedo et al. (2008)
Óleo diesel	0,33	Viana (2008)
Fertilizante - Nitrogênio (N)	3,97	Macedo et al. (2008)
Fertilizante - Fósforo (P ₂ O ₅)	0,33	Carvalho (2012)
Fertilizante - Potássio (K ₂ O)	0,40	UNFCCC (2010)

3.3 Emissões diretas

3.3.1 Emissões da aplicação dos fertilizantes nitrogenados sintéticos

A principal forma de reposição do nitrogênio no solo é por meio do uso de fertilizantes nitrogenados. Por outro lado, sua utilização implica no aumento das emissões de gases de efeito estufa, principalmente o óxido nitroso (N₂O) (DOBBIE; SMITH, 2003). Os principais processos envolvidos nas emissões de N₂O em solos agrícolas são os de nitrificação e de desnitrificação. Estima-se que aproximadamente 1,0% do nitrogênio aplicado como fertilizante nitrogenado é perdido como N₂O (IPCC, 2006). A Equação 3 e os fatores de emissões apresentados na Tabela 4 foram utilizadas para calcular as emissões de óxido

nitroso proveniente do uso de fertilizantes sintéticos.

$$N_2O_{Fert} = N_{Fert} \cdot (1 - Frac_{Gasf}) \cdot FE \quad (3)$$

Em que, N_2O_{Fert} é a emissão de óxido nitroso associado à aplicação de fertilizantes nitrogenados sintéticos (Kg N_2O -N/kg de adubo aplicado); N_{Fert} é a quantidade de N aplicado como fertilizante nitrogenado (kg); $Frac_{Gasf}$ é a fração do N aplicado que volatiliza na forma de NH_3 e NO_x (%); FE é o fator de emissão (%).

Tabela 4. Fatores de emissão da aplicação do fertilizante nitrogenado

Parâmetro	Valor (%)
FE	0,3
$Frac_{Gasf}$	10

Fonte: IPCC (2007)

3.3.2 Aplicação do Calcário

A emissão de CO_2 na calagem foi calculada utilizando-se a Equação 4 e o fator de emissão igual a 0,13 kg CO_{2eq} .

$$CO_{2cal} = \left(\frac{44}{12} \cdot Q_{cal} \cdot FE_{cal} \right) \quad (4)$$

Em que, CO_{2cal} é a emissão de CO_2 associada à aplicação de calcário no solo (kg CO_2); Q_{cal} é a quantidade de calcário dolomítico ($CaMg (CO_3)_2$) aplicado em kg/ha; FE_{cal} é o fator de emissão (kg CO_{2eq} /kg calcário); (44/12) é o fator de conversão do carbono em gás carbônico.

3.3.3 Emissões do consumo de combustível

Para o cálculo das emissões associadas ao consumo de óleo diesel no ciclo de vida da soja utilizou-se a Equação 5 e os fatores de emissão apresentados na Tabela 5.

$$CO_{2Diesel} = (Q_{Diesel} \cdot FE_{Diesel}) \quad (5)$$

Em que, $CO_{2Diesel}$ é a emissão de CO_2 associada ao consumo de óleo diesel (Kg CO_{2eq});

Q_{Diesel} é a quantidade de óleo diesel consumida (L); FE_{Diesel} é o fator de emissão do óleo diesel (kg CO_{2eq}/L).

Tabela 5. Fatores de emissão do consumo do óleo diesel.

GEE	Fator de emissão (kg/L de diesel)
CO ₂	2,68
CH ₄	3,00 × 10 ⁻⁴
N ₂ O	2,00 × 10 ⁻⁵

Fonte: IPCC (2006).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O somatório total das emissões indiretas, provenientes da produção dos insumos utilizados, alcançou um valor igual a $9,87 \times 10^{-2}$ kg CO_{2eq}/kg soja colhida (Tabela 6), sendo que a produção dos herbicidas foi responsável pelo maior percentual de emissões, igual a 50,66%, devido ao elevado fator de emissão comparado com os outros insumos (Tabela 3); seguida da produção do fertilizante nitrogenado (16,11%), produção do fertilizante potássico (10,13%), produção do calcário (8,44%), produção do fertilizante fosfatado (7,45%) e, por último, do diesel (7,20%).

Tabela 6. Estimativa das emissões indiretas

Insumos	Emissões (kg CO _{2eq} /kg soja)
Calcário	$8,35 \times 10^{-3}$
N	$1,59 \times 10^{-2}$
P ₂ O ₅	$7,35 \times 10^{-3}$
K ₂ O	$1,00 \times 10^{-2}$
Herbicidas	$5,00 \times 10^{-2}$
Diesel	$7,11 \times 10^{-3}$
Total	$9,87 \times 10^{-2}$

Analisando os dados da Tabela 7, verifica-se que a contribuição total das emissões diretas corresponde a $46,67 \times 10^{-2}$ kg CO_{2eq}/kg soja colhida, sendo que 85,39% são provenientes da etapa de aplicação do calcário, seguido do consumo do diesel nos

equipamentos agrícolas (13,9%) e aplicação do fertilizante nitrogenado (0,71%).

Tabela 7. Estimativa das emissões diretas

Insumos	Emissões (kg CO _{2eq} / kg soja)
Consumo de diesel	$6,35 \times 10^{-2}$
Aplicação de calcário	$39,00 \times 10^{-2}$
Aplicação do fertilizante nitrogenado (N)	$3,22 \times 10^{-3}$
Total	$46,67 \times 10^{-2}$

A fim de identificar a etapa mais poluidora do ciclo de vida do cultivo da soja, as emissões foram analisadas por etapa, conforme apresentado na Tabela 8. A etapa de preparo do solo contribuiu para o maior percentual de emissões, isso está associado predominantemente as emissões oriundas da aplicação do calcário, insumo utilizado para corrigir a acidez do solo. Importante salientar que a aplicação do calcário depende da qualidade do solo, e não é utilizado necessariamente em todas as safras em quantidade informada na Tabela 1. A segunda fonte mais poluidora é a etapa de produção dos insumos, seguida da colheita e plantio. Somando todas as emissões de todas as etapas foi possível encontrar o indicador do potencial impacto do aquecimento global do ciclo de vida do cultivo da soja igual a 0,56kg CO_{2eq} por kg soja colhida, valor na mesma ordem de grandeza de outros trabalhos sobre ciclo de vida da soja encontrados na literatura (Maciel et al., 2016), embora os escopos sejam diferentes.

Tabela 8. Emissões em cada etapa do cultivo.

Etapas	Emissões (kg CO _{2eq} / kg soja)
Produção dos insumos (indiretas)	$9,87 \times 10^{-2}$
Preparo do solo	4×10^{-1}
Plantio	$2,49 \times 10^{-2}$
Colheita	4×10^{-2}
Total	$5,64 \times 10^{-1}$

5. CONCLUSÕES/CONSIDERAÇÕES FINAIS

Um inventário dos principais insumos utilizados no cultivo da soja no sul do estado do Rio Grande do Sul foi desenvolvido com base em dados coletados in situ, o qual é uma importante contribuição deste trabalho. A partir dos resultados das emissões dos gases de

efeito estufa, concluiu-se que o cultivo de soja contribui para o impacto de aquecimento global, com o valor igual a 0,56 kg CO_{2eq}/kg soja, sendo que as principais fontes de emissão são derivadas da aplicação do calcário no solo e produção dos insumos, especialmente dos herbicidas. Desta forma, deve ser dada atenção especial a essas fontes e desenvolver ações para mitigar as suas emissões.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO 14040:2009: Gestão ambiental – Avaliação do Ciclo de Vida – Princípios e estrutura. Rio de Janeiro, 2009. 27 p.
- CARVALHO, P. T. **Balço de emissões de gases de efeito estufa de biodiesel produzido a partir de soja e dendê no Brasil**. Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2012.
- DOBBIE, K.E.; SMITH, K.A. **The effects of temperature, water-filled pore space and land use on N₂O emissions from an imperfectly drained gleysol**. *European Journal of Soil Science*, v.52, p. 667-673, 2001.
- GRILLO, I. B.; MACIEL, V.G.; ZORTEA, R. B.; SEFERIN, M. **Avaliação Estatística dos Inventários do ciclo de vida da produção de soja no Brasil**. 2016
- FREITAS, R. E.; MENDONÇA, M. A. A. **Expansão Agrícola e a Participação da Soja: 20 anos**. *Revista de Economia e Sociologia Rural*. Brasília – DF, 2016.
- IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change. **Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, IGES**. Japão, 2006.
- IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change. **Fourth Assessment Report: Climate Change**. 2007. Disponível em: <http://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg2/en/spm.html> Acesso em: 07 de maio de 2018.
- IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change. **Climate Change 2014: Anthropogenic and Natural Radiative Forcing. The Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. 2014. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg1/WG1AR5_Chapter08_FINAL.pdf> Acesso em: 29 de maio de 2018.
- LYRA, D. G. P. **Modelo Integrado de Gestão da Qualidade do Ar da Região Metropolitana de Salvador**. Campinas – SP: Universidade Estadual de Campinas, 2008.
- MACEDO, I. C.; SEABRA, J. E. A.; SILVA, J. E. A. R. **Green house gases emissions in the production and use of ethanol from sugarcane in Brazil: The 2005/2006 averages and a prediction for 2020**. 2008.
- MACIEL, V. G.; ZORTEA, R. B.; GRILLO, I. B.; UGAYA, C. M. L.; EINLOFT, S.; SEFERIN, M. **Greenhouse gases assessment of soybean cultivation steps in southern Brazil**. (2016)
- MARZULLO, R.C.M. **Análise da Ecoeficiência dos Óleos Vegetais Oriundos da Soja e da Palma, Visando a Produção de Biodiesel**. Dissertação de M., Escola Politécnica, USP, São Paulo, SP, Brasil, 2007.
- UNFCCC, United Nations Framework Convention on Climate Change. **Approved consolidated baseline and monitoring methodology ACM0017: Production of biodiesel for use as fuel**. 2010. Disponível em: <<http://cdm.unfccc.int/methodologies/PAmethodologies/approved>> Acesso em junho de 2018.
- VIANA, M.M. **Inventário do Ciclo de Vida do Biodiesel Etílico do Óleo de Girassol**. Dissertação de M.Sc., Escola Politécnica, USP, São Paulo, SP, Brasil, 2008.