

Cálculo de emissões de CO₂ provenientes da mudança do uso da terra para produção de soja no estado do Rio Grande do Sul

Calculation of CO₂ emission derived from land-use change from soybean production at Rio Grande do Sul state, Brazil

Rafael Batista Zortea^{1*} , Vinícius Gonçalves Maciel² ,
Wagner Menezes³ , Luiz Fernando de Abreu Cybis², Marcus Seferin⁴ 

RESUMO

Atualmente um dos impactos ambientais de maior preocupação, as emissões de gases de efeito estufa (GEE) influenciam as tomadas de decisão provenientes tanto do setor privado como do governamental. Nessa preocupação, encontra-se o processo de crescimento da produção de biodiesel de soja que ocorre no Brasil, e no Rio Grande do Sul, um dos principais produtores dessa matéria-prima. Baseado nisso, a quantificação das emissões de GEE da cultura da soja e seus prováveis impactos passam pela realização de um inventário que contemple a aproximação maior para a realidade dessa região. Assim, neste trabalho, as emissões de GEE provenientes da mudança do uso da terra (MUT) para produção de soja foram investigadas considerando dados históricos de 20 anos da produção da cultura no Rio Grande do Sul (entre 1992 e 2013). Nesta pesquisa, verificou-se o crescimento da cultura predominantemente sobre lavouras temporárias, o que repercute em uma quantificação diferente do que é apresentada nos inventários atuais, em que é apresentado um avanço da soja sobre florestas. Neste caso, o trabalho em questão verificou que, conforme metodologia do Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima (IPCC), a MUT ocorreu somente em 15,4% da área em que a soja avançou. Não menos importante, o trabalho sugere discussões futuras para metodologias que contemplem o avanço da soja sobre áreas de várzea, conforme evidenciado neste estudo.

Palavras-chave: soja; inventário de ciclo de vida; mudança do uso da terra; gases de efeito estufa.

ABSTRACT

One of the environmental impacts that presents great concern nowadays, the green-house gases (GHG) emissions affect decision-making from both government and private sector. Within this concern is the soybean biodiesel production growing that takes place in Brazil and Rio Grande do Sul State, this last one of main producers of soybean. Based on this, GHG emissions accounting from soybean cultivation and their potential environmental impacts depend on an inventory performing that presents a reality as close as possible in relation to Rio Grande do Sul State. Thus, this work aimed to trace how the soybean cultivation has developed for 20 years at Rio Grande do Sul State (between 1992 and 2013). During this research, a soybean growing, mainly on temporary croplands, that results in a different accounting in relation to current inventories that show soybean cultivation moving forward on forests areas was found. In this case, it was verified that this work, following The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) methodology, the land use change (LUC) occurred in only 15.4% of the area, where soybean cultivation moved forward for 20 years. Finally, this work suggests future discussion for methodologies that encompass soybean cultivation advanced over wetland areas according to what is pointed out in this study.

Keywords: soybean; life cycle inventory; land use change; greenhouse gases.

INTRODUÇÃO

As alterações do clima são motivo de preocupação mundial, sobretudo no que diz respeito às emissões de gases de efeito estufa

(GEE). Iniciativas governamentais têm surgido em diferentes países visando à redução das emissões de GEE. Segundo o relatório elaborado pelo Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima

¹Instituto Federal Sul-rio-grandense – Sapucaia do Sul (RS), Brasil.

²Universidade Federal do Rio Grande do Sul – Porto Alegre (RS), Brasil.

³Universidade de Nova Lisboa – Lisboa, Portugal.

⁴Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul – Porto Alegre (RS), Brasil.

*Autor correspondente: rafael@sapucaia.ifsul.edu.br

Recebido: 10/12/2013 – Aceito: 25/05/2018 – Reg. ABES: 127909

(Intergovernmental Panel on Climate Change — IPCC), a probabilidade de que a ação humana tenha causado mais da metade da elevação média da temperatura entre 1951 e 2010 é superior a 95% (IPCC, 2013). Nesse cenário, os biocombustíveis são apresentados como uma opção adequada para obtenção de energia a partir de fontes naturais e renováveis, porém os impactos ambientais ligados a sua produção, sobretudo na obtenção das matérias-primas, são atualmente muito questionados (MACIEL *et al.*, 2015; 2016; ZORTEZA; MACIEL; PASSUELLO, 2018).

Acompanhando o movimento mundial, o Brasil dirigiu sua atenção a projetos destinados à pesquisa de biodiesel como alternativa em substituição ao diesel. A partir de 2004, com o lançamento do Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel (PNPB), esse combustível apresentou significativos avanços de produção. Vale destacar que, apesar de existirem diferentes fontes de triglicerídeos que podem ser usadas para produzir o biodiesel, por questões de estrutura e oferta de mercado acaba sendo o óleo de soja que se destaca como principal matéria-prima, respondendo por 79,1% do total (ANP, 2017).

O crescimento exponencial da produção de biodiesel de óleo de soja tem sido alvo de discussão por parte da comunidade científica, sobretudo o seu desempenho ambiental (POUSA; SANTOS; SUAREZ, 2007). Segundo Cavalett e Ortega (2010), três razões podem ser apontadas como responsáveis por promover a produção de biodiesel: ele é limpo ou “verde”, pois sua energia é produzida a partir de fontes naturais renováveis; ele contribui na redução de emissões de GEE; e sua produção é apresentada como uma estratégia para o desenvolvimento rural.

Segundo Grillo *et al.* (2017), as especificidades regionais são fatores-chave para analisar os impactos ambientais de biocombustíveis a partir de uma avaliação de ciclo de vida. Isso ocorre em razão de diferentes fontes de energia, meios de transporte, práticas agrícolas e mudança do uso da terra (MUT), com os resultados podendo apresentar significativas variações de um país para outro, ou em um mesmo país, como o Brasil, de tamanho continental. No entanto, há poucos estudos que contemplam a fase agrícola da produção do biodiesel a partir da soja cultivada no Rio Grande do Sul.

O Rio Grande do Sul é o terceiro maior produtor de soja do país, o que o coloca em situação de grande relevância no cenário mundial, em razão da importância do Brasil na produção de soja do mundo. A safra brasileira de 2017/18 aponta para uma produção recorde de 116.995,9 milhões de toneladas, representando aumento de 2,5% em relação à safra 2016/17 (CONAB, 2018), consolidando o Brasil como um dos maiores produtores mundiais. A fim de reforçar a importância do Rio Grande do Sul no cenário mundial, tomando como base o ano de 2011, por exemplo, a produção desse estado foi superior à do Paraguai, sexto maior produtor mundial (IBGE, 2013; FAOSTAT, 2013).

A avaliação da intensidade de emissões GEE proveniente do plantio de uma determinada cultura é complexa e os resultados podem variar principalmente se as MUT foram contabilizadas. Estudos demonstram que a substituição da vegetação natural por um novo cultivo de plantas com finalidades energéticas pode reduzir de forma consistente a fixação de carbono. Dessa forma, o benefício ambiental da captura dos GEE pode ser minimizado em relação ao uso de combustíveis fósseis (CHERUBINI, 2010; MALÇA; FREIRE, 2012; GRISOLI *et al.*, 2012; CASTANHEIRA; FREIRE, 2013).

O carbono orgânico é armazenado em três conjuntos diferentes: na vegetação (incluindo as raízes), na palhada (incluindo madeira morta) e no solo. Ao modificar a utilização da terra, esses reservatórios podem ser alterados ao longo do tempo até um novo estado de equilíbrio ser atingido (AMEZAGA; MALTILZ; BOYES, 2010; CHERUBINI, 2010). Durante a transição para esse novo nível de equilíbrio haverá uma emissão líquida de CO₂, ou uma remoção líquida de CO₂ (AMEZAGA; MALTILZ; BOYES, 2010). Segundo Cherubini (2010), trata-se de um aspecto importante, em razão das grandes quantidades de carbono na matéria orgânica do solo. Esses reservatórios de carbono são tão grandes que qualquer variação, por mínima que seja, pode representar grande relevância no balanço de GEE. No entanto, segundo Maciel (2014), poucos trabalhos contemplam essa fonte de emissão, provavelmente em razão da complexidade dos cálculos e da dificuldade em se determinar as principais transições de uso da terra, pois cada estudo de caso deve ser tratado de forma autônoma e modelado em diferentes parâmetros, o que muitas vezes leva a investigações baseadas em cenários que se distanciam da real MUT.

Este trabalho apresenta os cálculos das emissões de GEE proveniente da MUT no Rio Grande do Sul, relacionada à expansão do cultivo da soja. A metodologia adotada seguiu as premissas do IPCC (2006b), e o histórico do avanço da soja sobre as diferentes categorias de uso da terra foi rastreado a partir de fontes oficiais nacionais e consulta a profissionais da área, a fim de descrever a origem das áreas sobre as quais a soja avançou nos últimos 20 anos no estado do Rio Grande do Sul.

METODOLOGIA

O Guia Nacional para Inventário de GEE do IPCC, em seu quarto volume (IPCC, 2006b), propõe três tipos de abordagem metodológicas, chamadas *tiers*, para determinar os dados de atividades e os fatores de emissão: o *Tier1*, que utiliza somente dados básicos de uso da terra (censos, estatísticas agrícolas ou florestais etc.); o *Tier2*, que envolve a avaliação de uso da terra e MUT, podendo ser ou não baseado em observações espacialmente explícitas, isto é, georreferenciadas; e o *Tier3*, que requer observações espacialmente explícitas

e completas que permitam monitorar o uso, a mudança de uso, as emissões, além das remoções de GEE associadas. Essa metodologia também é preconizada pela Comissão Europeia (2009) em seu guia para cálculo das reservas de carbono nos solos (COMISSÃO EUROPEIA, 2010).

As emissões de GEE provenientes da alteração dos estoques de carbono em razão da MUT foram calculadas usando a Equação 1, seguindo o *Tier1*. Segundo as diretrizes do IPCC (2006b), a quantidade de carbono armazenada, emitida ou removida. Dependem do tipo de cultura, práticas de gestão, tipo de solo e variáveis climáticas. Em razão da falta de fatores de emissão específicos do Rio Grande do Sul, este trabalho adotou valores padrão (*default*) (*Tier1*) sugeridos pelo IPCC (2006b) para a região de clima temperado quente úmido, tipo de solo argiloso de baixa atividade e sistema de plantio direto, conforme preconizado pela Comissão Europeia (2010) e adotado por outros estudos (CASTANHEIRA; FREIRE, 2013; GRISOLI *et al.*, 2012), para a localização geográfica do Rio Grande do Sul.

Valores anuais foram calculados dividindo-se pelo período de tempo em que os reservatórios de carbono levam para atingir o equilíbrio após a conversão (IPCC padrão = 20 anos).

$$E = \sum (CS_{Ri} - CS_{Ai}) \times A \times (44/12) \times (1/20) \quad (1)$$

Em que:

E ($t \text{ CO}_2\text{eq.ha}^{-1}\text{.ano}^{-1}$) = as emissões de GEE anuais de mudança de estoque de carbono em razão da MUT;

CS_{Ri} ($t \text{ C.ha}^{-1}$) = o estoque de carbono associado ao de referência (anterior) do uso da terra;

CS_{Ai} ($t \text{ C.ha}^{-1}$) = o estoque de carbono associado ao uso atual (cultivo de soja).

Área de estudo (A) é a razão entre a área de MUT e a área de soja cultivada na safra 2012/2013 (os detalhes da estimativa desse fator são apresentados na seção “Avanço da soja em 20 anos”). A fração 44/12 foi utilizada para obter os resultados em unidades de massa de CO_2 eq.

Para calcular CS_{Ri} e CS_{Ai} foi aplicada a Equação 2.

$$CS_i = (SOC_i + Cveg) = (SOC_{ST} \times F_{LU} \times F_{MG} \times F_I) + Cveg \quad (2)$$

Em que:

SOC_i ($t \text{ C.ha}^{-1}$) = o carbono orgânico do solo na referência (SOC_R) e no uso efetivo do solo (SOC_A);

$Cveg$ ($t \text{ C.ha}^{-1}$) = o carbono armazenado na vegetação aérea e subterrânea na referência ($Cveg_R$) e no uso atual ($Cveg_A$);

SOC_{ST} ($t \text{ C.ha}^{-1}$) = o carbono orgânico do solo;

Valores padrão F_{LU} , F_{MG} e F_I = fatores que refletem a diferença na SOC_{ST} associado ao tipo de uso da terra (F_{LU}), à diferença na quantidade de carbono orgânico do solo decorrente da principal prática de gestão, comparativamente à quantidade de carbono orgânico normal do solo (F_{MG}) e diferentes níveis de entrada de carbono no solo (F_I).

Em relação ao uso real da terra, $Cveg_A$ é igual a 0 (o plantio e a colheita da soja são realizados em um período menor que um ano). Para as culturas anuais, o aumento nos estoques de biomassa em um único ano é assumido como sendo igual à perda de biomassa de colheita e de mortalidade no mesmo ano, não havendo, portanto, acumulação líquida de estoques de carbono da biomassa (IPCC, 2006a).

Expansão da soja nos últimos 20 anos

Foram utilizados dados oficiais do Uso da Terra no Rio Grande do Sul (IBGE, 2010), do Censo Agropecuário (IBGE, 2013), das Séries Históricas do Milho, Arroz e Soja da Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2013a; 2013b; 2013c), do relatório de estimativa de safra de arroz 2013/2014 do Instituto Rio-Grandense do Arroz (IRGA, 2013a; 2013b) e dos Anuários das Culturas da Soja e Arroz (REETZ, 2006; DOS SANTOS; REETZ; DA SILVEIRA, 2013) para estimar as transições (pastagem-lavoura), bem como o avanço da soja sobre áreas destinadas a outras culturas.

Cálculo das emissões em razão da mudança do estoque de carbono proveniente da mudança do uso da terra

Em razão da falta de informações sobre as condições de conservação das áreas de pastagem antes da substituição pelas lavouras de soja, cenários foram abordados a partir de três referenciais de estados de conservação das pastagens (R1, R2, R3).

O cenário 1 (C1) representa o melhor caso de conservação (R1), em que toda a área de soja provém da área de pastagem melhorada com alta conservação. Por conseguinte, essa área possui grande quantidade de carbono armazenado que, quando submetido a um novo regime de gestão, resulta em grandes perdas de carbono. O cenário 2 (C2) apresenta uma abordagem mais conservadora, em que o estado de conservação das áreas de referências é de degradação moderada (R2). O cenário 3 (C3) apresenta dados extremos do cenário 1, a área de soja provém de áreas de pastagem com severa degradação (R3) e pouco teor de carbono armazenado.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Avanço da soja em 20 anos

A área plantada de soja registrou aumento de 49% entre 1992 e 2013, segundo dados da Companhia Nacional de Abastecimento

(CONAB, 2013c). Recorreu-se ao Censo Agropecuário 1920/2006 (IBGE, 2013) para associar o crescimento da área cultivada com as modificações de áreas ocupadas por diferentes tipos de uso da terra. Conforme pode ser observado na Tabela 1, houve uma diminuição das áreas de pastagem e aumento das áreas de lavouras e matas. Logo, pode-se concluir que o avanço da área de lavouras ocorreu sobre áreas de pastagem.

Apesar de o avanço das áreas de plantio de lavouras ter ocorrido majoritariamente sobre áreas de pastagens, também houve avanços sobre outros tipos de área. Segundo dados do IRGA, parte dessa expansão ocorreu em lavouras de arroz (IRGA, 2013a; 2013b). Verificou-se isso, pois esse tipo de plantio vem crescendo nos últimos anos (IRGA, 2018) (REETZ, 2006) e corresponde a 273 mil hectares, 6% da área total de soja na safra 2012/2013 (IRGA, 2013a; 2013b) ou 8% se for considerada a média da área plantada nos últimos 20 anos. Segundo dados do Anuário do Arroz 2013, o plantio de soja em áreas de arroz quadruplicou entre 2009 e 2013, chegando a aproximadamente 270 mil hectares (DOS SANTOS; REETZ; DA SILVEIRA, 2013). Atualmente, as áreas ocupadas com soja em rotação nas várzeas de arroz no Rio Grande do Sul totalizam 270 mil hectares (IRGA, 2018). Até o ano de 2013, período do estudo, a área de plantio de arroz permaneceu constante, aproximadamente 1 milhão de hectares (CONAB, 2013a). Dos 5,5 milhões de hectares de solos de várzea disponíveis no estado, somente 3 milhões acabam sendo explorados para o cultivo de arroz irrigado. No entanto, dessa área explorada, dois terços é mantida em pousio, ou seja, não se cultiva arroz. Portanto, são nesses locais em que as culturas temporárias, principalmente o milho e a soja, avançam (IBGE, 2010; DOS SANTOS; REETZ; DA SILVEIRA, 2013).

Segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2010), o milho também cedeu espaço para essa leguminosa. O aumento ou a diminuição da área de plantio do milho está ligado diretamente ao plantio de soja porque depende fortemente do mercado internacional. A fim de comparar a área de soja que se expandiu com a área perdida de milho, recorreu-se aos dados da CONAB referentes à área plantada de soja e milho entre 1992 e 2013 (CONAB, 2013c; 2013b).

No período de 20 anos, a área de milho diminuiu 534,5 mil hectares, sendo 426,7 mil a partir da safra 2000/2001 — nesse mesmo período, a lavoura de soja teve a maior expansão. Como pode ser observado na Figura 1, há uma relação direta entre as variações das áreas de milho e de soja em praticamente todas as safras, com poucas exceções. Os problemas enfrentados pela cultura, como preços baixos quando a safra é boa, falta de organização da cadeia produtiva e concorrência da soja, são apontados como fatores de estímulo para a preferência da soja pelos produtores (REETZ, 2006). Somado a isso, outros fatores podem ter contribuído, como a evasão rural e o aumento da faixa etária dos produtores de pequenas propriedades, que deixaram de produzir o cereal para alimentação de seus animais e passaram a comprar ração animal. Além disso, problemas sanitários que ocorreram em países da Ásia e da Europa representaram uma ameaça para as cadeias produtivas da avicultura e da suinocultura e, conseqüentemente, do milho, tendo em vista que 75% da demanda é destinada ao setor de produção animal (IBGE, 2010). Para este estudo, foi considerado que toda a área de milho perdida foi transformada em soja, e os dados da área plantada (CONAB, 2013b) corresponde à primeira safra. O milho safrinha foi desconsiderado por não ser concorrente da soja.

O restante do avanço da soja ocorreu sobre áreas de pastagem, tornando-se importante diferenciar áreas de pastagem natural e de pastagem plantada. A fim de calcular, recorreu-se ao Censo Agropecuário 1920/2006 (IBGE, 2013) para análise de dados entre 1985 e 2006 e entre 1996 e 2006, como apresentado na Tabela 1. Ambos os períodos apresentaram redução das áreas de pastagem natural e de pastagem plantada, com aumento significativo de outros usos do solo. Entre 1996 e 2006, a área de pastagem plantada corresponde a 9% da área de pastagem natural, e entre 1985 e 2006 esse valor cai para 2%. Com essas informações, avaliou-se que a soja avançou sobre as áreas de pastagens naturais, considerando, para este trabalho, o pior caso. Um compilado do avanço da área de soja levado em conta neste trabalho é apresentado na Tabela 2 e na Figura 2.

Apesar de a expansão ter ocorrido em diferentes usos do solo (Tabela 2), apenas áreas provenientes de pastagens são consideradas para efeitos de cálculo em razão da MUT, ou seja, o avanço sobre lavouras de milho e arroz foi desconsiderado, pois não se trata de uma MUT

Tabela 1 - Uso do solo no estado do Rio Grande do Sul (hectares).

Uso do solo	1985	1996	2006	Δ 2006-1996	Δ 2006-1985
Lavouras permanentes	183.784	208.993	294.187	85.194	110.403
Lavouras temporárias	6.408.301	5.426.369	6.611.395	1.185.026	203.094
Pastagens naturais	11.939.994	10.523.566	8.252.504	-2.271.062	-3.687.490
Pastagens plantadas	1.023.466	1.156.762	954.160	-202.602	-69.306
Matas naturais	1.664.612	1.881.493	2.269.334	387.841	604.722
Matas plantadas	567.848	630.138	778.524	148.386	210.676

Fonte: adaptado de Censo Agropecuário 1920/2006 (IBGE, 2013).

(IPCC, 2006b). A Figura 2 apresenta um comparativo entre a área de soja em 1992 e a área plantada em 2013, assim como a origem dessa ocupação, em hectares. Pode-se observar que a área que corresponde à MUT representa 15,4% da área atualmente cultivável com soja, e a partir desse resultado, foi determinado o valor do fator A para a Equação 1.1: 0,154.

Cálculo das emissões em razão da mudança do estoque de carbono proveniente da mudança do uso da terra

A Tabela 3 apresenta os fatores C_{veg} , F_{LU} , F_{MGI} e F_{II} (*default*) adotados neste trabalho e recomendados pela Comissão Europeia (2010) para a região de clima mencionado, tipo de solo e sistema de gestão.

A Figura 3 apresenta a contribuição ΔSOC e ΔC_{veg} nos três cenários abordados, a fim de permitir maior compreensão da contribuição da mudança de carbono no solo e vegetação para as emissões de GEE. Como pode ser observado no C3, há captura de CO_2 , o que pode ser explicado pela adoção de práticas conservacionistas em uma área de alta degradação.

Este estudo tem como principal contribuição a rastreabilidade do avanço da soja no Rio Grande do Sul, ficando evidente, conforme observado na Tabela 1, que não houve avanço da cultura da soja sobre áreas de floresta, o que contradiz outros trabalhos que avaliam as emissões de GEE, por exemplo, Castanheira e Freire (2013). Segundo os autores, a substituição de florestas para dar lugar

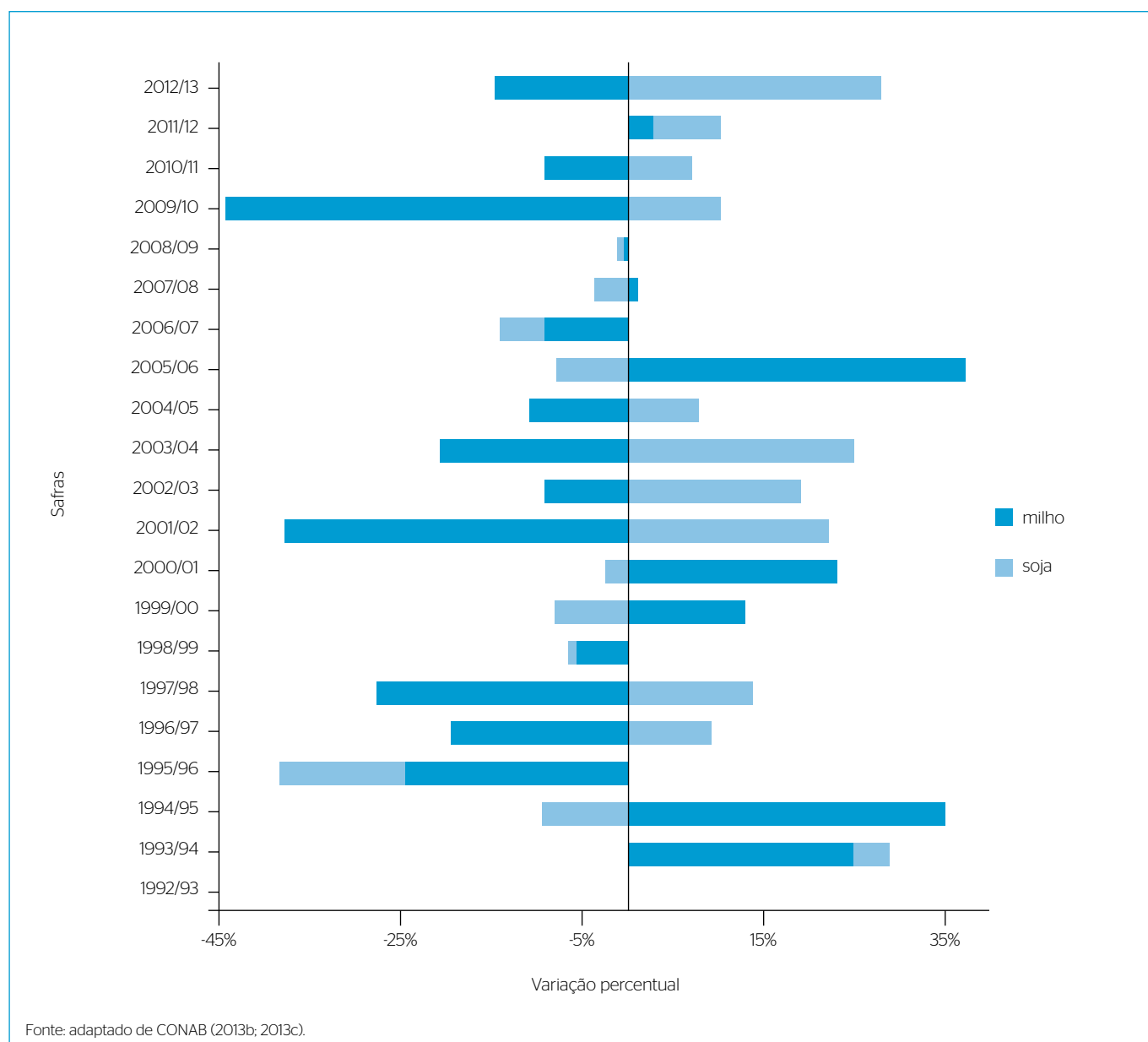


Figura 1 - Comparação da variação entre a área plantada de milho e de soja entre 1992 e 2013.

a lavouras em sistema de plantio direto no Sul do Brasil produz emissões de GEE da ordem de 8,06 t CO₂ eq.ha⁻¹.ano⁻¹. Grisoli *et al.* (2012) concluem que não há avanço da soja sobre áreas de florestas, e sim sobre áreas de pastagens. No entanto, o estudo se limita aos dados do uso do solo do Rio Grande do Sul disponibilizados pelo IBGE (Tabela 1), não levando em consideração possíveis avanços da soja sobre outras culturas.

A expansão da soja sobre áreas de arroz e milho é extremamente relevante e evidencia a influência de fatores econômicos e sociais sobre a cultura da soja. Além disso, as áreas de arroz e milho, juntas, correspondem a 53% da área expandida, contribuindo significativamente para a diminuição das emissões de GEE provenientes da MUT, ou seja, diferentemente de outros estudos em que a área de expansão da soja foi considerada proveniente de uma MUT. Neste estudo, apenas 46,9% (Tabela 2) sofreu MUT, e para cada hectare de soja atualmente cultivada, 15,4% são de áreas de pastagem, que realmente contribuem para emissões de GEE em razão da mudança de estoque de carbono por causa da MUT.

A partir da rastreabilidade do histórico do avanço da cultura da soja no Rio Grande do Sul, podemos estimar que as emissões da mudança de estoque de carbono em razão da MUT (E) possuem uma variação de 0,03 a 1,03 t CO₂ eq.ha⁻¹.ano⁻¹, considerando o melhor e o pior cenário, como pode ser observado na Figura 4. Os resultados aqui apresentados

Tabela 2 - Distribuição do avanço da soja em 20 anos (entre 1992 e 2013).

Usos do solo	(mil ha)	Contribuição (%)
Arroz (lavoura temporária)	274,0	18,4
Milho (lavoura temporária)	534,5	35,1
Pastagem natural	712,1	46,9
Total - avanço da soja	1.518,6	100

distanciam-se dos estudos já realizados — de acordo com Grisoli *et al.* (2012), as emissões da MUT no Rio Grande do Sul são da ordem de 2,05 t CO₂eq.ha⁻¹.ano⁻¹. Segundo Castanheira e Freire (2013), a transição

Tabela 3 - Fatores adotados para uso atual e para três tipos de uso de referências de solo.

#	SOC _i				SOC _r (t C.ha ⁻¹)	Cveg (t Cha ⁻¹)	A
	SOC _{ST} (t C.ha ⁻¹)	F _{LU}	F _{MG}	F _i			
Atual	63	0,69	1,15	1	49,99	0	0,154
R1	63	1	1,14	1,11	79,72	6,8	0,154
R2	63	1	0,95	1	59,85	6,8	0,154
R3	63	1	0,7	1	44,1	6,8	0,154

R1: pastagem melhorada com alta conservação; R2: pastagem - degradação moderada; R3: pastagem com severa degradação; SOC_i: carbono orgânico do solo na referência (SOC_r) e no uso efetivo do solo (SOC_i); Cveg: carbono armazenado na vegetação aérea e subterrânea na referência (Cveg_r) e no uso atual (Cveg_i); A: área de estudo; SOC_{ST}: carbono orgânico do solo; F_{LU}: fator que reflete a diferença no carbono orgânico do solo associado ao tipo de uso da terra; F_{MG}: fator que reflete a diferença no carbono orgânico do solo associado à quantidade de carbono orgânico normal do solo; F_i: fator que reflete a diferença no carbono orgânico do solo associado a diferentes níveis de entrada de carbono no solo.

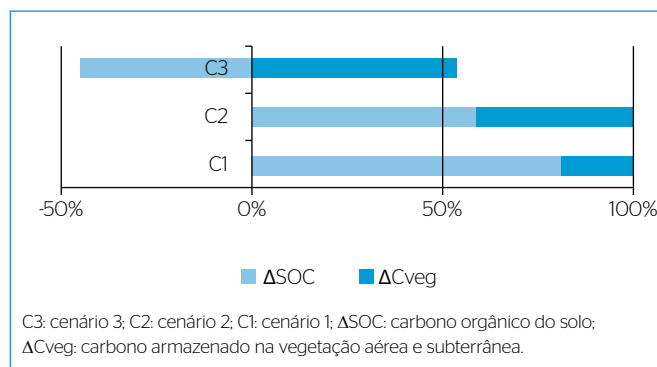


Figura 3 - Contribuição do carbono orgânico do solo e do carbono armazenado na vegetação aérea e subterrânea para emissões de gases de efeito estufa em cada cenário.

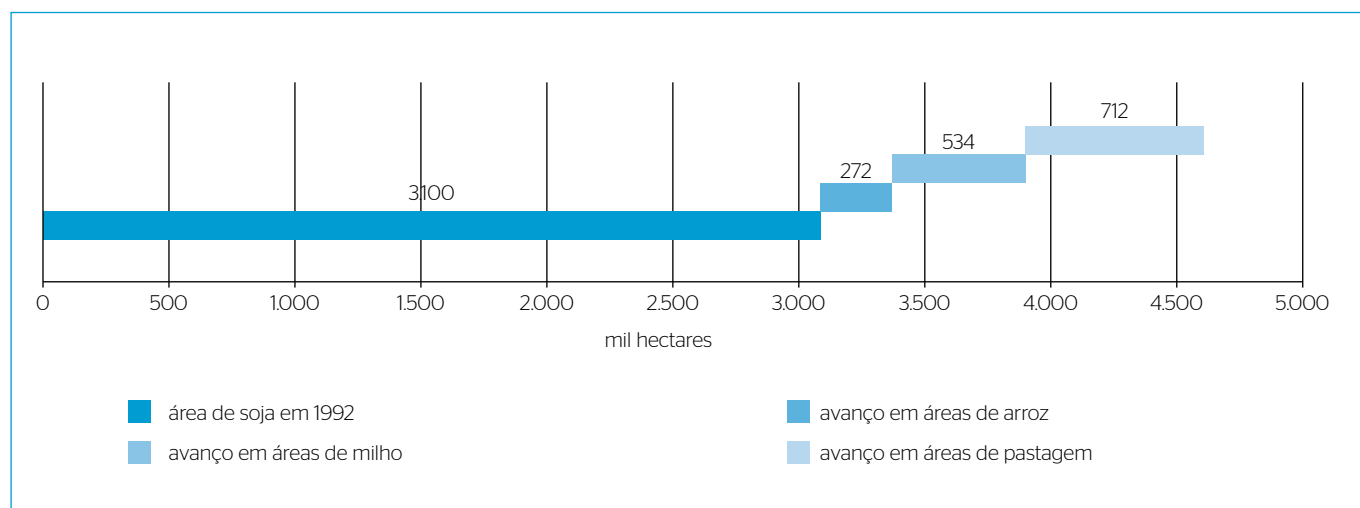


Figura 2 - Expansão da soja em 20 anos e origem da ocupação.

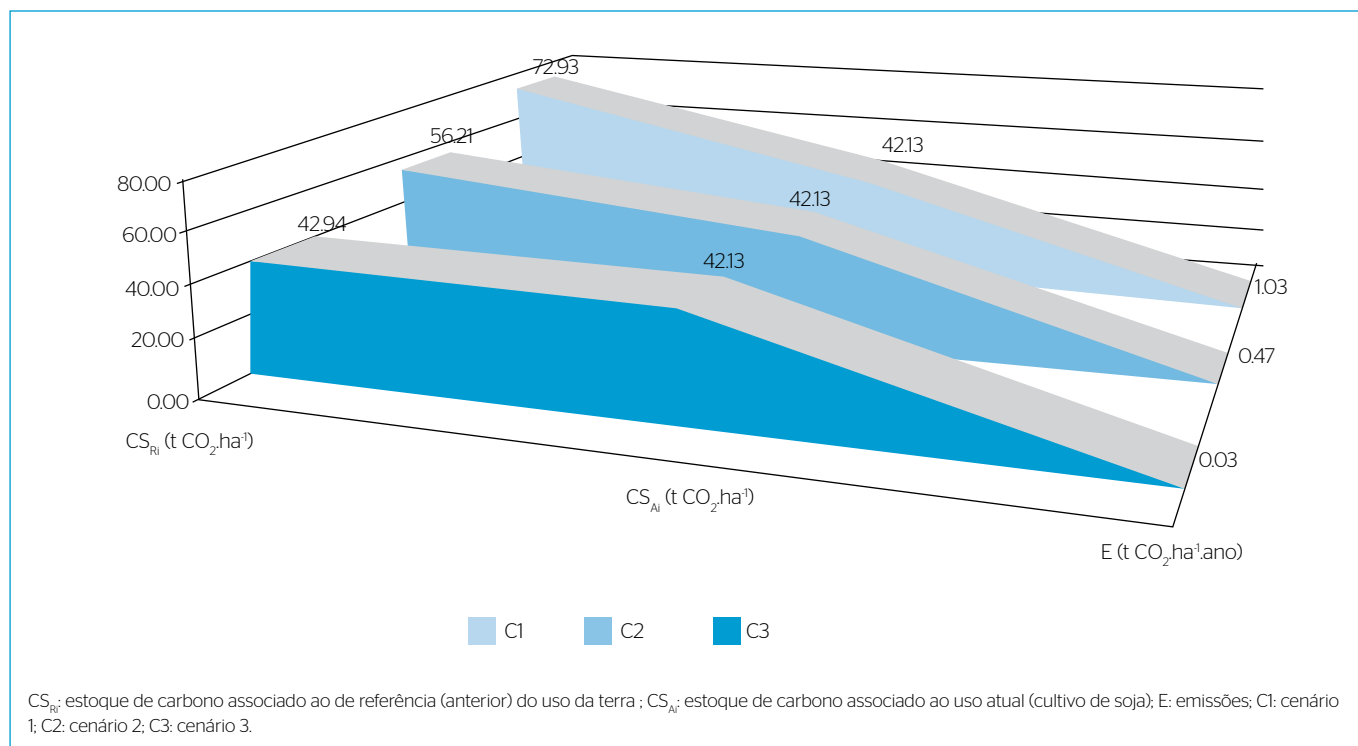


Figura 4 - Variação dos estoques de carbono na referência e no uso atual em 20 anos e emissões por cenário.

pastagem-lavoura (soja em sistema de plantio direto) é responsável por emissões na ordem de 0,18, 3,11 e 6,78 t CO₂ eq.ha⁻¹.ano⁻¹, para as referências de conservação da pastagem R3, R2 e R1, respectivamente. Essa diferença ocorre porque esses estudos consideram que o avanço da soja ocorre sobre áreas de floresta, lavouras permanentes (culturas perenes) e pastagem, desconsiderando a expansão sobre outras culturas (lavouras temporárias).

Estudos com foco nos possíveis impactos do cultivo de soja em áreas de arroz devem ser realizados, sobretudo considerando que a área de soja plantada em várzea é relevante e está em expansão (IRGA, 2018), principalmente impulsionada por estudos de melhoramento de cultivares adaptadas para esse tipo de local, pela disponibilidade de áreas em estado de pousio e por fatores econômicos.

CONCLUSÃO

Este estudo objetivou calcular as emissões da mudança do estoque de carbono em razão da MUT para cultivo de soja no estado do Rio Grande do Sul, a partir da metodologia Tier1 do IPCC (2006a), preconizada no guia para cálculo das reservas de carbono nos solos (COMISSÃO EUROPEIA, 2010), utilizando-se informações de dados oficiais nacionais do avanço da soja em 20 anos, no período de 1992 a 2013. Para cada hectare plantado na safra 2012/2013, apenas 15,4% provém de áreas de pastagem, valor inferior ao estimado em outros estudos que não investigaram as possíveis ocupações da soja durante a expansão.

Com relação às lavouras temporárias, vale ressaltar o avanço da cultura da soja em áreas de plantio de arroz. Neste caso, acende-se um alerta, já que o sistema de semeadura utilizado (microcamalhão) (DOS SANTOS; REETZ; DA SILVEIRA, 2013) não é contemplado pelo IPCC, inviabilizando a aplicação de metodologias de cálculo para estimar as emissões desse tipo de cultivo. Ressalta-se esse ponto, pois o sistema de gestão e manejo para o plantio da soja em áreas de várzea contempla a necessidade de drenagem e remoção de terra, ou seja, atividades que possuem o potencial de provocar prováveis emissões ainda não conhecidas e, conseqüentemente, de difícil quantificação (MACIEL, 2014).

Por fim, houve um avanço da soja sobre lavouras temporárias e não sobre áreas de floresta — o resultado dessas modificações sobre questões como os aspectos sociais e econômicos deve obrigatoriamente ser reavaliado. Coloca-se essa ideia, pois esses novos resultados de variáveis como renda, empregos, desenvolvimento dos municípios, entre outras de importância em tomadas de decisão, acabam repercutindo em uma dinâmica distinta do equilíbrio socioeconômico das áreas de avanço da soja avaliadas neste estudo.

FONTE DE FINANCIAMENTO

Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO (ANP). (2017) *Boletim Mensal do Biodiesel*. Brasil: Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/>>. Acesso em: maio 2018.
- AMEZAGA, J.M.; MALTILZ, G.V.; BOYES, S. (2010) *Assessing the Sustainability of Bioenergy Projects in Developing Countries: a framework for policy evaluation*. Newcastle.
- CASTANHEIRA, É.G.; FREIRE, F. (2013) Greenhouse gas assessment of soybean production: implications of land use change and different cultivation systems. *Journal of Cleaner Production*, v. 54, p. 49-60. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.05.026>
- CAVALETT, O.; ORTEGA, E. (2010) Integrated environmental assessment of biodiesel production from soybean in Brazil. *Journal of Cleaner Production*, v. 18, n. 1, p. 55-70. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2009.09.008>
- CHERUBINI, F. (2010) GHG balances of bioenergy systems - Overview of key steps in the chain and methodological concerns. *Renewable Energy*, v. 35, n. 7, p. 1565-1573. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2009.11.035>
- COMISSÃO EUROPEIA. (2009) *Directiva 2009/28/CE do Parlamento Europeu e do Conselho de 23 de Abril de 2009 relativa à promoção da utilização de energia proveniente de fontes renováveis que altera e subsequentemente revoga as Directivas 2001/77/CE e 2003/30/CE*. Europa: Comissão Europeia.
- COMISSÃO EUROPEIA. (2010) *Decisão da Comissão, de 10 de Junho de 2010 sobre as orientações para o cálculo das reservas de carbono nos solos para efeitos do anexo V da Directiva*. Europa: Comissão Europeia.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). (2018) *Primeiro Levantamento Grãos Safra 2017/2018 - Maio/2018*. Companhia Nacional de Abastecimento. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br/>>. Acesso em: maio 2018.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). (2013a) *Séries históricas: Arroz*. Companhia Nacional de Abastecimento. Disponível em: <www.conab.gov.br>. Acesso em: out. 2013.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). (2013b) *Séries históricas: 1ª safra Milho*. Companhia Nacional de Abastecimento. Disponível em: <www.conab.gov.br>. Acesso em: out. 2013.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). (2013c) *Séries históricas: Soja*. Companhia Nacional de Abastecimento. Disponível em: <http://www.conab.gov.br>. Acesso em: out. 2013.
- DOS SANTOS, C.E.; REETZ, E.R.; DA SILVEIRA, D.N. (2013) *Anuário brasileiro do Arroz 2013*. Santa Cruz do Sul.
- FAOSTAT. (2013) *Final 2011 Data and Preliminary 2012 Data for 5 major commodity aggregates Now Available*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Disponível em: <<http://faostat.fao.org/>>. Acesso em: nov. 2013.
- GRILLO, I.B.; MACIEL, V.G.; ZORTEZA, R.B.; SEFERIN, M. (2017) Avaliação Estatística dos Inventários do ciclo de vida da produção de soja no Brasil. *Revista Latino-Americana em Avaliação do Ciclo Vida*, p. 7-21. <https://doi.org/10.18225/lalca.vii.3069>
- GRISOLI, R.; NOGUEIRA, A.; CASTANHEIRA, E.; FREIRE, E.; SILVA, G.A.; COELHO, S.T. (2012) Emissões de gases de efeito estufa no ciclo de vida do biodiesel de soja produzido no Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO EM GESTÃO DO CICLO DE VIDA DE PRODUTOS E SERVIÇOS, 3, 2012, Maringá. *Anais...* p. 464.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). (2010) *Uso da Terra no Estado do Rio Grande do Sul*. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 151 p.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). (2013) *Censo Agropecuário 1920/2006 - Séries Históricas e Estatísticas*. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <<http://seriesestatisticas.ibge.gov.br/>>. Acesso em: jun. 2013.
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). (2006a) *Agriculture, Forestry and Other Land Use*. Intergovernmental Panel on Climate Change. Disponível em: <<http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/>>. Acesso em: mar. 2013.
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). (2006b) *Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*. Intergovernmental Panel on Climate Change. Disponível em: <<http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/>>. Acesso em: mar. 2013.
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). (2013) *Climate Change 2013: The Physical Science Basis*. Estocolmo: Intergovernmental Panel on Climate Change.
- INSTITUTO RIOGRANDENSE DO ARROZ (IRGA). (2013a) *Dados cultivo da soja em áreas de arroz*. Entrevista com Pesquisadora IRGA Cláudia Erna Lang. Instituto Rio Grandense do Arroz.
- INSTITUTO RIOGRANDENSE DO ARROZ (IRGA). (2013b) *Estimativa da safra de arroz 2013/2014*. Instituto Riograndense do Arroz. Disponível em: <http://www.irga.rs.gov.br>. Acesso em: out. 2013.
- INSTITUTO RIOGRANDENSE DO ARROZ (IRGA). (2018) *Anuário brasileiro do Arroz 2018*. Santa Cruz do Sul: Instituto Rio Grandense do Arroz.

MACIEL, V.G. (2014) *Avaliação do Desempenho Ambiental da Fase Agrícola no Sistema de Produto Biodiesel no Rio Grande do Sul*. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Tecnologia de Materiais, Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

MACIEL, V.G.; ZORTEA, R.B.; DA SILVA, W.M.; CYBIS, L.F.; EINLOFT, S.; SEFERIN, M. (2015) Life Cycle Inventory for the agricultural stages of soybean production in the state of Rio Grande do Sul, Brazil. *Journal of Cleaner Production*, v. 93, p. 65-74. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.01.016>

MACIEL, V.G.; ZORTEA, R.B.; GRILLO, I.B.; UGAYA, C.M.L.; EINLOFT, S.; SEFERIN, M. (2016) Greenhouse gases assessment of soybean cultivation steps in southern Brazil. *Journal of Cleaner Production*, v. 131, p. 747-753. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.04.100>

MALÇA, J.; FREIRE, F. (2012) Addressing land use change and uncertainty in the life-cycle assessment of wheat-based bioethanol. *Energy*, v.45, n.1, p.519-527. <http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2012.02.070>

POUSA, G.P.A.G.; SANTOS, A.L.F.; SUAREZ, P.A.Z. (2007) History and policy of biodiesel in Brazil. *Energy Policy*, v. 35, n. 11, p. 5393-5398. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2007.05.010>

REETZ, E. (2006) *Anuário brasileiro da soja 2006*. Brasília: Editora Gazeta Santa Cruz. 136 p.

ZORTEA, R.B.; MACIEL, V.G.; PASSUELLO, A. (2018) Sustainability assessment of soybean production in Southern Brazil: A life cycle approach. *Sustainable Production and Consumption*, v. 13, p. 102-112. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2017.11.002>