

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO**

**EMIÇÃO DE GASES DE EFEITO ESTUFA E
POTENCIAL DE AQUECIMENTO GLOBAL EM
SISTEMAS DE CULTURAS INTERCALARES AO
TUNGUE (*Aleurites fordii*)**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Maiara Figueiredo Ramires

Santa Maria, RS, Brasil

2014

**EMISSÃO DE GASES DE EFEITO ESTUFA E POTENCIAL
DE AQUECIMENTO GLOBAL EM SISTEMAS DE CULTURAS
INTERCALARES AO TUNGUE (*Aleurites fordii*)**

Maiara Figueiredo Ramires

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Área de Concentração em Biodinâmica e Manejo do Solo, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Ciência do Solo.**

Orientador: Prof. Dr. Sandro José Giacomini

Santa Maria, RS, Brasil

2014

Ficha catalográfica elaborada através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Central da UFSM, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Ramires, Maiara Figueiredo

Emissão de gases de efeito estufa e potencial de aquecimento global em sistemas de culturas intercalares ao Tungue (*Aleurites fordii*) / Maiara Figueiredo Ramires.-2014.

81 p.; 30cm

Orientador: Sandro José Giacomini
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, RS, 2014

1. Gases de efeito estufa 2. Potencial de aquecimento global 3. Oleaginosas 4. Biodiesel I. Giacomini, Sandro José II. Título.

© 2014

Todos os direitos autorais reservados a Maiara Figueiredo Ramires. A reprodução de partes ou do todo deste trabalho só poderá ser feita mediante a citação da fonte.

E-mail: maiara_agroin13@yahoo.com.br

Universidade Federal de Santa Maria
Centro de Ciências Rurais
Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo

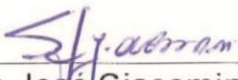
A Comissão Examinadora, abaixo assinada,
aprova a Dissertação de Mestrado

EMIÇÃO DE GASES DE EFEITO ESTUFA E POTENCIAL DE
AQUECIMENTO GLOBAL EM SISTEMAS DE CULTURAS
INTERCALARES AO TUNGUE (*Aleurites fordii*)

elaborada por
Maiara Figueiredo Ramires

como requisito parcial para obtenção do grau de
Mestre em Ciência do Solo

COMISSÃO EXAMINADORA:



Sandro José Giacomini, Prof. Dr. (UFSM)
(Presidente/Orientador)



Frederico Costa Beber Vieira, Prof. Dr. (UNIPAMPA)
(Avaliador)



Eduardo Lorensi de Souza, Dr. (UFSM)
(Avaliador)

Santa Maria, 26 de fevereiro de 2014.

“Se não sabes, aprende; se já sabes, ensina.”

(Confúcio)

***“Exige muito de ti e espera pouco dos outros.
Assim, evitarás muitos aborrecimentos.”***

(Confúcio)

***“Reconhecer o que se sabe e reconhecer o que não se sabe,
é digno daquele que sabe.”***

(Confúcio)

***“Transportai um punhado de terra todos os dias e fareis
uma montanha.”***

(Confúcio)

“Onde quer que você vá, vá com todo o coração.”

(Confúcio)

**Este trabalho é dedicado às pessoas que
sempre estiveram ao meu lado pelos
caminhos da vida, acompanhando,
apoiando e principalmente
acreditando em mim.**

**Aos meus pais
Marli e Paulo**

**Ao meu irmão
Pedro**

**Ao meu namorado
Eduardo**

AGRADECIMENTOS

À Deus, pela sua presença constante na minha vida, sem que eu precise pedir, pelo auxílio nas minhas escolhas e me confortar nas horas difíceis.

Meu eterno agradecimento aos meus pais Marli e Paulo, que nos momentos difíceis e de cansaço, deram-me apoio, carinho, incentivo e paciência para continuar e chegar ao fim desta etapa.

Ao meu irmão Pedro, que desde pequeno me ensinou diversas coisas.

Ao meu namorado Eduardo, pelo apoio e incentivo para seguir em frente nas horas em que surgia vontade de desistir, pelo seu carinho, ajuda e companheirismo. Amo você!

À todos os meus amigos, pelo apoio e momentos de alegria. Especialmente, aos meus “irmãos de coração” Ana Cristina e Rodrigo, pelo apoio, companheirismo e sólida amizade que construímos, a qual tenho certeza que será para sempre.

Aos meus colegas, bolsistas e ex-bolsistas do LABCEN: Getúlio, Rosângela, Guilherme, Alex, Redin, Pedro, Juliana, Ricardo, Majid, Raquel, Cledir, Bruno, Ismael, Willian, Adriane, Heitor, Ailson, José e Frederico pela recepção carinhosa no grupo, ajuda constante, e pela certeza de que após esses dois anos de convivência deixamos de ser apenas colegas de grupo do laboratório para nos tornarmos amigos.

À Universidade Federal de Santa Maria, ao PPGCS e ao Departamento de Solos e os seus professores e funcionários pela amizade, ajuda e excelente conhecimento científico adquirido.

À Capes pela bolsa de estudos concedida.

Ao meu orientador, professor Sandro José Giacomini pelo ensinamento, confiança e orientação, que foi capaz de me fazer trilhar por um crescimento profissional.

À banca examinadora, pela contribuição para esse trabalho.

Enfim, a todos que de alguma maneira contribuíram para a execução desse trabalho, seja pela ajuda constante ou por uma palavra de amizade.

Muito Obrigada!

RESUMO

Dissertação de Mestrado
Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo
Universidade Federal de Santa Maria, RS.

EMIÇÃO DE GASES DE EFEITO ESTUFA E POTENCIAL DE AQUECIMENTO GLOBAL EM SISTEMAS DE CULTURAS INTERCALARES AO TUNGUE (*Aleurites fordii*)

AUTOR: MAIARA FIGUEIREDO RAMIRES
ORIENTADOR: Dr. SANDRO JOSÉ GIACOMINI
Local e Data da Defesa: Santa Maria, 26 de fevereiro de 2014.

O tungue (*Aleurites fordii*) tem recebido atenção nos últimos anos como promissora fonte de matéria-prima para a produção de biodiesel. Por essa cultura iniciar a produção após três anos do plantio, surge nos primeiros anos do plantio do tungue a possibilidade do cultivo de oleaginosas intercalares em sistema agroflorestal (SAF). Culturas como o crambe, girassol e amendoim apresentam potencial para compor esses sistemas. O biodiesel gerado a partir dessas oleaginosas é um combustível renovável em que o CO₂ emitido na combustão foi previamente fixado na fotossíntese durante o crescimento da planta não havendo desta forma emissões líquidas desse gás. No entanto, emissões de gases de efeito estufa (GEE) ocorrem durante o cultivo das oleaginosas, aspecto que pode diminuir o efeito positivo do uso do biodiesel sobre a emissão de GEE para a atmosfera. O objetivo deste estudo foi quantificar as emissões de N₂O e CH₄, o rendimento de grãos e o potencial de aquecimento global (PAG) parcial (p) e total (t) em sistemas de culturas oleaginosas intercalares ao tungue em solo Argissolo. Foram avaliados quatro sistemas de cultivo: crambe/girassol/crambe (CR/GI/CR) fertilizados com adubação mineral (ADM); crambe/girassol/crambe (CR/GI/CR) fertilizados com adubação orgânica (ADO) a base de cama de frango (CF); aveia+ervilhaca/amendoim/aveia+ervilhaca (A+E/AM/A+E), cultivados sem o uso de fertilizante; e pousio/pousio/pousio (P). Foram avaliadas as emissões de N₂O, CH₄, PAG e o rendimento de grãos. Os diferentes sistemas de cultivo nas entrelinhas do tungue apresentaram emissão acumulada de N-N₂O superior em 240 a 307% em relação ao tratamento P. As diferentes fontes de N (CF e ureia) não influenciaram nas emissões acumuladas de N-N₂O. O rendimento de grãos do CR e GI não diferiram entre os tratamentos com ADO e ADM. O AME apresentou rendimento de grãos 1,4 vezes superior ao GI+ADM e GI+ADO. Quando o PAG foi realizado considerado cada cultivo, observou-se que o CR e o GI cultivados com ADM apresentaram os maiores valores de PAGp em relação aos demais cultivos. Nesses sistemas as emissões de N-N₂O e a fertilização mineral (NPK) foram as principais fontes de CO₂ eq. para o PAGp. Em todos os sistemas foi observado redução dos estoques de C no solo após 1,4 anos de condução do experimento. Com isso o ΔC do solo foi o maior contribuidor para o PAGt em todos os sistemas, seguido pelo N₂O. Os sistemas de cultivo com CR e GI fertilizados com ADO e ADM apresentaram os menores valores de PAGt e as menores relações de PAGt por unidade de grãos e óleo produzidos, indicando que esses sistemas apresentam potencial para uso em SAF com o tungue.

Palavras-chave: Gases de efeito estufa. Potencial de aquecimento global. Oleaginosas. Biodiesel.

ABSTRACT

Master Dissertation
Graduate Program in Soil Science
Federal University of Santa Maria, Brazil

GREENHOUSES GAS EMISSION AND POTENTIAL OF GLOBAL WARMING IN INTERCROPPING CROP SYSTEMS OF TUNG (*Aleurites fordii*)

AUTHOR: MAIARA FIGUEIREDO RAMIRES

ADVISOR: SANDRO JOSÉ GIACOMINI

Date and Place of Defense: Santa Maria, February 26th, 2014.

The tung (*Aleurites fordii*) has received attention in recent years as a promising source of raw material for biodiesel production. For this crop to start production after three years of planting, appears in the first year of planting tung the possibility of growing oleaginous in tree-based intercropping (TBI). Crops such as crambe, sunflower and peanuts have the potential to use in TBI. The biodiesel generated from these oilseeds is a renewable fuel that the CO₂ emitted in combustion was previously set in photosynthesis during plant growth without any net emissions of this gas. However, emissions of greenhouse gases (GHG) occur during cultivation of oilseeds, aspect that can reduce the positive effect of the use of biodiesel on GHG emissions into the atmosphere. The objective of this study was to quantify the emissions of N₂O and CH₄, yield and oil and partial (p) and total (t) global warming potential (GWP) in system with oleaginous cultivated in TBI with tung. Four cropping systems were evaluated: crambe/sunflower/crambe (AB/SU/AB) fertilized with organic manure (FOM) to base in poultry litter (PL); crambe/sunflower/crambe (AB/SU/AB) fertilized with mineral fertilizer (FMF); oat + vetch / peanut / oat + vetch (O+V / PE / O+V), grown without of the use of fertilizer; and fallow / fallow / fallow (F). Emissions of N₂O and CH₄, GWP and yield were evaluated. The different cropping systems in TBI with tung had accumulated emission of N₂O-N higher in 240-307% compared to treatment F. The different N sources (urea and CF) did not influence the cumulative emissions of N₂O-N. The grain yield of AB and SU did not differ between treatments with FOM and FMF. The PE showed grain yield 1.4 times the SU+FMF and SU+FOM. When the GWP was performed considering each crop, it is observed that the AB and SU crops with FMF showed the highest values of GWPP compared to other crops. In these systems the emissions of N₂O-N and mineral fertilizer (NPK) were the main sources of CO₂ eq. for the GWPP. In all systems was observed reduction in soil C stocks after 1.4 years of conducting the experiment. Thus the ΔC soil was the largest contributor to GWPT on all systems, followed by N₂O. The cropping systems with AB and SU fertilized with FOM and FMF showed lower values of the GWPT and smaller ratios GWPT per unit of produced grains and oil, indicating that these systems have potential for use in TBI with tung.

Keywords: Greenhouse gases. Global warming potential. Oilseeds. Biodiesel.

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO I

- FIGURA 1 - (a) Fluxos de N-N₂O, (b) N-NH₄⁺ (c) N-NO₃⁻ e (d) espaço poroso do solo saturado por água (EPSA), precipitação diária e temperatura média diária durante o período de avaliação no cultivo 1 (2012). Significado das letras e siglas: S: semeadura dos cultivos; R: ressemeadura dos cultivos; N: aplicação de ureia em cobertura no tratamento CR+ADM; M: manejo do tratamento A+E; CC: colheita dos tratamentos CR+ADM e CR+ADO.....28
- FIGURA 2 - (a) Fluxos de N-N₂O, (b) N-NH₄⁺ (c) N-NO₃⁻ e (d) espaço poroso do solo saturado por água (EPSA), precipitação diária e temperatura média diária durante o período de avaliação no cultivo 2 (2012/13). Significado das letras e siglas: S: semeadura dos cultivos; R: ressemeadura dos cultivos; N: aplicação de ureia em cobertura no tratamento GI+ADM; CG: colheita dos tratamentos GI+ADM e GI+ADO; CA: colheita do tratamento AM..29
- FIGURA 3 - (a) Fluxos de N-N₂O, (b) N-NH₄⁺ (c) N-NO₃⁻ e (d) espaço poroso do solo saturado por água (EPSA), precipitação diária e temperatura média diária durante o período de avaliação no cultivo 3 (2012). Significado das letras e siglas: S: semeadura dos cultivos; N: aplicação de ureia em cobertura no tratamento CR+ADM; M: manejo do tratamento A+E; CC: colheita dos tratamentos CR+ADM e CR+ADO..30
- FIGURA 4 - Fluxos de C-CH₄ durante o período de avaliação nos (a) cultivo 1 (2012), (b) cultivo 2 (2012/13) e (c) cultivo 3 (2013). Significado das letras e siglas: S: semeadura dos cultivos R: ressemeadura dos cultivos; N: aplicação de ureia em cobertura no tratamento CR+ADM e GI+ADM; M: manejo do tratamento A+E; CC: colheita dos tratamentos CR+ADM e CR+ADO; CG: colheita dos tratamentos GI+ADM e GI+ADO; CA: colheita do tratamento AM..32

CAPÍTULO II

- FIGURA 1 - Potencial de aquecimento global parcial (PAGp) em cada período de cultivo, nos anos de 2012 e 2013.....60
- FIGURA 2 - Potencial de aquecimento global total (PAGt) durante 1,4 anos de cultivo, de 2012 a 201362

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO I

TABELA 1 – Cronograma das principais operações de campo realizadas durante o período experimental.....	22
TABELA 2 – Concentração de N e C e quantidade de MS aplicadas no solo em dose única (na semeadura) de CF, nos cultivos que foram fertilizados com adubo orgânico.....	24
TABELA 3 – Emissão cumulativa de C-CH ₄ , N-N ₂ O, rendimento de grãos e fator de emissão (% do N aplicado) durante os três períodos de cultivos em 2012 e 2013	34

CAPÍTULO II

TABELA 1 – Cronograma das principais operações de campo realizadas durante o período experimental.....	53
TABELA 2 – Concentração de N e C e quantidade de MS aplicadas no solo em dose única (na semeadura) de CF, nos cultivos que foram fertilizados com adubo orgânico.....	55
TABELA 3 – Emissões acumuladas de N-N ₂ O e C-CH ₄ , estoque inicial, estoque final e ΔC do solo em 1,4 anos, de 2012 a 2013.....	58
TABELA 4 – Gastos energéticos das operações realizadas no experimento	59
TABELA 5 – Contribuição das emissões de N ₂ O e CH ₄ , ΔC do solo, dos manejos (colheita, rolo-faca e semeadura) e adubações NPK, dos defensivos agrícolas e do transporte a aplicação da CF para o potencial de aquecimento global parcial (PAGt) durante 1,4 anos.....	62
TABELA 6 – Rendimento de grãos e de óleo para cada sistema de sucessão de culturas intercalares ao tungue, relação entre o potencial de aquecimento global total (PAGt) e rendimento de grãos (PAGt/Rend. Grãos) e relação entre o potencial de aquecimento global total (PAGt) e rendimento de óleo (PAGt/Rend. óleo), no período de 1,4 anos	63

LISTA DE ANEXOS

ANEXO 1 – Vista aérea do experimento	79
ANEXO 2 – Croqui do experimento	80
ANEXO 2 – Coleta de GEE	81

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO GERAL	14
2 CAP I – EMISSÃO DE ÓXIDO NITROSO E METANO EM SISTEMAS DE CULTURAS INTERCALARES AO TUNGUE (ALEURITES FORDII)	18
2.1 Introdução	19
2.2 Material e métodos	21
2.2.1 <i>Desenho experimental</i>	21
2.2.2 <i>Avaliação das emissões de N₂O e CH₄ e análises complementares</i>	24
2.2.3 <i>Produtividade de biomassa e rendimento de grãos</i>	25
2.2.4 <i>Análise estatística</i>	26
2.3 Resultados	26
2.3.1 <i>Temperatura do ar, precipitação, EPSA e N mineral do solo</i>	26
2.3.2 <i>Fluxos de N-N₂O</i>	27
2.3.3 <i>Fluxos de C-CH₄</i>	31
2.3.4 <i>Emissões acumuladas de N-N₂O, fator de emissão, rendimento de grãos e relação entre o N-N₂O emitido por kg de grãos produzidos</i>	33
2.3.5 <i>Emissões acumuladas de C-CH₄</i>	34
2.4 Discussão	35
2.4.1 <i>Fluxos de N-N₂O</i>	35
2.4.2 <i>Fluxos de C-CH₄</i>	38
2.4.3 <i>Emissões acumuladas de N-N₂O, fator de emissão, rendimento de grãos e relação entre o N-N₂O emitido por kg de grãos produzidos</i>	39
2.4.4 <i>Emissão acumulada de C-CH₄</i>	42
2.5 Conclusões	43
Referências	43
3 CAP II – POTENCIAL DE AQUECIMENTO GLOBAL EM SISTEMA AGROFLORESTAL PARA PRODUÇÃO INTENSIVA DE MATÉRIA-PRIMA PARA PRODUÇÃO DE BIODIESEL	49
Resumo	49
3.1 Introdução	50
3.2 Material e métodos	52
3.2.1 <i>Desenho experimental</i>	52

3.2.2	<i>Avaliação das emissões de N₂O e CH₄</i>	55
3.2.3	<i>Produtividade de biomassa e rendimento grãos</i>	56
3.2.4	<i>Avaliação dos estoques de carbono no solo</i>	57
3.2.5	<i>Potencial de aquecimento global (PAG)</i>	57
	<i>Tratamentos</i>	58
3.2.6	<i>Análise estatística</i>	59
3.3	Resultados	59
3.3.1	<i>Potencial de aquecimento global parcial (PAGp)</i>	59
3.3.2	<i>Potencial de aquecimento global total (PAGt) e relação PAGt/rend. de grãos/óleo</i>	61
3.4	Discussão	64
3.4.1	<i>Potencial de aquecimento global parcial (PAGp)</i>	64
3.4.2	<i>Potencial de aquecimento global total (PAGt) e relação PAGt/Rend. de grãos/óleo</i>	67
3.5	Conclusões	70
	Referências	71
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	75
	ANEXOS	78

1 INTRODUÇÃO GERAL

O investimento em fontes renováveis de energia vem sendo feito de maneira significativa em muitos países. O biodiesel é apontado como uma alternativa ao combustível fóssil, podendo ser produzido a partir de uma série de matérias-primas, tais como culturas oleaginosas, óleos residuais e gordura animal (BERGHOUT, 2008; GNANSOUNOU et al., 2009; GBEP, 2011; CARVALHO, 2012). O uso do biodiesel em substituição total ou parcial ao diesel de origem fóssil possui entre outras finalidades, reduzir as emissões de GEE, principalmente o dióxido de carbono (CO_2) para a atmosfera (CARVALHO, 2012). A maior parte das emissões do CO_2 provenientes da queima do biodiesel é anulada pela captura de carbono (C) através do processo de fotossíntese, realizado por plantas oleaginosas utilizadas na produção da matéria-prima para a fabricação do mesmo. Em termos de mudanças climáticas e balanço de CO_2 , a expansão e intensificação agrícola para a produção de biodiesel prevê a redução em 78% das emissões de CO_2 devido a sua reciclagem (TRZECIAK et al., 2008; DHILLON & WUEHLISCH, 2013). Porém, esta vantagem deve ser analisada frente às emissões de outros GEE mais potentes em termos de aquecimento global, que podem ser emitidos durante o cultivo de culturas oleaginosas, que servirão de matéria-prima para a fabricação do biodiesel (CARTER et al., 2012).

Dentre esses outros GEE, destaque pode ser dado ao óxido nitroso (N_2O) e ao metano (CH_4) que são considerados os principais GEE, devido a sua elevada capacidade de aquecimento e seu tempo de permanência na atmosfera. O N_2O e o CH_4 têm um potencial de aquecimento 296 e 23 vezes maior em relação ao CO_2 , respectivamente, o que reflete em um expressivo efeito do forçamento radiativo da atmosfera, mesmo sendo emitido em menores quantidades (IPCC, 2007). A produção de N_2O está associada principalmente à dinâmica do N no solo, sendo gerado por processos microbianos de nitrificação (BREMNER & BLACKMER, 1978) e desnitrificação (FIRESTONE & DAVIDSON, 1989). O uso de fertilizantes nitrogenados é apontado como um dos principais fatores estimuladores da emissão de N_2O para a atmosfera (WEBB et al., 2014). Enquanto que o CH_4 é produzido durante a decomposição de resíduos orgânicos em condições anóxicas,

principalmente a partir da digestão fermentativa pelos bovinos e cultivo de arroz irrigado. Em solos aerados o CH₄ pode ser oxidado até CO₂ por metanotrofia, podendo o solo atuar como um dreno deste gás em condições aeradas. Estudos apontam que o uso da adubação nitrogenada pode reduzir essa capacidade de absorção de CH₄ pelo solo (KESSAVALOU et al., 1998; CHAN & PARKIN, 2001). Assim, sistemas de cultivo que utilizam fertilizantes nitrogenados, bem como adição de resíduos vegetais ao solo, podem favorecer o aumento das emissões de N₂O e CH₄ para a atmosfera, neutralizando o efeito benéfico do uso do biodiesel.

Além das emissões de N₂O e CH₄ na fase agrícola, o cultivo dessas culturas requer entrada de energia, com custos de carbono (C) (CLAIR et al., 2008), e as emissões indiretas de gases de efeito estufa (GEE) resultantes da utilização de insumos e operações agrícolas também devem ser atribuídas às atividades agrícolas (CESCHIA et al., 2010). A contribuição indireta nas emissões ocorre devido ao consumo de combustíveis fósseis para a realização das operações agrícolas e produção de insumos agrícolas (fertilizantes, corretivos, herbicidas...).

O gasto energético devido às operações usuais de semeadura e colheita também deve ser contabilizado na avaliação do potencial de aquecimento global (PAG) dos sistemas de manejo (ROBERTSON et al., 2000; LAL, 2004; MOISER et al., 2005).

No Brasil, diversas são as plantas perenes e anuais que podem ser cultivadas para obtenção de matéria-prima para a produção de biodiesel. Dentre elas, o tungue (*Aleurites fordii*) tem recebido atenção nos últimos anos, sendo pertencente a família Euphorbiaceae, nativo da Ásia, é cultivado predominantemente na China. É plantado comercialmente também na América do Sul, Estados Unidos e na África, sendo que no Brasil foi introduzido no início do século XX (RADOMSKI, 2007). Sua importância econômica está na produção de óleo, obtido a partir do esmagamento das sementes, sendo utilizado principalmente na indústria de resinas, tintas e madeiras, além de apresentar as propriedades necessárias para a produção de biodiesel. A produção de frutos inicia após três anos de plantio e estabiliza a produção aos cinco anos que podem manter-se até os 30 anos (MUNARINI et al., 2009). Nos primeiros anos do plantio do tungue existe a possibilidade do cultivo de oleaginosas intercalares em sistema agroflorestal (SAF), assim, otimiza-se o uso das áreas, possibilitando a produção de matéria-prima para biodiesel desde o início do plantio do tungue.

Dentre as culturas anuais com potencial para uso em SAF no Sul do Brasil pode se dar destaque a culturas como o crambe (*Crambe abyssínica*), o girassol (*Helianthus annuus*) e o amendoim (*Arachis hypogaea L*). O crambe é originário do Mediterrâneo, da família Brassicaceae, sendo uma planta anual e hiberna. Ele vem sendo produzido desde a Primeira Guerra Mundial em Países da Europa e a partir da década de 70 nos Estados Unidos (KNIGHTS, 2002). No Brasil as pesquisas com crambe tiveram início em 1995 pela Fundação MS, objetivando avaliar seu comportamento na formação de cobertura do solo no sistema de plantio direto (PITOL, 2008), porém, com o advento da produção de biodiesel as pesquisas se voltaram para a produção e extração do óleo, por se tratar de uma oleaginosa de inverno, com um rendimento de aproximadamente 38% de óleo, se tornando assim uma excelente alternativa de matéria-prima o biodiesel durante o inverno (PITOL et al., 2010). O girassol é uma cultura anual de verão, originária da América do Norte, que apresenta características favoráveis sob o ponto de vista agrônomo, como ciclo curto, elevada qualidade e bom rendimento em óleo que varia em torno de 40 e 45% (VENTURA et al., 2010). Seus principais produtos são a ração animal e o óleo produzido de suas sementes, que além de ser amplamente utilizado na alimentação humana, pode dar origem ao biodiesel. A cultura do amendoim, também é alternativa de oleaginosa cultivada no verão. Ele é originário da América é uma cultura anual herbácea, ramificada, de porte ereto e pequeno, da família Fabacea. No Brasil o estado de São Paulo é o maior produtor de amendoim do país, por ser utilizado como planta para a recuperação do solo na reforma de canaviais. O óleo de amendoim foi também o primeiro a ser utilizado na Alemanha, no ano de 1893, quando Rudolph Diesel desenvolveu o primeiro motor eficiente a ciclo diesel. No Brasil, cerca de 50% da produção do amendoim atende ao mercado de consumo *in natura* e 40%, os mercados de confeitaria e óleo-química, com destaque ao setor de agroenergia, o qual tem demonstrado expansão no cenário atual com esta oleaginosa (SANTOS et al., 2012).

Segundo Carvalho (2012), a redução do uso de combustíveis fósseis, através da produção de fontes renováveis de energia, somado a sistemas de produção mais eficientes podem ser uma das alternativas para reduzir as emissões de GEE para a atmosfera. Entre esses sistemas mais eficientes, além do cultivo em SAF, sucessão de culturas com plantas de coberturas, as oleaginosas podem ser adubadas com fontes orgânicas, contribuindo para economia de fertilizantes minerais, mantendo o

rendimento das culturas e podendo diminuir o PAG dentro da cadeia de produção da matéria-prima para o biodiesel.

O Brasil tem potencial para ser um grande exportador mundial, principalmente no contexto atual de mudanças climáticas (LIMA, 2004). O Brasil é um dos países com maior potencial para a produção de combustíveis a partir de biomassa e explora menos de um terço de sua área agriculturável, o que constitui a maior fronteira para expansão agrícola do mundo, cerca de 150 milhões de hectares. Portanto, o país tem a possibilidade de incorporar novas áreas à agricultura para geração de energia sem competir com a agricultura para alimentação. Assim, áreas que não são utilizadas para a produção de alimentos (áreas de pastagens degradadas, reflorestamento e as marginalizadas) somam cerca de 200 milhões de hectares (TRZECIAK et al., 2008) e poderiam ser utilizadas na produção de matéria-prima para o biodiesel. Sendo assim, o conhecimento do padrão das emissões de N_2O e CH_4 e sua contribuição para o PAG se faz necessária para identificar práticas de manejos e sistemas de produção que tenham potencial mitigador dessas emissões.

Nesse contexto, o presente trabalho buscou analisar os aspectos relacionados à elaboração de um balanço de emissões de N_2O e CH_4 para a produção de matéria-prima para o biodiesel produzido a partir diferentes plantas oleaginosas, comparando o uso de adubação mineral e a orgânica em sistema de cultivos com oleaginosas e de plantas de cobertura intercalares ao tungue em sistema agroflorestal. Sendo assim, o objetivo deste estudo foi quantificar as emissões de N_2O e CH_4 , o rendimento de grãos e o potencial de aquecimento global (PAG) parcial (p) e total (t) em sistemas de culturas oleaginosas intercalares ao tungue em Argissolo.

2 CAP I – EMISSÃO DE ÓXIDO NITROSO E METANO EM SISTEMAS DE CULTURAS INTERCALARES AO TUNGUE (*Aleurites fordii*)

Resumo

O biodiesel tem sido sugerido como uma alternativa ao diesel de origem fóssil, pois é fonte de energia renovável. Entretanto, embora haja o benefício da redução das emissões de CO₂, podem ser produzidos outros dois potentes gases de efeito estufa (GEE) na fase agrícola, como o óxido nitroso (N₂O) e o metano (CH₄). Portanto, o presente trabalho teve por objetivo quantificar as emissões de N₂O e CH₄ e o rendimento de grãos em sistemas culturas intercalares ao tungue. O estudo foi realizado na área experimental do Departamento de Solos da UFSM, no Sul do Brasil. O delineamento experimental utilizado foi de blocos ao acaso com quatro repetições, foram avaliados quatro sistemas de produção compostos por três períodos culturais (1º, 2º e 3º cultivos) nos anos de 2012 e 2013. Cada sistema foi composto pelos seguintes sistemas de sucessão de culturas: S1 – crambe/girassol/crambe (CR/GI/CR), composto por crambe e girassol com fertilização mineral (CR+ADM e GI+ADM); S2 – crambe/girassol/crambe (CR/GI/CR), composto por crambe e girassol com fertilização orgânica (CR+ADO e GI+ADO); S3 – aveia+ervilhaca/amendoim/aveia+ervilhaca (A+E/AM/A+E), composto por 60% de aveia + 40% de ervilhaca sem fertilização (A+E) e amendoim sem fertilização (AM) e, S4 - pousio/pousio/pousio (P). As amostras de ar para a determinação dos fluxos de N₂O e CH₄ foram coletadas através do método da câmara estática e a determinação da concentração desses GEE foi realizada por cromatografia gasosa. Os diferentes sistemas de culturas (CR/GI/CR) com fertilização mineral (NPK), CR/GI/CR com fertilização orgânica à base de cama de frango (CF) e A+E/AM/A+E sem fertilização nas entrelinhas do tungue, apresentaram emissão acumulada de N-N₂O semelhantes entre si e tiveram emissão acumulada de N-N₂O 240, 307 e 235% superior ao tratamento P, respectivamente. Já o sistema C/G/C com fertilização orgânica apresentou significativamente a menor capacidade de atuar como dreno de C-CH₄, apresentando emissão acumulada de C-CH₄ 77% superior ao P. O AME apresentou rendimento de grãos 1,4 vezes superior ao GI+ADM e GI+ADO e o rendimento de grãos do CR e GI não diferiram entre os tratamentos que foram fertilizados com ADM e ADO. Os sistemas de cultivos com inclusão das oleaginosas não diferem quanto as emissões de óxido nitroso e apresentaram menores taxas de oxidação de metano, quando comparado ao sistema em pousio. As diferentes fontes de nitrogênio aplicadas nos sistemas com culturas oleaginosas não apresentaram distinção quanto às emissões de óxido nitroso, sendo que a adubação orgânica reduziu a capacidade de oxidação de metano do solo. A fonte de N não altera a relação g de N-N₂O kg⁻¹ de grão produzido.

Palavras chave: Biodiesel, Crambe (*Crambe abyssínica*), Girassol (*Helianthus annuus*), Gases de efeito estufa.

2.1 Introdução

A queima de combustíveis fósseis é responsável por 75% das emissões antrópicas de dióxido de carbono (CO_2) (Denman et al., 2007) e o aumento dos custos deles junto às preocupações com as emissões de gases de efeito estufa (GEE) têm suscitado um interesse na produção de biocombustíveis, como alternativas aos combustíveis fósseis (Beaudette et al., 2010; CSIRO, 2011). O biodiesel tem sido sugerido como uma alternativa, pois é fonte de energia renovável com impactos ambientais mais baixos do que os combustíveis fósseis, pois ocorre a reciclagem carbono (C) a partir da atmosfera, reduzindo os níveis de poluição, principalmente o CO_2 , em até 80% (Trzeciak et al., 2008; Berghout et al., 2008; Beaudette et al., 2010; GBEP, 2011). Os biocombustíveis podem contribuir não só para diminuir a dependência dos combustíveis fósseis, mas também para criar novos fluxos de renda para os agricultores (IEA Bioenergy, 2009). Assim, a redução do uso de combustíveis fósseis através da utilização de fontes renováveis de energia e sistemas de produção mais eficientes pode ser alternativa para mitigar as emissões de GEE (GBEP, 2011).

Entretanto, embora haja o benefício da redução das emissões de CO_2 , durante a produção de matéria-prima para o biodiesel podem ser produzidos outros dois potentes GEE, como o óxido nitroso (N_2O) e o metano (CH_4), compensando as reduções nas emissões de CO_2 (Beaudette et al., 2010). O N_2O e o CH_4 têm potencial de aquecimento 296 e 23 vezes maiores em relação ao CO_2 , respectivamente, sendo importantes mesmo quando emitidos em menores quantidades (IPCC, 2007). O N_2O é gerado por nitrificação (Bremner e Blackmer, 1978) e desnitrificação (Firestone e Davidson, 1989), e pode ser perdido após a aplicação de fertilização nitrogenada e dejetos de animais, em formas que levam a poluição (Webb et al., 2014). O CH_4 é produzido por metanogênese em condições anaeróbicas, especialmente em solo inundado (Yang e Chang, 2001).

Dentre as fontes emissoras de N_2O e CH_4 , a agricultura é um dos setores que mais contribui, sendo responsável por 80% e 55% das emissões de N_2O e CH_4 (IPCC, 2007) e a fase de cultivo das culturas é a principal fonte das emissões na cadeia de produção de biodiesel atingindo mais de 50% do total para o biodiesel de girassol, por exemplo (Spugnoli et al., 2012), indicando que esforços deverão ser

realizados em estratégias e tecnologias mais limpas de produção de matéria-prima para o biodiesel (Snyder et al., 2009).

Assim, na busca de fontes de energias renováveis o governo brasileiro lançou a lei federal 11.097/2005, que estabeleceu para 2008 a obrigatoriedade da mistura de 2% de biodiesel ao diesel, percentual esse que se elevou para 5% em 2013 e se elevará para 10% a partir de 2020 (Brasil, 2005). O Brasil é um dos países com maior potencial para a produção de combustíveis a partir de biomassa e explora menos de um terço de sua área agriculturável, o que constitui a maior fronteira para expansão agrícola do mundo, cerca de 150 milhões de hectares. Desta forma, o país tem a possibilidade de incorporar novas áreas à agricultura para geração de energia sem competir com a agricultura para alimentação. Assim, áreas que não são utilizadas para a produção de alimentos como as de pastagens degradadas, de reflorestamento e as atualmente marginalizadas somam cerca de 200 milhões de hectares (Trzeciak et al., 2008) e poderiam ser utilizadas na produção de matéria-prima para o biodiesel.

Nesse contexto, existe uma necessidade, portanto, de testar novos sistemas de cultivo que possibilitem aos agricultores devolver essas áreas para a produção de culturas para produção de biocombustíveis (Beaudette et al., 2010). Uma opção é o sistema agroflorestal (SAF) com produção intensiva de matéria-prima para o biodiesel, que pode ser uma possibilidade para um melhor aproveitamento dessas áreas, sem competir com a agricultura para a alimentação. Uma das espécies potenciais para compor o SAF é o tungue (*Aleurites fordii*), planta que produz óleo, introduzida no Brasil no início do século XX e cultivado no Sul do Brasil. Nessa região, obteve-se um rendimento médio de 40% de óleo do tungue e o rendimento em biodiesel foi de 87% (Kautz et al., 2008). O tungue começa a produzir frutos após três anos de plantio e estabiliza a produção aos cinco anos, mantendo-se estável até os 30 anos (Munarini et al., 2009), o que representa uma oportunidade de cultivar plantas oleaginosas intercalares entre as linhas de tungue enquanto este não entra em produção estável. Entre as plantas oleaginosas destaca-se o crambe (*Crambe abyssínica*), o girassol (*Helianthus annuus*) e o amendoim (*Arachis hypogaea*). Essas culturas apesar de serem produzidas em menor escala, apresentam um alto teor de óleo na sua composição entre 38%, 40% e 49%, respectivamente, (Abdalla et al., 2008; Jasper et al., 2010; Zobiole et al., 2010) e podem ser utilizadas em SAF na produção de matéria-prima para o biodiesel. Entretanto, para manter o

rendimento de grãos a fertilização com N é necessária, porém, essa adição de N no solo pode gerar N_2O e se fontes orgânicas de N forem utilizadas, podem adicionar C, gerando CH_4 .

No Brasil não existem estudos que avaliaram as emissões de N_2O e CH_4 durante a produção da matéria-prima para o biodiesel em SAF. Muitos estudos têm medido apenas as emissões periódicas, ao invés de uma base anual (Snyder et al., 2009). Assim, o conhecimento do padrão das emissões anuais desses gases se faz necessário, para identificar sistemas de cultivos com oleaginosas voltados para a produção de matéria-prima para o biodiesel, que tenham potencial mitigador dessas emissões. Este artigo apresenta os primeiros resultados sobre as emissões de N_2O e CH_4 em SAF voltados à produção intensiva de matéria-prima para o biodiesel, sob condições edafoclimáticas do Sul do Brasil. Portanto, o presente trabalho teve por objetivo quantificar as emissões de N_2O e CH_4 e o rendimento de grãos em sistemas culturas intercalares ao tungue.

2.2 Material e métodos

2.2.1 Desenho experimental

O experimento foi realizado na área experimental do Departamento de Solos na Universidade Federal de Santa Maria - UFSM ($29^{\circ}42'S$, $53^{\circ}42'W$; cerca de 90 m de altitude), Rio Grande do Sul, Brasil. O clima do local é subtropical úmido (tipo Cfa2 na classificação de Köppen) com precipitação média anual de 1.686 mm e temperatura média anual de $19,3^{\circ}C$. O solo da área experimental é classificado como Argissolo Vermelho distrófico arênico (Embrapa, 2006). As características do solo na camada de 0-0,1 m no início das avaliações foram as seguintes: carbono orgânico 1,06%; pH – 5,6; densidade – $1,5\text{ g cm}^{-3}$; areia – 61,3%; silte – 25,6%; argila – 12,8%; $30,1\text{ mg dm}^{-3}$ de P e $108,0\text{ mg dm}^{-3}$ de K extraído por Mehlich-1.

O experimento consistiu de quatro sistemas de cultivo intercalares ao tungue em parcelas de 40 m^2 ($4 \times 10\text{ m}$) distribuídas no delineamento experimental de blocos ao acaso com quatro repetições, conforme o croqui (Anexo 2). Em cada parcela se encontravam duas plantas de tungue. No plantio do tungue foram utilizadas plantas enxertadas, sendo os porta enxertos obtidos de sementes e as copas, a partir de garfos selecionados de plantas a campo. As mudas de tungue

foram plantadas em 27/10/2011 no espaçamento entre plantas de 4 x 5 m. Após 212 dias do plantio do tungue, quando o mesmo se encontrava com 1,0 m de altura, tiveram início os cultivos intercalares: crambe/girassol/crambe (CR/GI/CR) fertilizados com adubação mineral (ADM); crambe/girassol/crambe (CR/GI/CR) fertilizados com adubação orgânica (ADO); aveia+ervilhaca/amendoim/aveia+ervilhaca (A+E/AM/A+E), cultivados sem o uso de fertilizante; e pousio/pousio/pousio (P). O CR e o consórcio A+E foram cultivados de maio a outubro em 2012 (Cultivo 1) e de julho a outubro de 2013 (Cultivo 3). Já o GI e o AM foram cultivados de novembro a abril de 2013 (Cultivo 2). No sistema sem culturas as parcelas do tratamento P foram mantidas livres de plantas invasoras durante os três cultivos. Na tabela 1 são apresentadas em ordem cronológica as principais operações realizadas durante o período experimental.

Tabela 1

Cronograma das principais operações de campo realizadas durante o período experimental.

Operação de campo	Períodos de cultivo		
	Cultivo 1 (2012) ¹	Cultivo 2 (2012/13)	Cultivo 3 (2013)
Semeadura	17 maio 2012	02 novembro 2012	06 junho 2013
Primeira avaliação de N ₂ O e CH ₄	18 maio 2012	03 novembro 2012	07 junho 2013
Ressemeadura ²	08 junho 2012	26 novembro 2012	-
Aplicação de N em cobertura	12 julho 2012	03 janeiro 2013	17 junho 2013
Manejo do consórcio	28 setembro 2012	-	11 outubro 2013
Colheita de grãos	17 outubro 2012	26 março (GI) e 20 abril 2013 (AM)	15 outubro 2013
Última avaliação de N ₂ O e CH ₄	29 outubro 2012	04 junho 2013	15 outubro 2013

¹ Nos cultivos 1 e 3 foram cultivadas as culturas de crambe (CR) e do consórcio de aveia + ervilhaca (A+E) e no cultivo 2 foram cultivados o girassol (GI) e o amendoim (AM); ² A ressemeadura foi realizada apenas para o CR e no GI no cultivo 1 e 2, respectivamente.

A semeadura de todas as culturas foi realizada manualmente sem prévio preparo do solo entre as linhas de plantio do tungue. Junto a linha de plantio do tungue permaneceu uma faixa sem cultivo de 0,80 m x 5 m (4 m²) quando cultivados o CR, A+E e AM e de 0,84 m x 5 m (4,2 m²) no cultivo do GI. No CR o espaçamento

utilizado entre linhas foi de 0,40 m e densidade de 300 mil plantas ha^{-1} da cultivar FMS Brilhante. No terceiro cultivo, no momento da semeadura do CR nas parcelas dos tratamentos com ADM e ADO, respectivamente, apresentavam na superfície do solo 5,4 e 6,8 Mg ha^{-1} de resíduos culturais de GI. A semeadura do GI nos tratamentos ADM e ADO foi realizada na presença de 2,5 Mg ha^{-1} de resíduos culturais de CR. A cultivar utilizada foi um híbrido simples Dow AgroScience M734, com espaçamento de 0,45 m entre linhas e densidade de 30 mil plantas ha^{-1} . A semeadura do consórcio A+E foi realizada a lanço, sendo que no terceiro cultivo foi semeado sobre cobertura de 6,0 Mg ha^{-1} de restos culturais do AM. A cultivar de AM utilizada foi a Tatu, sendo realizada a semeadura em covas sob 3,2 Mg ha^{-1} de resíduos culturais do consórcio A+E. O espaçamento utilizado para o AM foi de 0,45 m entre linhas e uma densidade de 100 mil plantas ha^{-1} .

No sistema de cultivo com o uso de ADM as quantidades de NPK utilizadas foram as seguintes: 15 kg ha^{-1} de N, 30 kg ha^{-1} de P_2O_5 e 25 kg ha^{-1} de K_2O no momento da semeadura, nas formas de ureia, superfosfato triplo (SFT) e cloreto de potássio (KCL), respectivamente, e de 45 kg ha^{-1} de N (ureia) em cobertura aos 56 dias no CR em 2012, aos 63 dias no GI em 2012/2013 e aos 33 dias no CR em 2013. No sistema de cultivo com o uso de ADO, a cama de frango (CF) foi utilizada como fonte de nutrientes para as culturas. Nos três cultivos a CF era proveniente de aviário de criação de frangos de corte, com uma média de cinco lotes de frangos sobre cama de maravalha. A dose de CF utilizada em cada cultivo foi definida a fim de fornecer quantidade de N equivalente àquela utilizada nos tratamentos com fertilizante mineral. A definição da dose de CF foi baseada na recomendação de adubação orgânica da Comissão de Química e Fertilidade do Solo (CQFS - RS/SC, 2004), que considera que 50% do N total presente nesses materiais orgânicos estarão disponíveis à cultura em sucessão a aplicação. A adubação orgânica foi aplicada em dose única na superfície do solo imediatamente após a semeadura, correspondendo aproximadamente a 120 $\text{kg de N total ha}^{-1}$ (60 $\text{kg de N disponível ha}^{-1}$). Os teores de matéria seca (MS), N total e N mineral (amoniacoal e nítrico) foram analisados conforme Tedesco et al. (1995), sem secagem prévia (Tabela 2).

Tabela 2

Concentração de N e C e quantidade de MS aplicadas no solo em dose única (na semeadura) de CF, nos cultivos que foram fertilizados com adubo orgânico.

Tratamentos ¹	Dose aplicada	MS	C	MS	N total	N amoniacal	N nítrico
	Mg ha ⁻¹	-----%-----		-----Mg ha ⁻¹ -----		-----kg ha ⁻¹ -----	
CR+ADO - 2012	6,6	65	30	4,4	119,3	38,2	18,6
GI+ADO – 2012/13	6,2	63	36	3,9	119,7	31,9	16,1
CR+ADO - 2013	5,4	68	29	3,7	119,4	32,1	17,2

¹CR+ADO: crambe fertilizado com adubação orgânica; GI+ADO: girassol fertilizado com adubação orgânica.

2.2.2 Avaliação das emissões de N₂O e CH₄ e análises complementares

Durante a condução do experimento foram realizadas 104 coletas de amostras de ar em 510 dias, sendo que no primeiro cultivo em 2012 (165 dias) foram realizadas 36 coletas, no segundo cultivo em 2012/2013 (214 dias) 40 coletas e no terceiro cultivo em 2013 (131 dias) 28 coletas. Durante cada cultivo as avaliações dos fluxos de N₂O e CH₄ iniciaram-se no dia posterior à semeadura das culturas e foram intensificadas após a aplicação das adubações, manejos, colheita e adição de resíduos culturais ao solo. O método utilizado para a coleta das amostras de ar foi o da câmara estática fechada (Mosier, 1989). As amostras de ar para a determinação da concentração de N₂O e CH₄ foram coletadas com o auxílio de um dispositivo composto por uma base em aço galvanizado de 0,4 x 0,4 m, inserida a 0,1 m no solo, onde era encaixada uma câmara metálica (0,4 x 0,4 x 0,2 m) para a coleta das amostras de ar. Na parte superior da base existia uma calha que no momento das coletas era preenchida com água para vedação entre a base e a câmara, evitando trocas gasosas com o ambiente externo. As amostras de ar foram coletadas com seringas de polipropileno, em três tempos: 0, 15 e 30 minutos após o fechamento das câmaras. As amostras de ar foram analisadas no máximo 24 h após as coletas, por cromatografia gasosa (Shimadzu GC – 2014 modelo Greenhouse), em um cromatógrafo equipado com um detector com captura de elétrons ECD (Electron Capture Detection) um detector de ionização de chama (FID), para quantificar a concentração de N₂O e CH₄ nas amostras de ar. Possíveis vazamentos e contaminação de amostras dentro das seringas foram corrigidos utilizando a mesma

metodologia que Rochette e Bertrand (2003) adotaram. As perdas foram estimadas entre 3 e 12% após 2 e 32 h de armazenamento, respectivamente, sendo as concentrações de N_2O corrigidas por esses valores.

Os fluxos de N_2O e CH_4 foram calculados considerando-se a variação das concentrações dos gases dentro da câmara durante o período que esta permaneceu fechada, o volume da câmara, a área do solo ocupada por esta e o peso molecular dos gases N_2O e CH_4 (Jantalia et al., 2008). Sendo, o volume molar do gás, corrigido para a temperatura no interior da câmara medida no momento de cada amostragem.

Os fluxos acumulados de N_2O e CH_4 foram calculados a partir da média dos fluxos de N_2O entre duas coletas consecutivas, multiplicando-se o valor resultante pelo intervalo de tempo, em dias, decorrido entre as duas coletas. Para o cálculo da quantidade de N_2O e CH_4 emitidas por área ($g\ ha^{-1}$) foi considerada a emissão de N_2O e CH_4 da área com e sem cultivo. A emissão da faixa sem cultivo junto à linha de plantio do tungue foi considerada equivalente aquela do sistema com pousio. Isso em função de que medidas da emissão de N_2O e CH_4 realizadas nessa faixa durante os três cultivos indicaram que os fluxos de N_2O e CH_4 foram semelhantes aos obtidos no pousio (dados não mostrados).

Durante as coletas das amostras de ar foram monitorados também os teores de N mineral amônio ($N-NH_4^+$) e nitrito ($N-NO_2^-$) + nitrato ($N-NO_3^-$) e o espaço poroso saturado por água (EPSA), na camada de solo de 0-10 cm. O N mineral das amostras de solo coletadas foi extraído e determinado conforme metodologia descrita por Tedesco et al. (1995).

2.2.3 Produtividade de biomassa e rendimento de grãos

A avaliação da matéria seca (MS) (dados analisados e não mostrados) e o rendimento de grãos foram realizados na maturação fisiológica das culturas do CR, AM e GI. No consórcio A+E foi avaliada apenas a produção de MS no florescimento das plantas consorciada. Para a determinação da MS foram coletadas plantas de uma área conhecida dentro da área útil da parcela. As amostras coletadas foram submetidas à secagem em estufa a $65^\circ C$ até massa constante. O rendimento de grãos foi determinado coletando-se plantas da área útil da parcela e após a debulha manual, a umidade dos grãos foi corrigida para 13% no CR e GI e 8% no AM.

2.2.4 Análise estatística

Os dados referentes à emissão acumulada de N_2O e CH_4 e de rendimento de grãos foram submetidos ao teste t LSD (Least Significant Difference) a 5% de probabilidade para a comparação de médias, utilizando-se o pacote estatístico SISVAR (Ferreira, 2000).

2.3 Resultados

2.3.1 Temperatura do ar, precipitação, EPSA e N mineral do solo

A temperatura média do ar variou de 4 a 26°C no cultivo 1 (Fig. 1d), de 7 a 33°C no cultivo 2 (Fig. 2d) e de 6 a 28°C no cultivo 3 (Fig. 3d). A precipitação total foi 723, 1.191 e 447 mm, respectivamente (Fig. 1d, 2d e 3d). Os valores de EPSA variaram de 30 a 93% durante o cultivo 1 em 2012 (Fig. 1d), de 23 a 78% no cultivo 2 (Fig. 2d) e de 32 a 97% no cultivo 3 (Fig. 3d). No cultivo 1, em 21 das 36 avaliações realizadas, os valores de EPSA foram acima de 60%. No cultivo 2, em 20 das 40 avaliações realizadas, os valores de EPSA foram acima de 60%. Já no cultivo 3, em 18 das 28 avaliações realizadas, os valores de EPSA encontraram-se acima de 60%. O sistema A+E/AM/A+E apresentou os maiores valores de EPSA durante a maior parte das avaliações.

Durante o cultivo 1 os valores de NH_4^+ e NO_3^- , variaram de zero a 20, e de zero a 28 $kg\ ha^{-1}$, respectivamente (Fig. 1b e 1c). No cultivo 2 os valores de NH_4^+ e NO_3^- variaram de zero a 36 e de 2 a 49 $kg\ ha^{-1}$, respectivamente (Fig. 2b e 2c). Já no cultivo 3 os valores de NH_4^+ e NO_3^- variaram de zero a 18 e de zero a 24 $kg\ ha^{-1}$, respectivamente (Fig. 3b e 3c). Os maiores valores e as maiores variações de NO_3^- entre os tratamentos avaliados foram observados nos primeiros 60 dias nos três cultivos. Em 2013 no cultivo 3, os valores observados de NO_3^- foram inferiores em todos os tratamentos em relação aos cultivos 1 e 2, e o sistema CR/GI/CR com fertilização orgânica obteve os maiores valores de NH_4^+ e NO_3^- no solo.

2.3.2 Fluxos de N-N₂O

As maiores variações nos fluxos de N-N₂O entre os tratamentos foram observadas nos cultivos 1 e 2. Nesses períodos os maiores fluxos diários de N-N₂O foram observados especialmente após a realização das adubações orgânica e mineral, durante o período de senescência de plantas e após a adição de resíduos culturais decorrentes do manejo das plantas de cobertura e da colheita das culturas (crambe e girassol). Nesses períodos os aumentos nos fluxos de N-N₂O coincidiram com a ocorrência de eventos pluviométricos, aos quais resultaram na elevação do EPSA do solo.

Os fluxos de N-N₂O no cultivo 1 variaram de -9,6 a 319,5 $\mu\text{g m}^2 \text{h}^{-1}$ no A+E e CR+ADO, respectivamente (Fig. 1a). No cultivo 2 os fluxos de N-N₂O variaram de -1,2 a 343,2 $\mu\text{g m}^2 \text{h}^{-1}$ no P e GI+ADO, respectivamente (Fig. 2a). E no cultivo 3 os fluxos de N-N₂O variaram de -9,6 a 34,1 $\mu\text{g m}^2 \text{h}^{-1}$ no A+E e CR+ADO, respectivamente (Fig. 3a).

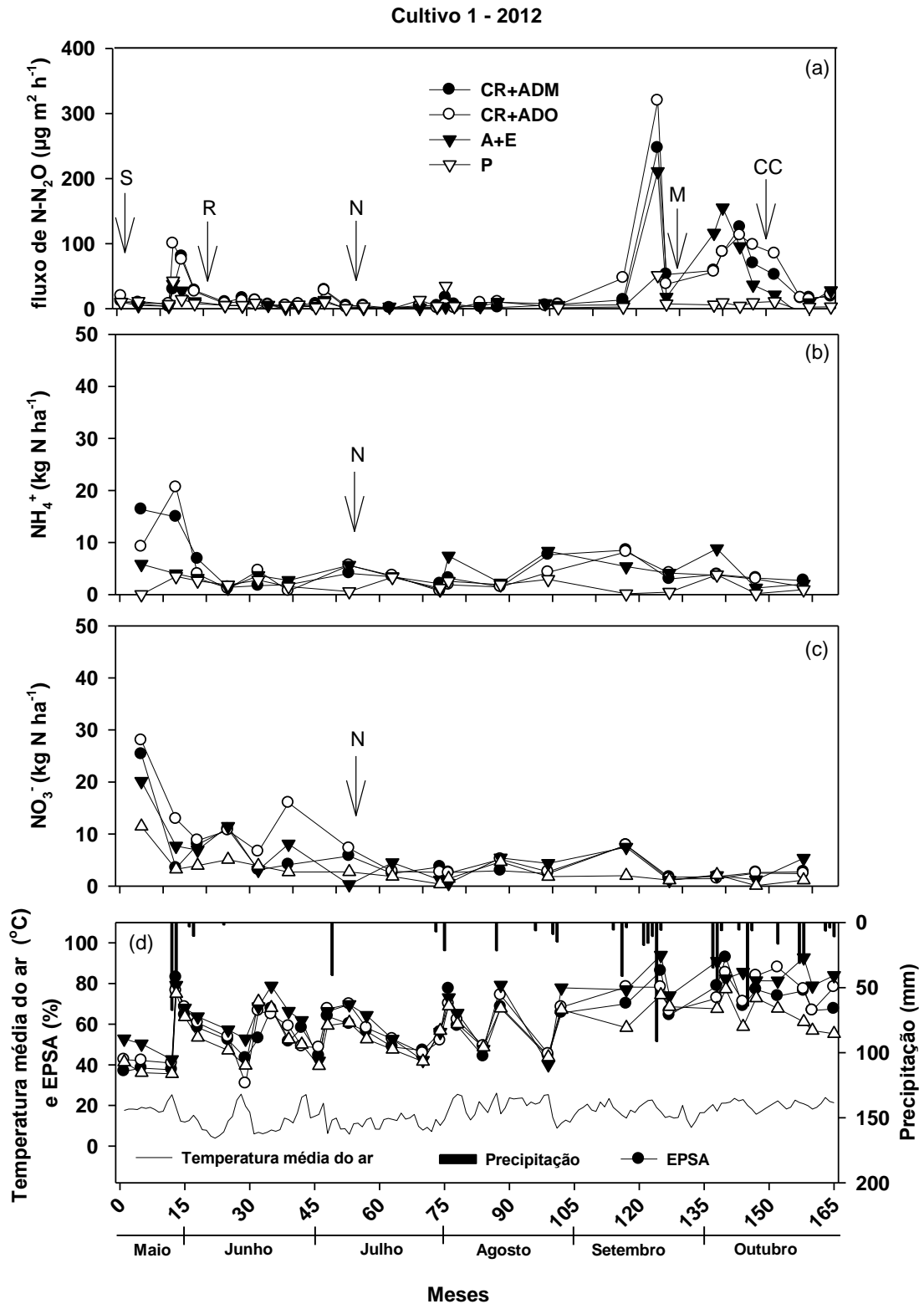


Figura 1. (a) Fluxos de $N-N_2O$, (b) $N-NH_4^+$ (c) $N-NO_3^-$ e (d) espaço poroso do solo saturado por água (EPSA), precipitação diária e temperatura média diária durante o período de avaliação no cultivo 1 (2012). Significado das letras e siglas: S: semeadura dos cultivos; R: ressemeadura dos cultivos; N: aplicação de ureia em cobertura no tratamento CR+ADM; M: manejo do tratamento A+E; CC: colheita dos tratamentos CR+ADM e CR+ADO.

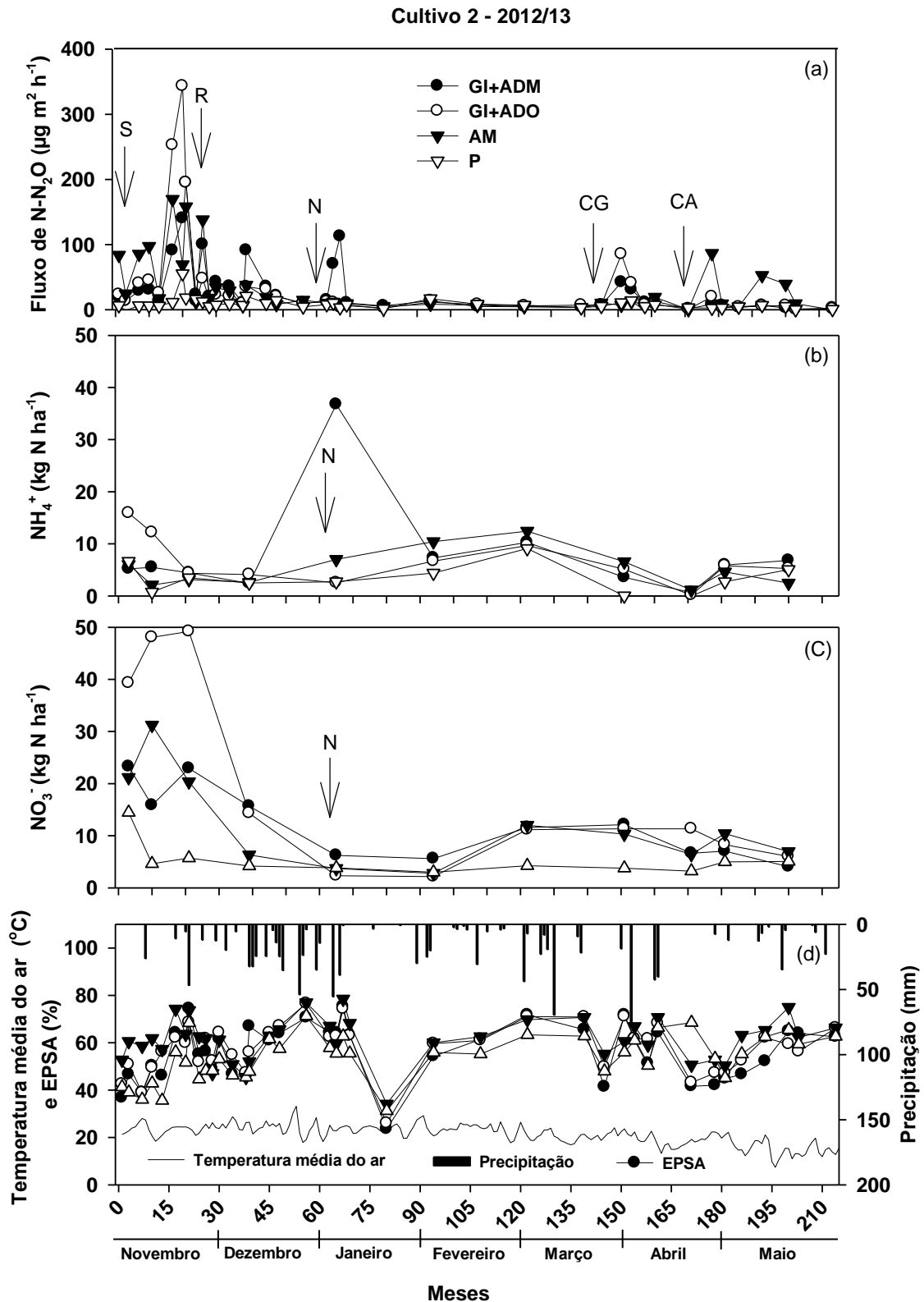


Figura 2. (a) Fluxos de $N-N_2O$, (b) $N-NH_4^+$ (c) $N-NO_3^-$ e (d) espaço poroso do solo saturado por água (EPSA), precipitação diária e temperatura média diária durante o período de avaliação no cultivo 2 (2012/13). Significado das letras e siglas: S: semeadura dos cultivos; R: ressemeadura dos cultivos; N: aplicação de ureia em cobertura no tratamento GI+ADM; CG: colheita dos tratamentos GI+ADM e GI+ADO; CA: colheita do tratamento AM.

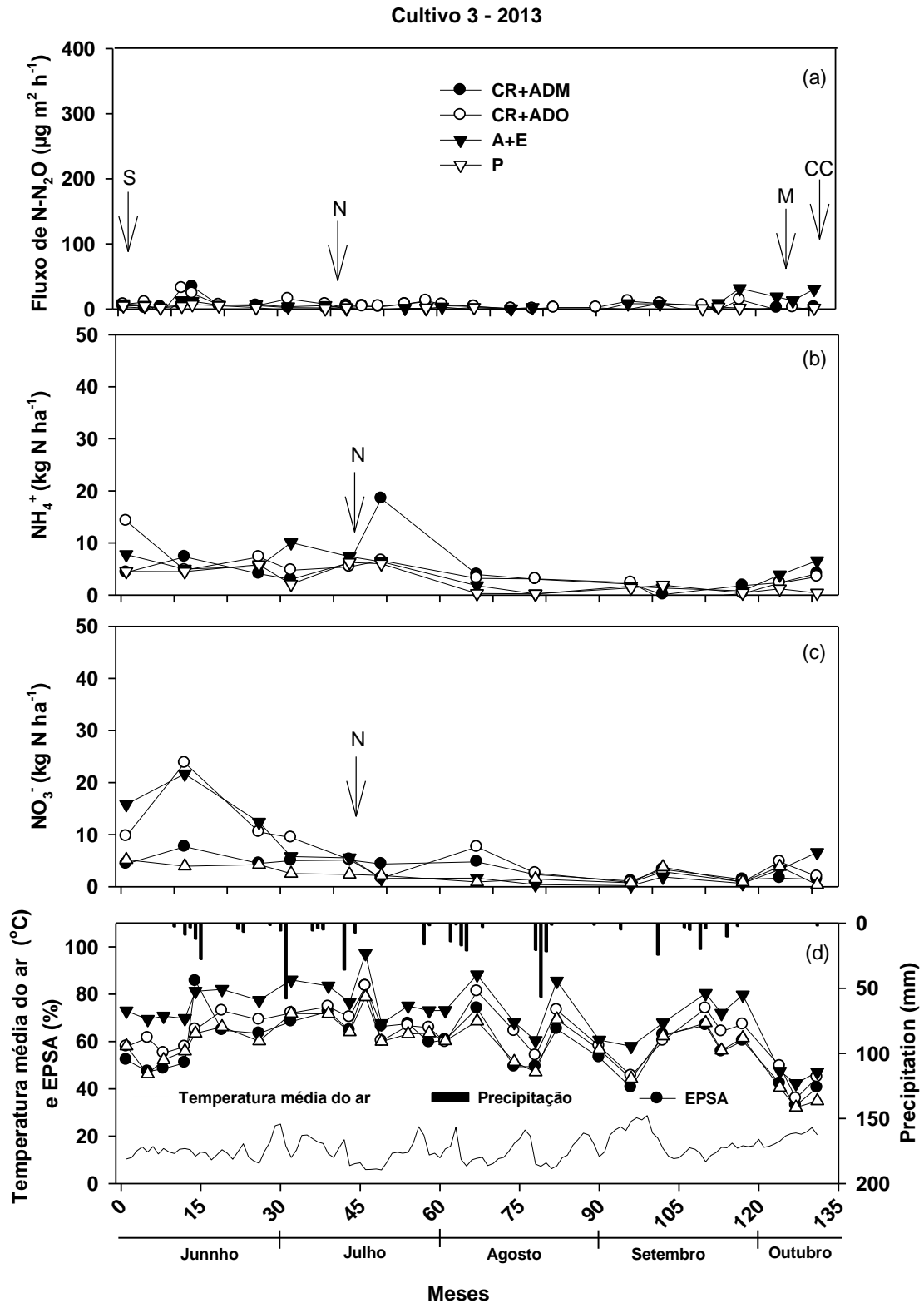


Figura 3. (a) Fluxos de N-N₂O, (b) N-NH₄⁺ (c) N-NO₃⁻ e (d) espaço poroso do solo saturado por água (EPSA), precipitação diária e temperatura média diária durante o período de avaliação no cultivo 3 (2013). Significado das letras e siglas: S: semeadura dos cultivos; N: aplicação de ureia em cobertura no tratamento CR+ADM; M: manejo do tratamento A+E; CC: colheita dos tratamentos CR+ADM e CR+ADO.

Em 2012 no cultivo 1 os maiores fluxos diários de N-N₂O ocorreram aos 125 dias no CR+ADM, CR+ADO e A+E (319,5, 247,0 e 210,7 $\mu\text{g m}^2 \text{h}^{-1}$, respectivamente). Porém, aos 13 e 15 dias ocorreu um sensível aumento nos fluxos de N-N₂O no CR+ADO e CR+ADM (99,8 e 80,1 $\mu\text{g m}^2 \text{h}^{-1}$, respectivamente). No cultivo 2 o GI+ADO foi o que apresentou o maior fluxo diário de N-N₂O (343,2 $\mu\text{g m}^2 \text{h}^{-1}$), aos 20 dias. No GI+ADM os maiores fluxos de N-N₂O foram observados aos 21 dias (195 $\mu\text{g m}^2 \text{h}^{-1}$) e aos 67 dias (112,6 $\mu\text{g m}^2 \text{h}^{-1}$). Aos 151 dias foi observado um incremento nos fluxos de N-N₂O no GI+ADO e GI+ADM (85,3 e 64,8 $\mu\text{g m}^2 \text{h}^{-1}$, respectivamente). O AME obteve os maiores fluxos de N-N₂O a 1, 7, 17, 21 e 26 dias (83,7, 85,2, 169,4, 158,0 e 138,0 $\mu\text{g m}^2 \text{h}^{-1}$), respectivamente. No entanto, aos 178 e 193 também foi possível observar um incremento nos fluxos de N-N₂O nesse tratamento. Em 2013 no cultivo 3, os maiores fluxos ocorreram aos 12, 14, 117 e 131 dias (32,0, 34,1, 31,4 e 31,0 $\mu\text{g m}^2 \text{h}^{-1}$) no CR+ADO, CR+ADM e A+E, respectivamente.

2.3.3 Fluxos de C-CH₄

Os fluxos de C-CH₄ variaram de -75,1 a 76,4 $\mu\text{g m}^2 \text{h}^{-1}$ durante o cultivo 1 em 2012 (Fig. 4a), de -48,0 a 76,7 $\mu\text{g m}^2 \text{h}^{-1}$ durante o cultivo 2 em 2012/2013 (Fig. 4b) e de -69,0 a 62,0 $\mu\text{g m}^2 \text{h}^{-1}$ durante o cultivo 3 em 2013 (Fig. 4c). De maneira geral o solo atuou como dreno de C-CH₄ na maior parte das avaliações, ora com efluxo de C-CH₄, ora com influxo (dreno) de C-CH₄. Em 2012, aos 125 dias o CR+ADO e A+E apresentaram os maiores fluxos de C-CH₄ (76,4 e 61,5 $\mu\text{g m}^2 \text{h}^{-1}$, respectivamente). Em 2012/2013, aos 158 dias os maiores fluxos de C-CH₄ ocorreram no CR+ADO e CR+ADM (76,7 e 60,4 $\mu\text{g m}^2 \text{h}^{-1}$, respectivamente). No entanto sensíveis aumentos nos fluxos de C-CH₄ foram observados no GI+ADM aos 20, 34 e 39 dias (44,3, 71,1 e 62,7 $\mu\text{g m}^2 \text{h}^{-1}$, respectivamente). Já em 2013, o CR+ADM aos 14 e 49 dias apresentou os maiores fluxos diários de C-CH₄ (53,6 e 62,0 $\mu\text{g m}^2 \text{h}^{-1}$, respectivamente). No CR+ADO sensíveis aumentos nos fluxos de C-CH₄ (31,1 e 37,7 $\mu\text{g m}^2 \text{h}^{-1}$) foram observados aos 8 e 82 dias, respectivamente. Durante os três cultivos, das 36, 40 e 28 avaliações, o solo atuou como dreno de CH₄ em 26, 32 e 22 dessas avaliações, respectivamente.

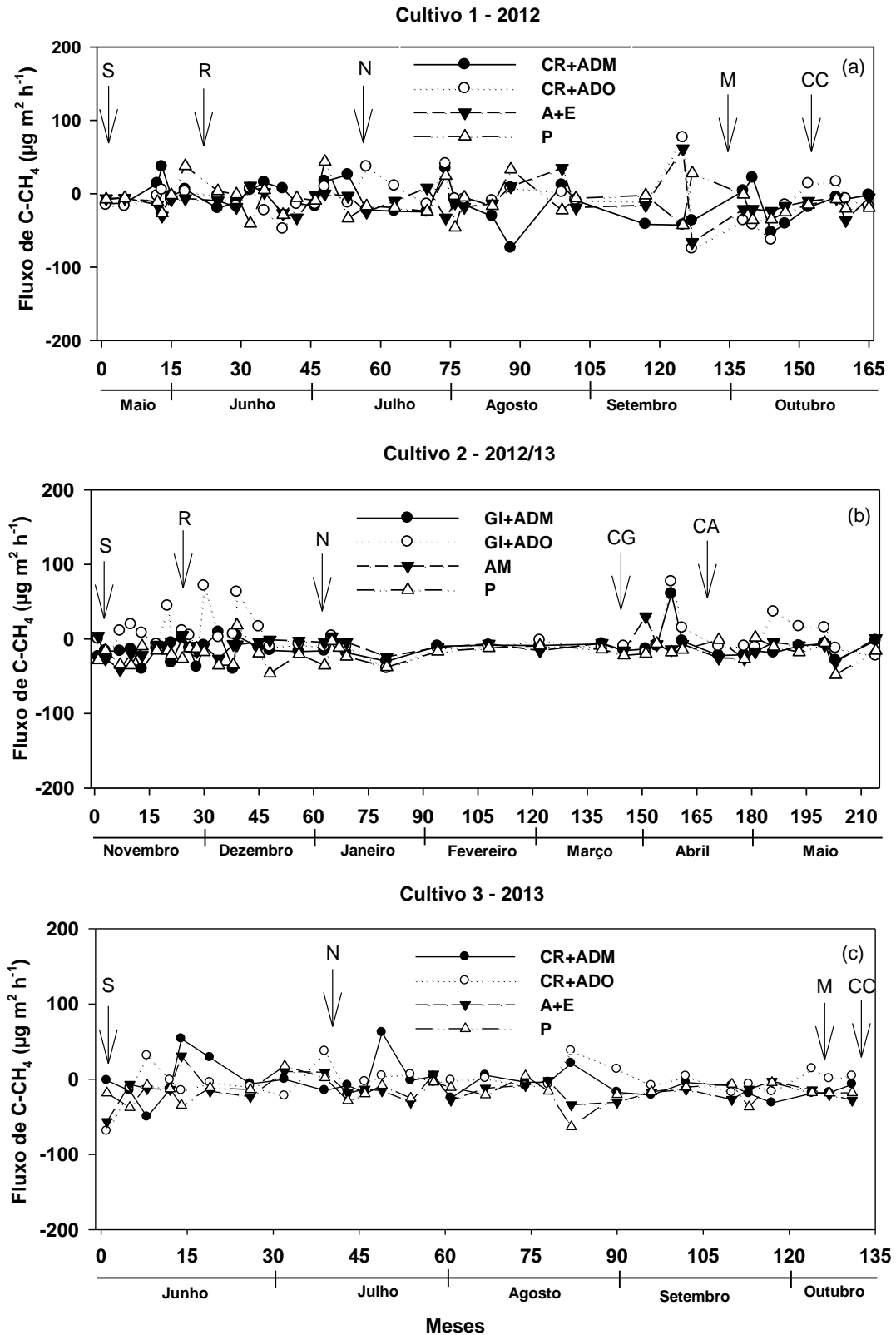


Figura 4. Fluxos de C-CH₄ durante o período de avaliação nos (a) cultivo 1 (2012), (b) cultivo 2 (2012/13) e (c) cultivo 3 (2013). Significado das letras e siglas: S: sementeira dos cultivos R: ressementeira dos cultivos; N: aplicação de ureia em cobertura no tratamento CR+ADM e GI+ADM; M: manejo do tratamento A+E; CC: colheita dos tratamentos CR+ADM e CR+ADO; CG: colheita dos tratamentos GI+ADM e GI+ADO; CA: colheita do tratamento AM.

2.3.4 Emissões acumuladas de N-N₂O, fator de emissão, rendimento de grãos e relação entre o N-N₂O emitido por kg de grãos produzidos

As emissões acumuladas de N-N₂O durante os 165 dias de avaliações no cultivo 1 em 2012, variaram de 0,25 a 1,33 kg ha⁻¹ de N-N₂O. Durante os 214 dias do cultivo 2 em 2012/13 essas emissões variaram de 0,38 a 1,13 kg ha⁻¹ e, durante os 131 dias de avaliações no cultivo 3 em 2013, as emissões acumuladas de N-N₂O variaram de 0,02 a 0,21 kg ha⁻¹ de N-N₂O (Tabela 3). Em 2012 o CR+ADO foi o que apresentou maior emissão acumulada (1,33 kg N-N₂O), significativamente superior ao P. Os demais tratamentos não apresentaram diferença significativa entre si. No cultivo 2 em 2012/2013 o AM apresentou maior emissão acumulada (1,13 kg N-N₂O), apresentando diferença significativa em relação ao P. Já no cultivo 3 em 2013, o CR+ADO e A+E foram os que obtiveram as maiores emissões acumuladas de N-N₂O (0,21 e 0,16 kg N-N₂O, respectivamente), ambos tendo emissões significativamente superiores em relação ao P. Durante 1,4 anos de avaliações o sistema CR/GI/CR com ADO apresentou as maiores emissões acumuladas de N-N₂O, porém, apresentando diferença significativa somente ao sistema A+E/AM/A+E.

O fator de emissão variou de 0,15 a 1,42% em 1,4 anos de avaliações (Tabela 3). Nos três cultivos os tratamentos fertilizados com ADM (CR+ADM e GI+ADM) foram aqueles que apresentaram o maior percentual de N perdido na forma de N-N₂O, ou seja, os que obtiveram o maior fator de emissão, apresentando diferença significativa em relação ao CR+ADO e GI+ADO nos cultivos 1 e 2. No cultivo 3 não foram observadas diferenças significativas entre os sistemas CR+ADO e CR+ADM.

Quanto ao rendimento de grãos nos cultivos 1 e 3 em 2012 e 2013, não foram verificadas diferenças significativas entre o CR+ADM e o CR+ADO (Tabela 3). Em relação ao cultivo 2, o GI+ADM e GI+ADO também não apresentaram diferenças significativas entre si, já o AM apresentou os maiores valores de rendimento de grãos. A relação entre o N-N₂O emitido por kg de grãos produzidos também não apresentou diferença quanto as diferentes fontes de N nos cultivos de girassol e crambe durante os 3 períodos de cultivo, enquanto que o AM apresentou a menor relação de entre o N-N₂O emitido por kg de grãos produzidos, diferindo significativamente do GI (Tabela 3).

2.3.5 Emissões acumuladas de C-CH₄

As emissões acumuladas de C-CH₄ ao longo dos 165, 214 e 131 dias de avaliações durante os três cultivos variaram de -0,57 a -0,28 kg ha⁻¹, -0,96 a 0,09 kg ha⁻¹ e de -0,49 a -0,03 kg ha⁻¹, respectivamente (Tabela 3). A dinâmica das emissões acumuladas de C-CH₄ durante esses períodos foi semelhante, devido ao solo atuar como dreno de CH₄ na maior parte das avaliações. Durante o período de 1,4 anos de avaliações o sistema CR/GI/CR fertilizado com ADO teve significativamente a menor capacidade de atuar como dreno de CH₄.

Tabela 3.

Emissão cumulativa de C-CH₄, N-N₂O, rendimento de grãos e fator de emissão (% do N aplicado) durante os três períodos de cultivo em 2012 e 2013.

Tratamentos ¹	C-CH ₄ (kg ha ⁻¹)	N-N ₂ O (kg ha ⁻¹)	N-N ₂ O (% N aplicado)	Rendimento de grãos (Mg ha ⁻¹)	g N-N ₂ O/kg grãos
-----1ª cultivo-----					
CR+ADM	-0,57 a	1,10 ab	1,42 a	1,11 a	0,99 a
CR+ADO	-0,28 a	1,33 a	0,90 b	1,13 a	1,17 a
A+E	-0,39 a	0,90 ab	--	--	--
P	-0,30 a	0,25 b	--	--	--
-----2ª cultivo-----					
GI+ADM	-0,64 ab	0,99 a	1,01 a	2,28 b	0,44 a
GI+ADO	-0,09 a	1,11 a	0,61 b	2,63 b	0,43 a
AM	-0,58 ab	1,13 a	--	4,66 a	0,24 b
P	-0,96 b	0,38 b	--	--	--
-----3ª cultivo-----					
CR+ADM	-0,14 ab	0,13 ab	0,18 a	1,07 a	0,12 a
CR+ADO	-0,03 a	0,21 a	0,15 a	1,09 a	0,19 a
A+E	-0,44 ab	0,16 a	--	--	--
P	-0,49 b	0,02 b	--	--	--
	Total dos três cultivos ¹		Média dos três cultivos ²		
CR/GI/CR – ADM	-1,36 b	2,21 a	0,87 a	--	--
CR/GI/CR – ADO	-0,40 a	2,65 a	0,55 a	--	--
A+E/AM/A+E	-1,04 b	2,18 a	--	--	--
P	-1,74 b	0,65 b	--	--	--

¹Emissão total acumulada durante o período de 1,4 anos de avaliações nos anos de 2012 e 2013 para cada sistema de cultura. ²Fator de emissão médio durante 1,4 anos de avaliações para os sistemas que receberam adubação mineral e orgânica. As médias seguidas pela mesma letra nas colunas não diferenciam entre si pelo teste t LDS a 5% de significância.

2.4 Discussão

2.4.1 Fluxos de N-N₂O

Durante o período de execução deste estudo, os aumentos nos fluxos de N-N₂O estiveram relacionados ao fornecimento de C e N ao solo pelas adubações mineral e orgânica, a adição de resíduos culturais e a senescência de plantas, que combinados ao aumento do seu EPSA, resultaram na formação do N₂O. Este gás é produzido nos processos microbianos de nitrificação e desnitrificação, em que o N mineral adicionado ao solo via fertilizantes e também pela decomposição de resíduos culturais do solo é um dos principais fatores que controlam esses processos (Singurindy et al., 2009). Segundo Millar e Baggs (2004), o incremento de substrato disponível para a produção de N e a possível criação de microsítios de anaerobiose devido ao consumo de O₂ pela respiração dos microrganismos aeróbicos do solo, aumenta a produção de N₂O. Outra razão para o aumento dos fluxos de N₂O pode ser a adição de C pelos adubos orgânicos, que é conhecido por estimular a desnitrificação (Jones et al., 2007).

No cultivo 1 em 2012, os aumentos nos fluxos de N-N₂O que ocorreram aos 15 dias no CR+ADM e CR+ADO foi proporcionado pela adição da fertilização mineral e orgânica, combinado às precipitações de 68 e 67 mm ocorridas aos 12 e 13 dias. A ausência de precipitações até os primeiros 12 dias possibilitou com que o processo de nitrificação ocorresse, acumulando NO₃⁻ no solo (25 e 28 kg ha⁻¹ de N) nesses tratamentos e, após as precipitações, esse NO₃⁻ acumulado no solo serviu de substrato para a produção de N₂O durante a desnitrificação. Segundo Bateman e Baggs (2005), normalmente quando os solos recebem fertilização nitrogenada e valores de EPSA estão acima de 60%, resulta no aumento das emissões de N₂O. Em muitos estudos avaliando a umidade do solo, juntamente com o fornecimento de N, foi demonstrado que a umidade é uma variável dominante do controle da taxa de emissão de N₂O (Smith et al., 1998; Dobbie et al., 1999). Em estudo realizado por Akiyama et al. (2004) em laboratório, que compararam níveis de EPSA (40, 60 e 80%) sobre as emissões de N-N₂O com diferentes fontes de N (cama de frango, lodo de esgoto, esterco bovino, resíduos culturais e ureia), eles demonstraram que quando o EPSA era de 40%, os fluxos de N-N₂O não apresentaram diferença significativa em relação ao controle (zero N), mas o contrário foi observado quando o

EPSA era 60 e 80%, em que os fluxos de N_2O aumentaram em todos os tratamentos. No estudo de Jones et al. (2005, 2007) durante dois anos de avaliações também foram observados aumentos nos fluxos de N_2O após a ocorrência de precipitações.

Os maiores fluxos de $N-N_2O$ observados aos 125 dias estão relacionados a dois fatores principais: ocorrência de precipitações e adição de resíduos culturais ao solo pela senescência das plantas no final do ciclo das culturas no CR+ADM, CR+ADO e A+E. Nesse período, os valores de EPSA foram acima de 70%, em função das precipitações ocorridas. A decomposição gradual do material orgânico ao longo do ciclo da cultura pode contribuir para o acúmulo de NO_3^- no solo e levar a aumentos na produção do N_2O após as precipitações (Jones et al., 2007). Os aumentos nos fluxos de $N-N_2O$ também observados após o manejo do consórcio A+E e a colheita das culturas de inverno no cultivo 1 em 2012 (CR+ADM e CR+ADO), estão relacionados com as precipitações ocorridas logo após esses manejos e com a adição de substrato fonte de C e N ao solo. As precipitações reduzem a disponibilidade de O_2 , ocasionando o surgimento de zonas de anaerobiose que favorecem a redução de NO_3^- até formas gasosas como N_2O (Weiler, 2012). Nesse estudo, a dinâmica nas emissões de N_2O após a adição de resíduos culturais ao solo é semelhante à observada por Muhammad et al. (2011), que verificaram aumentos nos fluxos de N_2O após a adição de resíduos culturais ao solo.

No cultivo 2 em 2012/2013 os maiores fluxos de $N-N_2O$ que ocorreram até os primeiros 40 dias foram observados no GI+ADO, o que esteve relacionado com a fertilização com CF que disponibiliza C e N para o solo, favorecendo a atividade microbiana, conforme citado anteriormente. De acordo com Akiyama et al. (2004), após a aplicação de fertilizantes orgânicos as condições ideais para a desnitrificação são favorecidas, pois a fonte de C disponível é aumentada para a atividade microbiana e o O_2 é consumido, criando sítios de anaerobiose. Os fluxos de $N-N_2O$ observados no GI+ADM aos 21 e aos 67 dias estão relacionados com a fertilização nitrogenada mineral na semeadura e em cobertura, respectivamente. O AM que não recebeu N obteve fluxos de N_2O superiores em relação ao GI+ADM e ao GI+ADO até cerca de 20 dias. Isso pode ser devido à semeadura do AM realizada sob os resíduos das plantas de cobertura de inverno (A+E), que provavelmente contribuíram para a adição de C e N para o solo, favorecendo o processo de desnitrificação e potencializando as emissões de $N-N_2O$.

Após a colheita do GI com ADM e ADO aos 144 dias, os resíduos culturais deixados sob o solo proporcionaram aumentos nos fluxos de N-N₂O. Esse aumento pode ser atribuído ao incremento do substrato disponível para a produção de N₂O e a possível criação de microsítios de anaerobiose devido ao consumo do O₂ pela respiração dos microrganismos aeróbios do solo (Baggs et al., 2000; Azam et al., 2002; Millar e Baggs, 2004), que associado as precipitações potencializaram as emissões de N₂O. Após a colheita do AM os aumentos nos fluxos que ocorreram estão relacionados à adição dos resíduos culturais da colheita sobre o solo, que adicionam C e N, favorecendo a atividade microbiana e a desnitrificação. Os resultados observados por Almaraz et al. (2009) também sugerem que a adição de resíduos de leguminosas ao solo provocam aumentos nas emissões de N₂O.

Embora o uso de fertilizantes nitrogenados minerais e orgânicos tenha efeito direto nas emissões de N₂O, principalmente após os primeiros dias de aplicação, como demonstrado em muitos estudos (Akiyama et al., 2004; Jones et al., 2007; Rochette et al., 2008), no presente estudo esse efeito foi observado em menor intensidade no cultivo 3 em 2013, do que no cultivo 1 em 2012. Tal resultado pode ser explicado com base em dois aspectos. O primeiro, relacionado ao menor volume e intensidade das precipitações ocorridas no cultivo 3 (447 mm) comparado com o cultivo 1 (723 mm) tenha proporcionado uma menor condição para a ocorrência do processo de desnitrificação. Tal condição condicionou maiores valores de EPSA no cultivo 1 em 2012 do que no cultivo 3 em 2013. Esses resultados corroboram com os observados por Almaraz et al. (2009) e Jones et al. (2007) que também encontraram menores fluxos de N₂O no ano em que ocorreu menor volume de precipitações. O segundo aspecto está relacionado a uma possível redução no estoque de C do solo, que poderia ter limitado as emissões de N₂O, oriundas principalmente da desnitrificação em condições de alta disponibilidade de C (Azam et al., 2002). Segundo Singurindy et al. (2009), os fatores mais importantes que controlam a produção de N₂O pelos processos microbianos de nitrificação e desnitrificação são o N mineral do solo, O₂ e o C disponível para abastecer os processos heterotróficos.

Nesse estudo, durante 1,4 anos de avaliações ininterruptas dos fluxos de N-N₂O, as menores emissões ocorreram nos cultivos 1 e 3 (culturas de inverno) e as maiores emissões ocorreram no cultivo 2 (culturas de verão), no qual foram verificadas as temperaturas mais elevadas combinadas com elevada precipitação. Esses resultados também foram observados por Jones et al. (2007) em que a alta

pluviosidade durante o verão coincidiu com temperaturas mais elevadas e com o período de aplicação dos fertilizantes, potencializando as emissões de N_2O . Nesse mesmo período de 1,4 anos, os três cultivos que receberam fertilização orgânica sempre apresentaram os maiores fluxos de N_2O comparativamente com os cultivos simultâneos que receberam fertilização mineral, resultados esses similares aos que são verificados na literatura mundial, porém, ao final de cada cultivo, em nenhum dos três cultivos os tratamentos que receberam fertilização orgânica tiveram diferença significativa em relação o total de emissão de N_2O em relação aos tratamentos que receberam fertilização mineral, conforme será discutido a seguir, no item 2.4.3.

2.4.2 Fluxos de C- CH_4

As emissões de CH_4 no solo são o resultado do balanço entre a produção por metanogênese e a oxidação por processos metanotróficos (Ball et al., 1999a; Baggs et al., 2006). Normalmente, solos não perturbados agem como um dreno natural de CH_4 , mas uma diminuição drástica nas taxas de oxidação de CH_4 é esperada quando os solos são convertidos para a agricultura. Este efeito tem sido relacionado principalmente porque o solo sofre perturbação com fertilização nitrogenada que disponibiliza elevada quantidade de NH_4^+ no solo (Baggs e Blum, 2004; Suwanwaree e Robertson, 2005; Mojeremane et al., 2011), que quando tem sua concentração aumentada no solo pode causar competição com o CH_4 pela enzima monooxygenase que é responsável pela oxidação do CH_4 (Chan e Parkin, 2001).

Nesse estudo durante os três cultivos em 2012, 2012/2012 e 2013 ocorreram tanto emissão quanto absorção de CH_4 no solo, sendo esses fluxos de valores baixos em relação ao N_2O , como o verificado por Smith et al. (2012). Durante os três períodos de cultivos uma pequena tendência de aumentar os fluxos de CH_4 foi observada no tratamento que recebeu aplicação do fertilizante orgânico em relação àquele que recebeu fertilizante mineral. No trabalho de Rochette e Côté (2000) foi verificado que com a aplicação de dejetos líquidos de suínos (DLS) ocorreu redução na absorção de CH_4 pelo solo em relação ao solo sem aplicação do DLS. Entretanto, esse mecanismo não pode explicar as observações de alguns estudos, em que a adição do fertilizante nitrogenado não inibiu a oxidação do CH_4 (Gulledge e Schimel,

1998; Bodelier e Laanbroek, 2004), semelhante ao ocorrido em alguns períodos nesse estudo.

Nos cultivos 1 em 2012 e 2 em 2012/2013 também foram verificados pequenos aumentos nos fluxos de CH₄ durante alguns períodos da fase de senescência de plantas e após adição resíduos culturais, decorrentes do manejo do consórcio A+E e da colheita do CR, GI e AM. Possivelmente esses manejos disponibilizaram C e N no solo, incrementando os teores de N-mineral e influenciando na capacidade de oxidação do CH₄ até CO₂, o que resultou em acréscimo nos fluxos de CH₄. Segundo Gregorich et al. (2005), qualquer operação que envolve entradas de N no solo pode ter efeito significativo sobre a produção/consumo de CH₄. O aumento nos fluxos de CH₄ também coincidiu com os períodos de precipitações sugerindo um favorecimento das bactérias metanogênicas pela maior presença de sítios anaeróbicos no solo. De acordo com Stiehl-Braun et al. (2011), a umidade do solo é o fator mais importante para explicar a variabilidade na absorção de CH₄ no solo.

As maiores oscilações nos fluxos de C-CH₄ que ocorreram nesse estudo são próximas às observados por Bayer et al. (2012), que trabalhando com culturas de inverno e verão, verificaram que as maiores oscilações nos fluxos de C-CH₄ ocorreram nos primeiros dias após a adição de resíduos culturais ao solo, com taxas entre -40 e 62 $\mu\text{g m}^{-2} \text{ h}$ de C-CH₄, para as condições edafoclimáticas do Sul do Brasil.

2.4.3 Emissões acumuladas de N-N₂O, fator de emissão, rendimento de grãos e relação entre o N-N₂O emitido por kg de grãos produzidos

No cultivo 1 em 2012 o CR+ADO apresentou o maior valor de emissão acumulada, apresentando diferença significativa em relação ao P (Tabela 3). No CR+ADM, CR+ADO e A+E as emissões acumuladas não apresentaram diferenças significativas em relação ao P até os 100 dias de avaliações (dados não mostrados), no entanto, constatou-se diferença significativa entre o CR+ADO e o P a partir dos 117 dias, período este em que ocorreu o início da senescência de plantas e também a adição de resíduos culturais por ocasião do manejo das plantas de cobertura e da colheita das plantas de crambe. Esse resultado está de acordo com o encontrado por Beck e Christensen (1987), que observaram aumentos nos fluxos de N₂O após a

adição de palha ao solo. O período de senescência das plantas associado à permanência dos resíduos ao solo após colheita podem apresentar concentrações elevadas de C e N rapidamente decomponíveis (Beck e Christensen 1987; Henriksen e Breland, 1999), além de contribuir para a criação de condições favoráveis para a desnitrificação (Baggs et al., 2003). Esses dois fatores supracitados anteriormente podem ter contribuído para os aumentos nas emissões de N-N₂O a partir desse período, no 1º cultivo de crambe e no consórcio de aveia e ervilhaca em 2012.

Durante o cultivo 2 em 2012/2013 o GI+ADM, GI+ADO e AM apresentaram as maiores emissões acumuladas de N-N₂O, apresentando diferenças significativas em relação ao P. No GI+ADM e no GI+ADO as emissões foram aumentadas após a fertilização nitrogenada mineral e orgânica, respectivamente, que disponibilizaram N ao solo. No AM os fluxos foram incrementados no período inicial de avaliações, pois os resíduos culturais do A+E sobre os quais o amendoim foi semeado, também adicionaram C e N ao solo, promovendo esses incrementos. Tais resultados corroboram com os demonstrados por Akiyama et al. (2004), em que os valores mais altos nas emissões de N-N₂O foram observadas nos primeiros 25 dias após a aplicação das adubações.

Em relação ao cultivo 3 em 2013, o GI+ADO apresentou a maior emissão acumulada de N-N₂O. No cultivo 3 o CR+ADO e o A+E tiveram emissão acumulada de N-N₂O significativamente superiores em relação ao P. Porém, as baixas emissões acumuladas no cultivo 3 podem ter sido resultado das menores precipitações e temperaturas ocorridas, que contribuíram para a redução das emissões de N-N₂O.

No cultivo 1 de CR em 2012, que recebeu fertilização orgânica (ADO), a emissão acumulada de N-N₂O foi 4,3 vezes superior em relação ao P, que não recebeu fertilização e foi semelhante ao CR+ADM. Para a mesma cultura em 2013 (cultivo 3), o tratamento com ADO obteve emissão acumulada 5,5 vezes superior em relação ao P e 0,6 vezes superior ao com ADM. Já no cultivo 2 em 2012/2013, o GI com ADO apresentou emissão acumulada de N-N₂O 1,9 vezes superior em relação ao P, que não recebeu fertilização e foi semelhante ao GI+ADM. Embora não tenha havido diferenças significativas, existiu uma maior tendência de aumentos nas emissões acumuladas de N-N₂O nos três cultivos que utilizaram fertilização orgânica

em relação aos que utilizaram adubação mineral, como relatado na maioria dos estudos aqui citados, porém, com doses de N mais elevadas.

Analisando de forma conjunta, os sistemas com fertilização mineral e orgânica não apresentaram diferenças significativas em relação ao sistema com cultivo de A+E sem fertilização, mas os três sistemas de cultivo em sucessão de culturas nas entrelinhas do tungue tiveram emissão acumulada de N-N₂O significativamente superior em relação ao sistema em pousio (Tabela 3). Esses resultados são semelhantes aos observados por Ball et al. (2004) que encontraram baixas emissões com adição de N orgânico em comparação com o uso de N inorgânico. Entretanto, em outros estudos (Akiyama et al., 2004; Jones et al., 2007; Sauer et al., 2009), as fontes orgânicas de N promoveram maiores emissões de N₂O. Sistani et al. (2011) relatam maiores emissões de N₂O em cama de frango em comparação com fertilizantes nitrogenados inorgânicos, uma vez que a CF contém C e N disponível, o que poderia estimular a atividade microbiana. Pelster et al. (2012) também concluíram que a aplicação de N de dejetos de animais aumenta as emissões de N₂O somente em solos com baixos teores de C e que a desnitrificação pode ser limitada mais pela disponibilidade de C do que de N. Eles relatam ainda que solos com maior teor de umidade podem refletir em maiores emissões de N₂O, diminuindo o efeito do uso de fontes de N, como é o caso do solo desse estudo, em que na maior parte das avaliações os valores de EPSA eram acima de 60%.

Já para o fator de emissão levando-se em consideração a média dos três cultivos, o sistema que recebeu fertilização orgânica apresentou o menor fator de emissão de N-N₂O, porém não apresentou diferença significativa do sistema com fertilização mineral. Estes valores dos fatores de emissão encontrados no presente estudo no sistema CR/GI/CR com ADO estão abaixo do índice geral de 1% estipulado pelo IPCC (2006) para o sistema CR+ADO e GI+ADO e acima do IPCC para o sistema CR+ADM e GI+ADM nos cultivos 1 e 2. Esses resultados estão dentro do intervalo citado na literatura para fatores de emissão com uso de adubos orgânicos. Hayakawa et al. (2009) comparando o uso de cama de frango com fertilizante mineral, observaram que o fator de emissão na cama de frango peletizada variou entre 0,48 e 1,65% entre 0,17 e 0,27% na cama de frango não peletizada, em comparação com os fatores de emissão entre 0,07 e 0,13% no fertilizante mineral. Jones et al. (2005) relataram que após a aplicação de 150 kg N ha⁻¹ pela cama de frango, o fator de emissão foi de 2,6%. Sistani et al. (2011)

encontraram fatores de emissão de até 5,8% do N aplicado na cama de frango e 1,2% do N aplicado via ureia.

Quanto o rendimento de grãos, durante os três cultivos, não foram verificadas diferenças significativas no rendimento de grãos entre o CR e GI fertilizados com ADM e ADO em 2012 e 2013 (Tabela 3). Houve diferença significativa apenas entre o tratamento AM e os tratamentos com GI. Esses resultados também foram confirmados por Sistani et al. (2011), que não encontraram diferença significativa no rendimento do milho produzido com cama de frango e ureia. No entanto, o maior rendimento de grãos encontrado no AM é devido à expectativa de rendimento dessa cultura, que é maior.

No Brasil, não foram verificados estudos na literatura que avaliaram as emissões de N_2O em cultivos com utilização de fertilização orgânica à base de CF, mas em estudos com outros dejetos de animais como os de suínos, por exemplo, as emissões acumuladas de N_2O durante um ciclo de cultura são superiores em relação aos resultados nesse estudo. Esses resultados sugerem que a CF supriu as necessidades nutricionais dos cultivos tanto quanto o fertilizante nitrogenado mineral. Isso mostra que a CF pode ser uma alternativa a ser avaliada e considerada na adubação de culturas para a produção de matéria-prima para o biodiesel, permitindo a economia dos fertilizantes minerais e redução de impactos ambientais pelas emissões de N_2O . Os resultados desse estudo são positivos principalmente do ponto de vista ambiental, da redução no uso de fertilizantes industrializados e do aproveitamento dos resíduos orgânicos gerados na propriedade, pois além de permitir o uso da CF como fertilizante, foi observado que não ocorreram diferenças significativas no rendimento de grãos em relação ao uso do fertilizante mineral, nas doses aqui testadas.

2.4.4 Emissão acumulada de C- CH_4

A dinâmica das emissões acumuladas de C- CH_4 durante os três períodos de cultivos foram semelhantes, ambas as três com influxos de CH_4 no solo, em que este atuou como um dreno de CH_4 na maior parte das avaliações, corroborando com Smith et al. (2012). Durante o período de 1,4 anos de avaliações, o sistema CR/GI/CR composto pelos três cultivos em sucessão com ADO, apresentou significativamente a menor capacidade de atuar como dreno de CH_4 , apesar de ter

apresentado influxo de CH_4 . Esse resultado sugere que logo após a aplicação da CF, quantidades maiores de NH_4^+ no solo foram disponibilizadas no solo em relação aos demais tratamentos, e as maiores concentrações de NH_4^+ no solo que foram observadas influenciaram na oxidação do CH_4 . Sendo assim, esse aumento da concentração de NH_4^+ no solo pode ter causado competição com o CH_4 pela enzima mono-oxygenase que é responsável pela sua oxidação (Boeckx et al., 1997; Reay e Nedwell, 2004).

2.5 Conclusões

Os sistemas de cultivos com inclusão das oleaginosas não diferem quanto as emissões de óxido nitroso e apresentaram menores taxas de oxidação de metano, quando comparado ao sistema em pousio.

As diferentes fontes de nitrogênio aplicadas nos sistemas com culturas oleaginosas não apresentaram distinção quanto às emissões de óxido nitroso, sendo que a adubação orgânica reduziu a capacidade de oxidação de metano do solo.

A fonte de nitrogênio não altera a relação entre gramas de óxido nitroso por quilograma de grão produzido.

Referências

- Abdalla, A.L.; Silva Filho, J.C.; Godoi, A.R.; Carmo, C.A.; Eduardo, J.L.P, (2008). Utilização de subprodutos da indústria de biodiesel na alimentação de ruminantes. *Revista Brasileira de Zootecnia*. 37, 260-258.
- Akiyama, H., McTaggart, I.P., Bruce C. Ball, B.C., Scott, A., (2004). N_2O , NO, and NH_3 emissions from soil after the application of organic fertilizers, urea and water. *Water, Air, and Soil Pollution* 156, 113–129.
- Almaraz, J.J, Zhou, X., Mabood, F., Madramootoo, C., Rochette, P., Bao-Luo Ma, B., Smith, D.L., (2009). Greenhouse gas fluxes associated with soybean production under two tillage systems in southwestern Quebec. *Soil & Tillage Research*. 104, 134–139.
- Azam, F., Müller, C., Weiske, A., Benckiser, G., Ottow, J. C. G., 2002. Nitrification and denitrification as source of atmospheric nitrous oxide – role of oxidizable carbon and applied nitrogen. *Biology & Fertility of Soils*. 35, 54-61.
- Baggs, E.M., Rees, R.M., Smith, K.A., Vinten, A. J. A., 2000. Nitrous oxide from soils after incorporating crop residues. *Soil Use and management*. 16, 82-87.

- Baggs, E.M., Stevenson, M., Pihlatie, M., Regar, A., Cook, H., Cadisch, G., 2003. Nitrous oxide emissions following application of residues and fertilizer under zero and conventional tillage. *Plant and Soil*. 254, 361-370.
- Baggs, E.M., Blum, H., 2004. CH₄ oxidation and emissions of CH₄ and N₂O from *Lolium perenne* swards under elevated atmospheric CO₂. *Soil Biology and Biochemistry* 36, 713–723.
- Baggs, E.M., Chebii, J., Ndufa, J.K., 2006. A short-term investigation of trace gas emissions following tillage and no-tillage of agroforestry residues in western Kenya. *Soil & Tillage Research*. 90, 69-76.
- Ball, B.C., Scott, A., Parker, J.P., 1999a. Field N₂O, CO₂ and CH₄ fluxes in relation to tillage, compaction and soil quality in Scotland. *Soil & Tillage Research*. 53, 29-39.
- Ball, B.C., McTaggart, I.P., Scott, A., 2004. Mitigation of greenhouse gas emissions from soil under silage production by use of organic or slow release fertilizer. *Soil Use Manage*. 20, 287–295.
- Bateman, E.J., Baggs, E.M., (2005). Contributions of nitrification and denitrification to N₂O emissions from soils at different water-filled pore space, *Biology and Fertility of Soils*. 41, p.379-388.
- Bayer, C., Gomes, J., Vieira, F.C.B., Zanatta, J.A., Piccolo, M.C., Dieckow, J., 2012. Methane emission from soil under long-term no-till cropping system. *Soil and Tillage Research* 124, 1-7.
- Beaudette, C., Bradley, R.L., Whalen, J.K., McVetty, P.B.E., Vessey, K., Smith, D.L., 2010. Tree-based intercropping does not compromise canola (*Brassica napus* L.) seed oil yield and reduces soil nitrous oxide emissions. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 139, 33–39.
- Beck, H., Christensen, S., 1987. The effect of grass maturing and root decay on N₂O production in soil. *Plant Soil* 103, 269–273.
- Berghout, N.A., 2008. Technological learning in the german biodiesel industry: an experience curve approach to quantify reductions in production costs, energy use and greenhouse gas emissions. Master thesis, Utrecht University, Copernicus Institute, The Netherlands.
- Bodelier, P.L.E., Laanbroek, H.J., 2004. Nitrogen as a regulatory factor of methane oxidation in soils and sediments. *Fems Microbiology Ecology*. 47, 265-277.
- Boeckx, P.; Van C. & Villaralvo, I., 1997. Methane oxidation in soils with different textures and land use. *Nut. Cycl. Agr*. 49, 91-95.
- Brasil, 2005. Presidência da República. Lei nº. 11.097 de 13 de janeiro de 2005. Dispõe sobre a introdução do biodiesel na matriz energética brasileira. Legislação Republicana Brasileira. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/ato2004-2006/2005/Lei/L11097.htm (Acesso em: 11.06.12)
- Bremner, J.M., Blackmer, S.M., 1978. Nitrous oxide emissions from soils during nitrification of fertiliser nitrogen. *Science* 199, 295–296.
- CHAN, A.S.K., PARKIN, T.B., 2001. Methane Oxidation and Production Activity in Soils from Natural and Agricultural Ecosystems. *Journal of Environmental Quality*. 30:1896-1903.

- CQFS-RS/SC. COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO - RS/SC. Manual de adubação e calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. Porto Alegre: SBCS-NRS, 2004, 400 p.
- CSIRO, (2011) Flight path to sustainable aviation. Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation (CSIRO). Disponível em: <http://www.csiro.org/files/files/p10rv.pdf>. (Acesso em 15.01.14).
- Denman, K.L., Brasseur, G., Chidthaisong, A., Ciais, P., Cox, P.M., Dickinson, R.E., Hauglustaine, D., Heinze, C., Holland, E., Jacob, D., Lohmann, U., Ramachandran, S., da Silva Dias, P.L., Wofsy, S.C., Zhang, X., 2007. Couplings between changes in the climate system and biogeochemistry. In: Solomon, S., Qin, D., Manning, M. (Eds.), Marquis, M., Averyt, K.B., Tignor, M., Miller, H.L. (Eds.), *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- EMBRAPA, 2006. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 2ª ed. Brasília: EMBRAPA Produção de Informação, 306p.
- Ferreira, D.F., 2000. Sistemas de análises estatística para dados balanceados. Lavras: UFLA/DEX/SISVAR, 145 p.
- Firestone, M.K., Davidson, E.A., 1989. Microbial basis of NO and N₂O production and consumption in soil. In: Andreae, M.O., Schimel, D.S. (Eds.), *Exchange of Trace Gases between Terrestrial Ecosystems and the Atmosphere*. Wiley, New York, NY, USA, pp. 7–21.
- GBEP. 2011. Global Bioenergy Partnership. The Global Bioenergy Partnership Sustainability Indicators for Bioenergy, FAO, Rome, Italy.
- Gregorich, E.G., Rochette, P., VandenBygaart, A.J., Angers, D.A., 2005. Greenhouse gas contributions of agricultural soils and potential mitigation practices in Eastern Canada. *Soil & Tillage Research*. 83, 53–72.
- Gulledge, J., Schimel, J.P., 1998. Low-concentration kinetics of atmospheric CH₄ oxidation in soil and mechanism of NH₄⁺ inhibition. *Applied and Environmental Microbiology*. 64, 4291-4298.
- Hayakawa, A., Akiyama, H., Sudo, S., Yagi, K., 2009. N₂O and NO emissions from an Andisol field as influenced by pelleted poultry manure. *Soil Biology & Biochemistry* 41, 521–529.
- Henriksen, T.M., Breland, T.A., 1999. Evaluation of criteria for describing crop residue degradability in a model of carbon and nitrogen turnover in soil. *Soil Biology & Biochemistry* 31, 1135-1149.
- IEA Bioenergy. (2009). *Bioenergy e A sustainable and reliable energy source*. Paris: IEA Bioenergy.
- IPCC, 2006. Intergovernmental Panel on Climate Change. 2006. In: Eggleston, H.S., Buendia, L., Miwa, K., Ngara, T., Tanabe, K. (Eds.), *Guidelines for National Greenhouse gas Inventories, v.4, Agriculture, Forestry and Other Land Use*. National Greenhouse gas Inventories Programme.

- IPCC, 2007. Summary for policy makers. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, UK, pp. 7-22.
- Jantalia, C. P., Santos, H. P., Urquiaga, S., Boddey, R. M., Alves, B. J. R., 2008. Fluxes of nitrous oxide from soil under different crop rotations and tillage systems in the South of Brazil. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*. 82, 161-173.
- Jasper, S. P., Biaggioni, M. A. M., Silva, P. R. A., Seki, A.S., Bueno, O.C., (2010). Análise energética da cultura do crambe (*Crambe abyssinica* Hochst) produzida em plantio direto. *Revista Engenharia Agrícola*. Jaboticabal, v.30, n.3, p.395-403.
- Jones, S.K., Rees, R.M., Skiba, U.M., Ball, B.C., 2005. Greenhouse gas emissions from a managed grassland. *Global and Planetary Change*. 47, 201– 211.
- Jones, S.K., Rees, R.M., Skiba, U.M., Ball, B.C., 2007. Influence of organic and mineral N fertiliser on N₂O fluxes from a temperate grassland. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 121, 74–83.
- Kautz, J., Lysyk, G., D'oca, M.G.M., Clementin, R.M., 2008. Extração do óleo de tungue (*Aleuritis fordii*) para produção de biodiesel. Simpósio Estadual de Agroenergia e I Reunião Técnica Anual de Agroenergia do RS. Anais, Pelotas: Embrapa Clima Temperado.
- Millar, N., Baggs, E. M., 2004. Chemical composition, or quality, of agroforestry residues influences N₂O emissions after their addition to soil. *Soil Biology & Biochemistry*. 36, 935-943.
- Mosier, A.R., 1989. Chamber and isotope techniques. In: ANDREAE, M.O. & SCHIMMEL, D.S., ed. Exchange of trace gases between terrestrial ecosystems and the atmosphere: report of the Dahlem Workshop 175-187.
- Mojeremane, W., Rees, R.M., Mencuccini, M., 2011. The effects of site preparation practices on carbon dioxide methane and nitrous oxide fluxes from a peaty gley soil. *Forestry* 19, 1–15.
- Munarini, A., Bourscheid, A., Flores, A., Reis, B.; Costa, J.B., Leal, M., Oliveira, M.J., Gorgen, S.A., Sacon, V., 2009. Informações técnicas sobre os cultivos de oleaginosas perenes e florestais. In: Instituto Cultural Padre Josimo. Agricultura camponesa e as energias renováveis: Um guia técnico. 1ed. Porto Alegre, p.106-138.
- Muhammad, W., Vaughan, S.M., Dalal, R.C., Menzies, N.W., 2011. Crop residues and fertilizer nitrogen influence residue decomposition and nitrous oxide emission from a Vertisol. *Biology and Fertility of Soils*. 47, 15-23.
- Pelster, D.E., Chantigny, M.H., Rochette, P., Angers, D.A., Rieux, C., Vanasse, A., 2012. Nitrous oxide emissions respond differently to mineral and organic nitrogen sources in contrasting soil types. *Journal of Environmental Quality*. 41, 427- 435.
- Reay, D.S. & Nedwell, D.B., 2004. Methane oxidation in temperate soils: effects of inorganic N. *Soil Biology and Biochemistry*. 36, 2059-2065.

- Rochette, P., Côté D., 2000. CH₄ fluxes and soil CH₄ concentration following application of pig slurry for the 19th consecutive year. *Canadian Journal Soil Science*. 80, 387-390.
- Rochette, P., Angers, D.A.; Chantigny, M.H.; Gagnon, B.; Bertrand, N., 2008. N₂O fluxes in soils of contrasting textures fertilized with liquid and solid dairy cattle manures. *Canadian Journal of Soil Science*. 88, 175-187.
- Rochette, P., Bertrand, N. 2003. Soil air sample storage and handling using polypropylene syringes and glass vials. *Canadian Journal of Soil Science* 83: 631-637.
- Sauer, T.J., Compston, S.R., West, C.P., Hernandez-Ramirez, G., Gbur, E.E., Parkin, T.B., 2009. Nitrous oxide emissions from a bermudagrass pasture: Interseeded winter rye and poultry litter. *Soil Biology & Biochemistry* 41, 1417–1424.
- Singurindy, O., Molodovskaya, M., Richards, B.M., Steenhuis, T.S., (2009). Nitrous oxide emission at low temperatures from manure-amended soils under corn (*Zea mays* L.). *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 132, 74–81.
- Sistani, K.R., Jn-Baptiste, M., Lovanh, N., Cook, K.L., 2011. Atmospheric emissions of nitrous oxide, methane, and carbon dioxide from different nitrogen fertilizers. *Journal of Environmental Quality*. 40, 1797-1805.
- SMITH, k., WATTS, D., WAY, T., TORBERT, H., PRIOR, S., 2012. Impact of tillage and fertilizer application method on gas emissions in a corn cropping system. *Pedosphere* 22(5): 604–615.
- Snyder, C.S., Bruulsema, T.W., Jensen, T.L., Fixen, P.E., 2009. Review of greenhouse gas emissions from crop production systems and fertilizer management effects. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 133, 247–266.
- Spugnoli, P., Dainelli, R., D'Avino, L. Mazzoncini, M. Lazzeri, L., 2012. Sustainability of sunflower cultivation for biodiesel production in Tuscany within the EU Renewable Energy Directive. *Biosystems Engineering*. 112, 49-55.
- Stiehl-Braun ,P.A., Powlson , D.S. Poulton , P.R., Niklaus, P.A., 2011. Effects of N fertilizers and liming on the micro-scale distribution of soil methane assimilation in the long-term Park Grass experiment at Rothamsted. *Soil Biology & Biochemistry* 43,1034-1041.
- Suwanwaree, P., Robertson, G.P., 2005. Methane oxidation in forest, sucessional, and no-till agricultural ecosystems: effects of nitrogen and soil dirturbance. *Soil Science Society of America Journal* 69, 1722–1729.
- Tedesco, M.J., Gianello, C., Bissani, C.A., Bohnen, H., Volkweiss, S.J., 1995. *Análises de solo, plantas e outros materiais*. 2. ed. Departamento de Solos, Faculdade de Agronomia. Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Porto Alegre, 215 p.
- Trzeciak, M.B., Neves, M.B. das, Vinholes, P. S. da, Villela, F.A., 2008. Utilização de sementes de espécies oleaginosas para produção de biodiesel. Informativo ABRASTES. v.18, nº 1,2,3, 030-038. Disponível em: <http://www.ufvjm.edu.br/disciplinas/agr011/files/2013/10/Biodiesel.pdf> (Acesso em: 15.01.14).

- Webb, J., Thorman, R.E., Fernanda-Aller, M., Jackson, D.R., 2014. Emission factors for ammonia and nitrous oxide emissions following immediate manure incorporation on two contrasting soil types. *Atmospheric Environment*. 82, 2014 280-287.
- Weiler, D.A., (2012). Decomposição de resíduos culturais de plantas de cobertura de solo e emissões de óxido nitroso. Santa Maria: UFSM, 2012. 73p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS.
- Yang, S.S., Chang, H.L., 2001. Methane emission from paddy fields in Taiwan. *Biology and Fertility of Soils*. 33, 157–165.
- Zobiolo, L.H.S.; Castro, de C.; Oliveira, F.A. de; Oliveira Junior, A. de, (2010) Marcha de absorção de macronutrientes na cultura do girassol. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. 34, 425-433.

3 CAP II – POTENCIAL DE AQUECIMENTO GLOBAL EM SISTEMA AGROFLORESTAL PARA PRODUÇÃO INTENSIVA DE MATÉRIA-PRIMA PARA PRODUÇÃO DE BIODIESEL

Resumo

A busca por novas fontes de energia se tornou uma estratégia e uma questão de extrema importância do ponto de vista ambiental para reduzir os níveis de CO₂ da atmosfera. Dentre essas fontes, a utilização do biodiesel como alternativa ao diesel tem apresentado potencial na redução nos níveis de poluição. Para que não haja competição do biodiesel com áreas utilizadas para a produção de alimentos, áreas marginalizadas podem ser utilizadas com sistemas agroflorestais com a utilização do tungue, com culturas oleaginosas intercalares às suas linhas de plantio, para a produção de matéria-prima para a fabricação do biodiesel. No entanto, estudos devem ser realizados para verificar a utilização desses sistemas de produção frente às emissões de GEE, a produção de grãos e de óleo e ao PAG de cada sistema. Portanto, o presente estudo teve por objetivo avaliar a produção de matéria-prima para a produção de biodiesel em diferentes sistemas de sucessão de culturas em sistema agroflorestal com o tungue e, determinar a contribuição de cada sistema para o potencial de aquecimento global parcial (PAGp) e total (PAGt). Para atingir esse objetivo foi conduzido um estudo durante 1,4 anos, utilizando-se diferentes culturas intercalares às linhas de plantio do tungue no Sul do Brasil. O delineamento experimental utilizado foi de blocos ao acaso com quatro repetições, onde foram avaliados quatro sistemas de produção compostos por três períodos culturais (1^o, 2^o e 3^o cultivos) nos anos de 2012 e 2013. Cada sistema foi composto pelos seguintes sistemas de sucessão de culturas: S1 – crambe/girassol/crambe (CR/GI/CR), composto por crambe e girassol com fertilização mineral (CR+ADM e GI+ADM); S2 – crambe/girassol/crambe (CR/GI/CR), composto por crambe e girassol com fertilização orgânica (CR+ADO e GI+ADO); S3 – aveia+ervilhaca/amendoim/aveia+ervilhaca (A+E/AM/A+E), composto por 60% de aveia + 40% de ervilhaca sem fertilização (A+E) e amendoim sem fertilização (AME) e, S4 - pousio/pousio/pousio (P). Nesses sistemas foram avaliadas as emissões de N₂O e CH₄ para compor o PAG e o rendimento de grãos e de óleo. Quando analisados em cada cultivo separado, o crambe e o girassol cultivados com fertilização mineral apresentaram os maiores valores de PAGp em relação aos demais cultivos, sendo que as emissões de N₂O e da fertilização NPK em CO₂ eq. foram as maiores contribuidoras para o PAGp. Quando o sistema foi analisado conjuntamente, os sistemas S1 e S2 com produção intensiva de matéria-prima para a produção de biodiesel apresentaram os menores valores de PAGt, sendo que o ΔC do solo foi o maior contribuidor para o PAGt. As maiores perdas no conteúdo de C do solo foram observadas no sistema A+E/AM/A+E, e, estão relacionadas com a mobilização do solo ocorrida na colheita do amendoim. O cultivo de crambe e de girassol com fertilização mineral foi o que apresentou maior PAGp. No período de 1,4 anos o sistema A+E/AM/A+E apresentou o maior PAGt. O sistema de cultivo com crambe e girassol intercalar ao tungue apresentaram os menores custos de CO₂ eq. para a quantidade de grãos e óleo produzidos.

Palavras chave: Biodiesel, Culturas energéticas, Gases de efeito estufa, potencial de aquecimento.

3.1 Introdução

As atividades antrópicas em todo o mundo relacionadas com a produção, consumo e o uso de energia são responsáveis pelas mudanças climáticas globais (Dhillon e Wuehlisch, 2013). As emissões globais de dióxido de carbono (CO_2) da queima de combustível fóssil atingiram 31,6 Gt em 2011 (IEA, 2011), sendo a China a maior contribuidora (25%), enquanto que o Brasil foi responsável por aproximadamente 1% dessas emissões (Dhillon e Wuehlisch, 2013). Sendo assim, a busca por novas fontes de energia se tornou uma estratégia e uma questão de extrema importância do ponto de vista ambiental para reduzir os níveis CO_2 da atmosfera. Dentre essas fontes, a utilização do biodiesel como alternativa ao diesel tem apresentado potencial na redução nos níveis de poluição (Berghout, 2008; GBEP, 2011).

O uso do biodiesel em substituição total ou parcial ao diesel de origem fóssil possui entre outras finalidades, reduzir as emissões de gases de efeito estufa (GEE) para a atmosfera, principalmente o CO_2 (Carvalho, 2012). A maior parte das emissões do CO_2 provenientes da queima do biodiesel é anulada pela captura de carbono (C) através do processo de fotossíntese (Spatari et al., 2005). Entretanto, esta vantagem deve ser analisada frente às emissões de outros GEE mais potentes em termos de aquecimento global como o metano (CH_4) e principalmente o óxido nítrico (N_2O), no qual o benefício líquido atmosférico na emissão de CO_2 pode ser anulado, dependendo da energia utilizada na fase agrícola. O CH_4 e o N_2O possuem um potencial de aquecimento global (PAG) de 23 e 296 vezes superior de retenção de radiação na atmosfera em relação ao CO_2 , respectivamente, (IPCC, 2007), sendo gases chave que contribuem para o cálculo do PAG (IPCC 2007a), pois são gases de longa duração na atmosfera (Zou, 2009). O conceito de PAG foi desenvolvido para comparar a capacidade de cada GEE em reter o calor na atmosfera relativamente à quantidade de CO_2 e, assim, ser possível a comparação entre as emissões de GEE em diferentes ambientes e/ou sistemas.

Na busca de fontes de energias renováveis o governo brasileiro lançou a lei federal 11.097/2005, que estabeleceu para 2008 a obrigatoriedade da mistura de 2% de biodiesel ao diesel, percentual esse que se elevou para 5% em 2013 e se elevará para 10% a partir de 2020 (Brasil, 2005). Sendo assim, a demanda mundial por combustíveis de origem renovável será crescente e o Brasil tem potencial para ser

um grande exportador mundial, principalmente no contexto atual de mudanças climáticas (Lima, 2004). O Brasil é um dos países com maior potencial para a produção de combustíveis a partir de biomassa e explora menos de um terço de sua área agricultável, o que constitui a maior fronteira para expansão agrícola do mundo, cerca de 150 milhões de hectares. Portanto, o país tem a possibilidade de incorporar novas áreas à agricultura para geração de energia sem competir com a agricultura para alimentação. Assim, áreas que não são utilizadas para a produção de alimentos (áreas de pastagens degradadas, reflorestamento e as marginalizadas) somam cerca de 200 milhões de hectares (Trzeciak et al., 2008) e poderiam ser utilizadas na produção de matéria-prima para o biodiesel.

Nesse contexto, existe uma necessidade, portanto, de testar novos sistemas de cultivo que possibilitem aos agricultores devolver essas áreas para a produção de culturas para produção de biocombustíveis (Beaudette et al., 2010). Uma opção promissora para essas áreas é o sistema agroflorestal (SAF) para produção intensiva de matéria-prima para o biodiesel, que pode ser uma possibilidade para um melhor aproveitamento das áreas, sem competir com a agricultura para a alimentação. Uma das espécies potenciais para compor o SAF é o tungue (*Aleurites fordii*), planta que produz óleo, introduzida no Brasil no início do século XX e cultivado no Sul do Brasil. Essa planta começa a produzir frutos após três anos de plantio e estabiliza a produção aos cinco anos, mantendo-se estável até os 30 anos (Munarini et al., 2009), o que representa uma oportunidade de cultivar plantas oleaginosas intercalares entre as linhas de tungue. Entre as plantas oleaginosas destaca-se o crambe (*Crambe abyssínica*), o girassol (*Helianthus annuus*) e o amendoim (*Arachis hypogaea*). Essas culturas apesar de serem produzidas em menor escala, apresentam um alto teor de óleo na sua composição de 38%, 40% e 49%, respectivamente, (Jasper et al., 2010; Zobiolo et al., 2010; Abdalla et al., 2008) e podem ser utilizadas em SAF na produção de matéria-prima para o biodiesel. É uma questão de extrema urgência encontrar maneiras de reduzir a dependência dos produtos químicos e fertilizantes sintéticos, criando incentivo para sistemas agrícolas que tenham potencial de promover a produção de energia renovável (Aziz et al., 2011).

No entanto, o cultivo dessas culturas requer entrada de energia, com custos de C (Clair, 2008), e as emissões indiretas de GEE resultantes da utilização de insumos e operações agrícolas também devem ser atribuídas às atividades

agrícolas (Ceschia et al., 2010). A contribuição indireta nas emissões ocorre devido ao consumo de combustível fóssil para a realização das operações agrícolas e produção de insumos agrícolas (fertilizantes, corretivos, herbicidas...). O gasto energético devido às operações usuais de semeadura e colheita também deve ser contabilizado na avaliação do PAG dos sistemas de manejo (Robertson et al., 2000; Lal, 2004; Moiser et al., 2005). Além disso, é interessante que se desenvolva um índice que possa verificar a eficiência de cada sistema de produção de matéria-prima para o biodiesel, ou seja, um índice que expresse o gasto de CO₂ equivalente necessário para produzir a matéria-prima para a produção do biodiesel. Dessa forma, um índice do efeito de sistemas de manejo na sustentabilidade da atividade agrícola, deveria englobar, entre outros aspectos, o rendimento das culturas e o seu PAG (Gomes, 2006). Assim, a utilização do índice PAG/rendimento de grãos pode servir como uma ferramenta para avaliar a efetividade de sistemas ou práticas de manejo na mitigação do PAG (Zschornak, 2011).

No Brasil não existem estudos que avaliaram o PAG durante a produção da matéria para o biodiesel em SAF. Muitos estudos têm medido apenas as emissões periódicas, ao invés de uma base anual (Snyder et al., 2009). Este artigo apresenta os primeiros resultados sobre o PAG em SAF voltados à produção intensiva de matéria-prima para o biodiesel, sob condições edafoclimáticas do Sul do Brasil. Nesse contexto, o presente estudo teve por objetivo avaliar a produção de matéria-prima para o biodiesel em diferentes sistemas de sucessão de culturas em SAF com o tungue e, determinar a contribuição de cada sistema para o potencial de aquecimento global parcial (PAGp) e total (PAGt).

3.2 Material e métodos

3.2.1 Desenho experimental

O experimento foi realizado na área experimental do Departamento de Solos na Universidade Federal de Santa Maria - UFSM (29°42'S, 53°42'W; cerca de 90 m de altitude), Rio Grande do Sul, Brasil. O clima do local é subtropical úmido (tipo Cfa2 na classificação de Köppen) com precipitação média anual de 1.686 mm e temperatura média anual de 19,3°C. O solo da área experimental é classificado como Argissolo Vermelho distrófico arênico (Embrapa, 2006). As características do

solo na camada de 0-0,1 m no início das avaliações foram as seguintes: carbono orgânico 1,06%; pH – 5,6; densidade – 1,5 g cm⁻³; areia – 61,3%; silte – 25,6%; argila – 12,8%; 30,1 mg dm⁻³ de P e 108,0 mg dm⁻³ de K extraído por Mehlich-1.

O experimento consistiu de quatro sistemas de cultivo intercalares ao tungue em parcelas de 40 m² (4 x 10 m) distribuídas no delineamento experimental de blocos ao acaso com quatro repetições, conforme o croqui (Anexo 2). Em cada parcela se encontravam duas plantas de tungue. No plantio do tungue foram utilizadas plantas enxertadas, sendo os porta enxertos obtidos de sementes e as copas a partir de garfos selecionados de plantas a campo. As mudas de tungue foram plantadas em 27/10/2011 no espaçamento entre plantas de 4 x 5 m. Após 212 dias do plantio do tungue, quando o mesmo se encontrava com 1,0 m de altura, teve início os cultivos intercalares: crambe/girassol/crambe (CR/GI/CR) fertilizados com adubação mineral (ADM); crambe/girassol/crambe (CR/GI/CR) fertilizados com adubação orgânica (ADO); aveia+ervilhaca/amendoim/aveia+ervilhaca (A+E/AM/A+E), cultivados sem o uso de fertilizante; e pousio/pousio/pousio (P). O CR e o consórcio A+E foram cultivados de maio a outubro em 2012 (Cultivo 1) e de julho a outubro de 2013 (Cultivo 3). Já o GI e o AM foram cultivados de novembro a abril de 2013 (Cultivo 2). No sistema sem culturas as parcelas do tratamento pousio foram mantidas livres de plantas durante os três cultivos. Na tabela 1 são apresentadas em ordem cronológica as principais operações realizadas durante o período experimental.

Tabela 1

Cronograma das principais operações de campo realizadas durante o período experimental.

Operação de campo	Períodos de cultivo		
	Cultivo 1 (2012) ¹	Cultivo 2 (2012/13)	Cultivo 3 (2013)
Semeadura	17 maio 2012	02 novembro 2012	06 junho 2013
Primeira avaliação de N ₂ O e CH ₄	18 maio 2012	03 novembro 2012	07 junho 2013
Ressemeadura ²	08 junho 2012	26 novembro 2012	-
Aplicação de N em cobertura	12 julho 2012	03 janeiro 2013	17 junho 2013
Manejo do consórcio	28 setembro 2012	-	11 outubro 2013
Colheita de grãos	17 outubro 2012	26 março (GI) e 20 abril 2013 (AM)	15 outubro 2013

Última avaliação de N ₂ O e CH ₄	29 outubro 2012	04 junho 2013	15 outubro 2013
--	-----------------	---------------	-----------------

¹ Nos cultivos 1 e 3 foram cultivadas as culturas de crambe (CR) e do consórcio de aveia + ervilhaca (A+E) e no cultivo 2 foram cultivados o girassol (GI) e o amendoim (AM); ² A ressemeadura foi realizada apenas para o CR e no GI no cultivo 1 e 2, respectivamente.

A sementeira de todas as culturas foi realizada manualmente sem prévio preparo do solo entre as linhas de plantio do tungue. Junto a linha de plantio do tungue permaneceu uma faixa sem cultivo de 0,80 m x 5 m (4 m²) quando cultivados o CR, A+E e AM e de 0,84 m x 5 m (4,2 m²) no cultivo do GI. No CR o espaçamento utilizado entre linhas foi de 0,40 m e densidade de 300 mil plantas ha⁻¹ da cultivar FMS Brilhante. No terceiro cultivo, no momento da sementeira do CR nas parcelas dos tratamentos com ADM e ADO, respectivamente, apresentavam na superfície do solo 5,4 e 6,8 Mg ha⁻¹ de resíduos culturais. A sementeira do GI nos tratamentos ADM e ADO foi realizada na presença de 2,5 Mg ha⁻¹ de resíduos culturais. A cultivar utilizada foi um híbrido simples Dow AgroScience M734, com espaçamento de 0,45 m entre linhas e densidade de 30 mil plantas ha⁻¹. A sementeira do consórcio A+E foi realizada a lanço, sendo que no terceiro cultivo foi semeado sobre cobertura de 6,0 Mg ha⁻¹ de restos culturais de AM. A cultivar de AM utilizada foi a Tatu, sendo realizada a sementeira em covas sob 3,2 Mg ha⁻¹ de resíduos culturais do consórcio A+E. O espaçamento utilizado para o AM foi de 0,45 m entre linhas e uma densidade de 100 mil plantas ha⁻¹.

No sistema de cultivo com ADM as quantidades de NPK utilizadas foram as seguintes: 15 kg ha⁻¹ de N, 30 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 25 kg ha⁻¹ de K₂O no momento da sementeira, nas formas de ureia, superfosfato triplo (SFT) e cloreto de potássio (KCL), respectivamente, e de 45 kg ha⁻¹ de N (ureia) em cobertura aos 56 dias no CR em 2012, aos 63 dias no GI em 2012 e aos 33 dias no CR em 2013. No sistema de cultivo com ADO, a cama de frango (CF) foi utilizada como fonte de nutrientes para as culturas. Nos três cultivos a CF era proveniente de aviário de criação de frangos de corte, com uma média de cinco lotes de frangos sobre cama de maravalha. A dose de CF utilizada em cada cultivo foi definida a fim de fornecer quantidade de N equivalente àquela utilizada nos tratamentos com fertilizante mineral. A definição da dose de CF foi baseada na recomendação de adubação

orgânica da Comissão de Química e Fertilidade do Solo (CQFS - RS/SC, 2004), que considera que 50% do N total presente nesses materiais orgânicos estarão disponíveis à cultura em sucessão a aplicação. A adubação orgânica foi aplicada em dose única na superfície do solo imediatamente após a semeadura, correspondendo aproximadamente a 120 kg de N total ha⁻¹ (60 kg de N disponível ha⁻¹). Os teores de matéria seca (MS), N total e N mineral (amoniacoal e nítrico) foram analisados conforme Tedesco et al. (1995), sem secagem prévia (Tabela 2).

Tabela 2

Concentração de N e C e quantidade de MS aplicadas no solo em dose única (na semeadura) de CF, nos cultivos que foram fertilizados com adubo orgânico.

Tratamentos ¹	Dose aplicada	MS	C	MS	N total	N amoniacoal	N nítrico
	Mg ha ⁻¹	-----%-----		-----Mg ha ⁻¹ -----		-----kg ha ⁻¹ -----	
CR+ADO – 2012	6,6	65	30	4,4	119,3	38,2	18,6
GI+ADO – 2012/13	6,2	63	36	3,9	119,7	31,9	16,1
CR+ADO – 2013	5,4	68	29	3,7	119,4	32,1	17,2

¹CR+ADO: crambe fertilizado com adubação orgânica; GI+ADO: girassol fertilizado com adubação orgânica.

3.2.2 Avaliação das emissões de N₂O e CH₄

Durante a condução do experimento foram realizadas 104 coletas de ar em 510 dias, sendo que no primeiro cultivo em 2012 (165 dias) foram realizadas 36 coletas, no segundo cultivo em 2012/2013 (214 dias) 40 coletas e no terceiro cultivo em 2013 (131 dias) 28 coletas. Durante cada cultivo as avaliações dos fluxos de N₂O e CH₄ iniciaram-se no dia posterior à semeadura das culturas e foram intensificadas após a aplicação das adubações, manejos, colheita e adição de resíduos culturais ao solo. O método utilizado para a coleta das amostras de ar foi o da câmara estática fechada (Mosier, 1989). As amostras de ar para a determinação da concentração de N₂O e CH₄ foram coletadas com o auxílio de um dispositivo composto por uma base em aço galvanizado de 0,4 x 0,4 m, inserida a 0,1 m no solo, onde era encaixada uma câmara metálica (0,4 x 0,4 x 0,2 m) para a coleta das

amostras de ar. Na parte superior da base existia uma calha que no momento das coletas era preenchida com água para vedação entre a base e a câmara, evitando trocas gasosas com o ambiente externo. As amostras de ar foram coletadas com seringas de polipropileno, em três tempos: 0, 15 e 30 minutos após o fechamento das câmaras. As amostras de ar foram analisadas no máximo 24 h após as coletas, por cromatografia gasosa (Shimadzu GC – 2014 modelo Greenhouse), em um cromatógrafo equipado com um detector com captura de elétrons ECD (Electron Capture Detection) um detector de ionização de chama (FID), para quantificar a concentração de N_2O e CH_4 nas amostras de ar. Possíveis vazamentos e contaminação de amostras dentro das seringas foram quantificados e corrigidas utilizando a mesma metodologia proposta por Rochette e Bertrand (2003). As perdas foram estimadas entre 3 e 12% após 2 e 32 h de armazenamento, respectivamente, sendo as concentrações de N_2O corrigidas por esses valores.

Os fluxos de N_2O e CH_4 foram calculados considerando-se a variação das concentrações dos gases dentro da câmara durante o período que esta permaneceu fechada, o volume da câmara, a área do solo ocupada por esta e o peso molecular dos gases N_2O e CH_4 (Jantalia et al., 2008). Sendo, o volume molar do gás, corrigido para a temperatura no interior da câmara medida no momento de cada amostragem. Os fluxos acumulados de N_2O e CH_4 foram calculados a partir da média dos fluxos de N_2O e CH_4 entre duas coletas consecutivas, multiplicando-se o valor resultante pelo intervalo de tempo, em dias, decorrido entre as duas coletas. Para o cálculo da quantidade de N_2O e CH_4 emitidas por área ($g\ ha^{-1}$) foi considerada a emissão de N_2O e CH_4 da área com e sem cultivo. A emissão da faixa sem cultivo junto à linha de plantio do tungue foi considerada equivalente aquela do sistema com pousio. Isso em função de que medidas da emissão de N_2O e CH_4 realizadas nessa faixa durante os três cultivos indicaram que os fluxos de N_2O e CH_4 foram semelhantes aos obtidos no pousio (dados não mostrados)

3.2.3 Produtividade de biomassa e rendimento grãos

A avaliação da MS (dados analisados e não mostrados) e o rendimento de grãos foram realizados na maturação fisiológica das culturas do CR, AM e GI. No consórcio A+E foi avaliada apenas a produção de MS no florescimento das plantas consorciadas. Para a determinação da MS foram coletadas plantas de uma área

conhecida dentro da área útil da parcela. As amostras coletadas foram submetidas à secagem em estufa a 65°C até massa constante. O rendimento de grãos foi determinado coletando-se plantas da área útil da parcela, grãos que após a debulha manual tiveram sua umidade corrigida para 13% no CR e GI e 8% no AM.

3.2.4 Avaliação dos estoques de carbono no solo

As amostras de solo para o cálculo do estoque de C no solo foram coletadas no início do experimento (T0) e no final do experimento (Tf), em todos os tratamentos. As coletas de solo foram realizadas com o auxílio de um trado calador, na profundidade de 0-0,2 m. Após a coleta, as amostras foram peneiradas a 4 mm para retirar os resíduos vegetais grosseiros e submetidas à secagem ao ar. O efeito dos tratamentos sobre a variação nos estoques de C do solo foi avaliado em comparação os estoques de C total em amostras de solo coletadas no início dos cultivos do experimento (T0). Os teores de C foram determinados em um analisador elementar (modelo FlashEA 1112, Thermo Finnigan, Milan, Itália) por combustão seca (Nelson e Sommers, 1996). Também no início e ao final do experimento foi avaliada a densidade aparente do solo em todos os tratamentos, as quais foram utilizadas para o cálculo do estoque de C no solo.

3.2.5 Potencial de aquecimento global (PAG)

Para calcular o PAGp durante os três períodos de cultivo, as emissões de CH₄ e N₂O foram transformadas em CO₂ equivalente, mais os gastos em CO₂ referentes as adubações NPK, uso de defensivos, colheita e semeadura das culturas. Para calcular o PAGt em cada sistema de sucessão de culturas, foram contabilizados as emissões de CH₄ e N₂O totais nos 3 cultivos, mais os gastos em CO₂ referentes as adubações NPK, uso de defensivos, colheita e semeadura das culturas e, as perdas ou ganhos de C em cada sistema de sucessão de culturas, no período de 1,4 anos de condução do experimento. Dessa forma, o PAGp e PAGt foram calculados convertendo-se os gastos energéticos, as perdas e ganhos de C e emissões acumuladas de CH₄ e N₂O, para kg CO₂ eq. ha⁻¹, segundo as equações:

Período de cultivo:

PAG_p = (CH₄ x 23) + (N₂O x 298) + (CO₂ eq. dos gastos com as adubações NPK, uso de defensivos, colheita e semeadura das culturas, manejo do consórcio A+E com rolo-faca, transporte e aplicação da CF)

Período de 1,4 anos (cultivo 1+ cultivo 2 + cultivo 3):

PAG_t = (CH₄ x 23) + (N₂O x 298) + (CO₂ eq. das perdas ou ganhos (ΔC) de C nos sistemas) + (CO₂ eq. dos gastos com as adubações NPK, uso de defensivos, colheita e semeadura das culturas, manejo do consórcio A+E com rolo-faca, transporte e aplicação da CF)

sendo: CH₄ e N₂O correspondem as emissões acumuladas somadas nos 3 períodos de cultivo; sendo que 23 e 298 são os valores de PAG para o CH₄ e o N₂O, respectivamente. O CO₂ eq. das perdas ou ganhos nos sistemas foi calculado pela conversão das variações dos estoques de C no solo (ΔC) para CO₂ eq. (Tabela 3).

Tabela 3

Emissões acumuladas de N-N₂O e C-CH₄, estoque inicial, estoque final e ΔC do solo em 1,4 anos, de 2012 a 2013.

Tratamentos	N-N ₂ O				C-CH ₄				C inicial	C final	ΔC
	kg ha ⁻¹								Mg ha ⁻¹		
	1 ^o	2 ^o	3 ^o	Total	1 ^o	2 ^o	3 ^o	Total	0-20 cm		
CR/GI/CR-ADM	1,1	0,9	0,1	2,2	-0,5	-0,6	-0,1	-1,3	32,2	30,6	-1,7
CR/GI/CR-ADO	1,3	1,1	0,2	2,6	-0,3	-0,1	-0,0	-0,4	30,9	29,2	-1,8
A+E/AM/A+E	0,9	1,1	0,2	2,1	-0,4	-0,6	-0,4	-1,4	31,7	28,1	-3,6
P	0,2	0,4	0,0	0,6	-0,3	-0,9	-0,5	-1,7	29,9	26,9	-2,9

O CO₂ eq. dos gastos energéticos com a as adubações NPK, uso de defensivos, colheita e semeadura das culturas, manejo com rolo-faca, transporte e aplicação da CF, foi calculado pela conversão dos gastos de combustível para realização dos mesmos, segundo coeficientes sugeridos por Lal (2004) (Tabela 4). Os custos em CO₂ eq. computados para a soma do PAG e o rendimento de grãos foram corrigidos levando-se em consideração a área que era ocupada por cada

cultura nas entrelinhas do tungue em cada cultivo. Sendo assim, os custos em CO₂ eq. computados para a soma do PAG e o rendimento de grãos das culturas eram distribuídos na área onde essas culturas foram cultivadas, enquanto que na área entre as plantas do tungue na linha de plantio, não eram computados rendimentos de grãos custos em CO₂ eq. das emissões, manejos e fertilizações. Com esse cálculo foi possível verificar o PAG e o rendimento de grãos por hectare de tungue, que constituiu o sistema agroflorestal completo.

Tabela 4

Gastos energéticos das operações realizadas no experimento.

Operação ¹	Cultivos			Gasto energético kg CO ₂ ha ⁻¹
	Cultivo 1	Cultivo 2	Cultivo 3	
Semeadura	1	1	1	10,6, 11,7, 7,9 e 11,7 (CR, A+E, GI e AM, respectivamente)
Produção e aplicação do NPK	1	1	1	289,6 e 217,2 (CR+ADM e GI+ADM, respectivamente)
Transporte e aplicação da CF	1	1	1	30,1 e 22,5 (CR+ADO e GI+ADO, respectivamente).
Aplicação de defensivos	3	3	4	106,1, 86,6 e 145,1 (inseticida + fungicida) e 28,2 (herbicida)
Manejo da A+E com rolo-faca	1	-	1	85,1
Colheita	1	1	1	24,4, 24,8 e 49,9 (CR, GI e AM, respectivamente)

¹Os algarismos arábico em cada cultivo indicam quantas vezes a operação foi realizada.

3.2.6 Análise estatística

Os dados referentes ao PAGp e ao PAGt foram submetidos ao teste t LSD (Least Significant Difference) a 5% de probabilidade para a comparação de médias, utilizando-se o pacote estatístico SISVAR (Ferreira, 2000).

3.3 Resultados

3.3.1 Potencial de aquecimento global parcial (PAGp)

Com base nas emissões acumuladas de N₂O e CH₄, gastos de CO₂ equivalente durante as operações e uso de insumos agrícolas (semeaduras,

aplicação dos fertilizantes mineral e orgânico, uso de defensivos, manejo com rolo-faca e colheitas), foram calculados os valores do PAGp em cada período de cultivo.

No cultivo 1 os valores do PAGp variaram de 134 a 927 kg de CO₂ eq. ha⁻¹. No cultivo 2 os valores de PAGp variaram de 177 a 776 kg CO₂ eq. ha⁻¹ e no cultivo 3 os valores do PAGp variaram de 23 a 526 kg CO₂ eq. ha⁻¹ (Fig. 1).

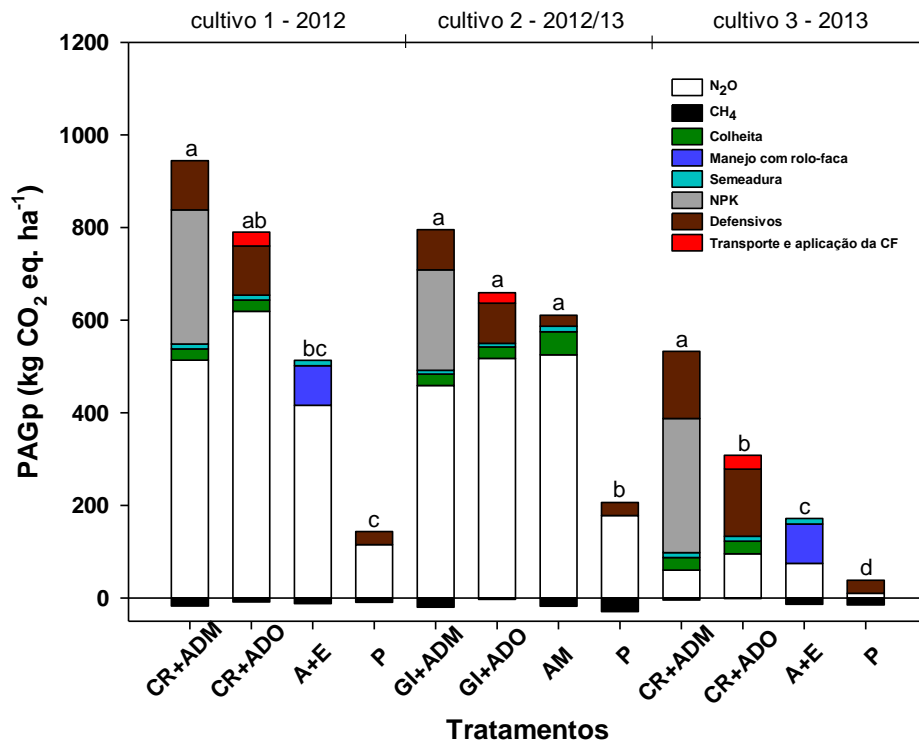


Figura 1. Potencial de aquecimento global parcial (PAGp) em cada período de cultivo, nos anos de 2012 e 2013. Letras iguais nas barras para cada período de cultivo não diferem entre si pelo teste t LSD a 5% de significância.

Durante o cultivo 1 foram observadas diferenças significativas entre o tratamento com CR fertilizado com ADM e os tratamentos A+E e P. O tratamento CR+ADM obteve PAGp de 936 kg de CO₂ eq., 18% superior em relação ao CR+ADO que recebeu fertilização orgânica e, PAGp 84 e 589% superior em relação aos tratamentos A+E e P, respectivamente. No cultivo 2 o tratamento GI+ADM apresentou o maior valor de PAGp (776 kg CO₂ eq. ha⁻¹), significativamente superior em relação ao P. O tratamento GI+ADM teve PAGp 338% superior em relação ao P

e 18 e 30% superior em relação ao GI+ADO e ao AM, respectivamente. Já no cultivo 3 o tratamento CR+ADM obteve o maior valor de PAGp (526 kg CO₂ eq. ha⁻¹), sendo significativamente superior em 1,7, 3,3 e 22 vezes em relação ao CR+ADO, A+E e P, respectivamente.

A maior parcela de contribuição para o PAGp nos cultivos 1 e 2, foi referente às emissões de N₂O, em todos os tratamentos. Ainda nos cultivos 1 e 2, no CR+ADM e GI+ADM, as fertilizações NPK foram as segundas maiores contribuidoras para o PAGp. Já no cultivo 3 a maior contribuição para o PAGp foi da fertilização NPK no tratamento CR+ADM, do uso de defensivos no CR+ADO e P e, do manejo com rolo-faca no A+E.

Em relação ao CH₄, as emissões acumuladas deste gás contribuíram para reduzir o PAGp em todos os tratamentos nos três períodos de cultivos, ou seja, ocorreu a oxidação deste gás no solo e este teve um impacto ambiental positivo em relação ao forçamento radiativo. Durante os três cultivos os tratamentos que compõem o sistema CR/GI/CR que recebeu fertilizante orgânico (CR+ADO e GI+ADO) foram os que apresentaram os menores valores de oxidação de CH₄ (-8,5, -2,8 e -1,0, respectivamente), ou seja, esse sistema foi o que menos contribuiu para a redução do PAGp.

3.3.2 Potencial de aquecimento global total (PAGt) e relação PAGt/rend. de grãos/óleo

Com base nas emissões acumuladas de N₂O e CH₄, ΔC do solo, gastos em CO₂ equivalente durante as operações e uso de insumos agrícolas (semeaduras, aplicação dos fertilizantes mineral e orgânico, uso de defensivos, manejo com rolo-faca e colheitas), foram calculados os valores do potencial de aquecimento global total (PAGt) durante 1,4 anos de cultivo, de 2012 à 2013 (Fig. 2).

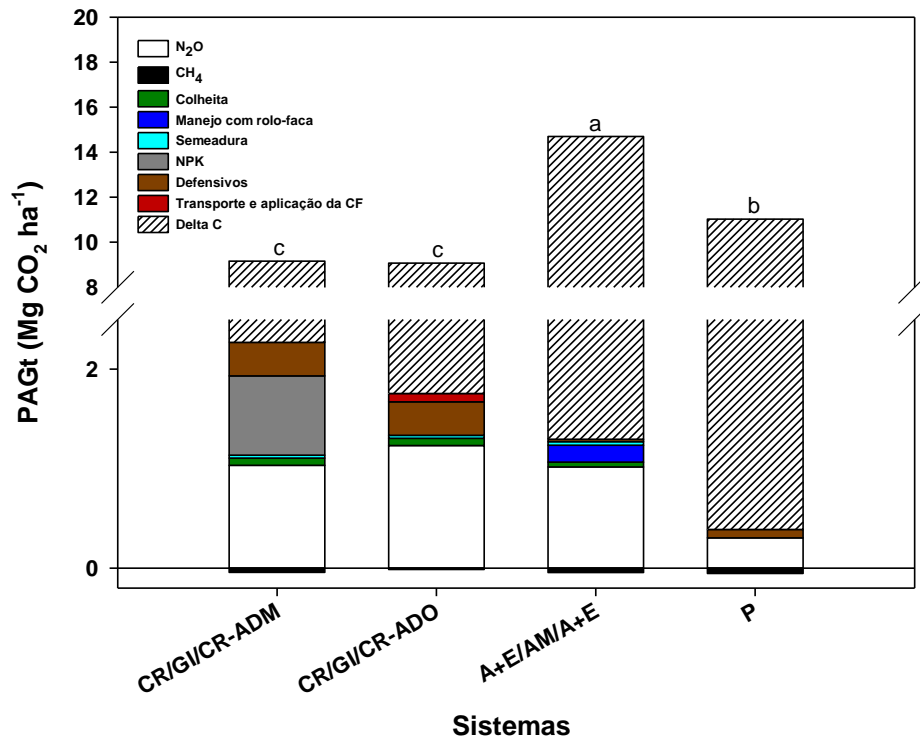


Figura 2. Potencial de aquecimento global total (PAGt) durante 1,4 anos de cultivo, de 2012 a 2013. Letras iguais nas barras não diferem entre si pelo teste t LSD a 5% de significância

No período total de 1,4 anos de cultivo, os valores de PAGt variaram de 9 a 15 Mg CO₂ eq. ha⁻¹. O sistema A+E/AM/A+E foi o que apresentou o maior valor de PAGt (15 Mg CO₂ eq. ha⁻¹), significativamente superior aos demais sistemas. Já o sistema de sucessão de culturas CR/GI/CR, com ADM e ADO, apresentaram os menores valores de PAGt (9 Mg CO₂ eq. ha⁻¹, ambos). Entre todas as fontes avaliadas nesse estudo e que contribuíram para o PAGt, o ΔC do solo foi aquele que se destacou frente aos demais, com as maiores contribuições para o PAGt em todos os tratamentos (Tabela 5).

Tabela 5

Contribuição das emissões de N₂O e CH₄, ΔC do solo, dos manejos (colheita, rolo-faca e semeadura) e adubações NPK, dos defensivos agrícolas e do transporte a aplicação da CF para o potencial de aquecimento global parcial (PAGt) durante 1,4 anos.

Sistemas	Contribuição para o PAGt (%)
----------	------------------------------

	N ₂ O	CH ₄	Colheita	Rolo-faca	Semeadura	NPK	Defensivos	Transp. e apl. da CF	ΔC	Total
CR/GI/CR-ADM	11,3	-0,5	0,8	0,0	0,3	8,7	3,7	0,0	75,6	100,0
CR/GI/CR-ADO	13,6	-0,1	0,8	0,0	0,3	0,0	3,7	0,7	80,8	100,0
A+E/AM/A+E	6,9	-0,3	0,3	1,2	0,2	0,0	0,2	0,0	91,5	100,0
P	2,8	-0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,8	0,0	96,9	100,0

A maior contribuição do ΔC do solo foi observada no sistema em pousio (P) (97%), onde houve também baixos percentuais de contribuição das outras fontes de CO₂ eq. para o PAGt e no A+E/AM/A+E (91%). Já a menor contribuição do ΔC do solo para o PAGp foi observada nos sistemas CR/GI/CR com ADM e ADO (76 e 81%, respectivamente), onde também houve uma maior contribuição das outras fontes de CO₂ eq. para o PAGt, em especial da fertilização com NPK no sistema CR/GI/CR-ADM. Dentre as fontes avaliadas e que contribuíram para o PAGt, as emissões acumuladas de CH₄ em todos os sistemas contribuíram para a redução do PAGt.

A tabela 6 mostra os rendimentos de grãos e o rendimento em óleo em cada sistema de sucessão de culturas nos três cultivos e o total acumulado ao final dos três cultivos e as relações entre PAGt/Rend. de grãos e PAGt/Rend. de óleo.

Tabela 6

Rendimento de grãos e de óleo para cada sistema de sucessão de culturas intercalares ao tungue, relação entre o potencial de aquecimento global total (PAGt) e rendimento de grãos (PAGt/Rend. Grãos) e relação entre o potencial de aquecimento global total (PAGt) e rendimento de óleo (PAGt/Rend. óleo), no período de 1,4 anos.

Sistemas	Rend. de grãos (kg ha ⁻¹)				Rend. de óleo (L ha ⁻¹)				PAGt (kg CO ₂ ha ⁻¹)	PAGt/Rend. grãos (kg CO ₂ /kg grãos)	PAGt/Rend. óleo (kg CO ₂ /L óleo) ¹
	Cultivos				Cultivos						
	1º	2º	3º	Total	1º	2º	3º	Total			
CR/GI/CR-ADM	1114	2284	1075	4472	423	913	409	1745	9114	2,0	5,2
CR/GI/CR-ADO	1137	2636	1097	4870	432	1054	417	1903	9058	1,9	4,8
A+E/AM/A+E	--	4666	--	4666	--	2287	--	2287	14652	3,1	6,4

aumentos nos valores de PAG durante a fase de obtenção da matéria-prima para o biodiesel. Os resultados das contribuições observadas nesse estudo corroboram com os de Snyder et al. (2009), que relatam que em seu estudo entre as principais fontes para o PAG foram as emissões de N_2O . Segundo Spugnoli et al. (2012) a fase de cultivo é a principal fonte de emissão de GEE na cadeia de produção de biodiesel, atingindo mais de 50% do total, por exemplo, considerando o girassol na cadeia do biodiesel. Sendo assim, as emissões de $N-N_2O$ pode ser a maior responsável para os custos em CO_2 eq. durante a produção de matéria-prima para o biodiesel. Merino et al. (2012) também verificaram que as maiores emissões de N_2O na cultura da colza fertilizada foram mais elevadas que sem fertilização, resultando em valores distintos de CO_2 eq. produzidos.

Além dos custos em CO_2 eq. através das emissões de $N-N_2O$, outro fator importante que contribuiu para o PAGp nos tratamentos com ADM (CR+ADM e GI+ADM) nos três períodos de cultivo, em especial no 3º cultivo, foram os custos em CO_2 eq. referente a produção e aplicação do fertilizante mineral (NPK). Brandão et al. (2011) relatam que o uso de fertilizantes provoca a maior parte do impacto na cultura da colza, devido às emissões de GEE no campo, principalmente o N_2O e da oxidação do C orgânico do solo, com emissões adicionais da produção dos fertilizantes. Esses resultados maiores de PAGp nos tratamentos fertilizados com adubo mineral diferem dos observados por Smith et al. (2012), que verificaram maiores potenciais em aumentar o aquecimento global nos tratamentos que foram fertilizados organicamente, no entanto, eles levaram em consideração apenas os gastos em CO_2 eq. com as emissões de GEE. Se não houvesse fertilização NPK nos tratamentos CR+ADM e GI+ADM no presente estudo, é provável que esses tratamentos tivessem um PAGp semelhante ou menor que os tratamentos que receberam ADO (CR+ADO e GI+ADO), pois o custo em CO_2 eq. do transporte e aplicação do ADO (CF) é menor que o custo total do fertilizante mineral (ADM). Nesse sentido, sendo os rendimentos de grãos semelhantes entre cultivos com fertilização mineral e cultivos com fertilização orgânica à base de CF, seria mais vantajosa a produção de matéria-prima para o biodiesel utilizando-se a CF, pois o PAGp seria semelhante entre as duas fontes de nutrientes e, o cultivo orgânico ainda seria mais vantajoso economicamente, já que a CF pode ter custo menor que o fertilizante mineral. Sistemas de cultivo orgânico com oleaginosas em SAF para a produção de matéria-prima para a fabricação do biodiesel, como os do presente

estudo, quando comparados a produção de matéria-prima para o biodiesel em monocultura podem apresentar, além das vantagens já citadas, o sequestro de C. Segundo Dhillon e Wuehlisch (2013) os sistemas agroflorestais são uma opção atraente e promissoras para sequestrar C, pois podem sequestrar grandes quantidades de C.

A baixa contribuição para o PAGp dos gastos de CO₂ eq. com as operações de semeadura, colheita, manejo com rolo-faca, aplicação e transporte da CF e o uso de defensivos já era esperada quando comparado às emissões de N-N₂O, pois essas operações ocorrem somente em um pequeno espaço de tempo, enquanto que as emissões de N₂O ocorrem em praticamente todo o período de cultivo das culturas. Já os menores valores de PAGp no cultivo 3 estão associados principalmente a menor contribuição em CO₂ eq. do N₂O devido às baixas as emissões de N-N₂O observadas nesse período, que ocasionaram um aumento na importância da parcela de contribuição dos custos de produção e aplicação da ADM no tratamento CR+ADM. Essas baixas emissões de N-N₂O que resultaram em menor percentual de contribuição estão ligadas a um período com menor quantidade de precipitações, que possivelmente resultaram em menores taxas de desnitrificação e de produção de N₂O no solo.

Em relação à parcela de contribuição do C-CH₄ em CO₂ eq. para o PAG, houve uma contribuição positiva para a redução do PAGp, pois ocorreu oxidação de CH₄ no solo nos três cultivos na maior parte do tempo, que resulta em influxo de CH₄ no solo. O solo pode atuar como uma fonte ou dreno desse importante GEE, que contribui para o aquecimento global e alterações climáticas (Janseens et al., 2003). Em solos aerados o CH₄ pode ser oxidado a CO₂ por metanotrofia, podendo o solo atuar como um dreno deste gás (Kessavalou et al., 1998). A emissão de CH₄ ocorre principalmente a partir da decomposição de matéria orgânica por condições estritamente anaeróbicas e extremamente reduzidas (Garcia et al., 2000). O exposto acima pode explicar a contribuição positiva do CH₄ para a redução do PAGp no presente estudo em solo aerado, pois o contrário ocorre em solos alagados, em que o CH₄ é o principal contribuinte para o PAG em solos alagados (Khalil e Inubushi, 2007; Zschornack, 2011, Souza, 2013). Entretanto, a menor contribuição para a redução do PAGp no sistema CR/GI/CR-ADO em relação aos demais sistemas, pode ser atribuído ao fato do fertilizante orgânico ter proporcionado aumento nos teores de C e N, elevando os teores de NH₄⁺ no solo, resultando assim competição

com o CH₄ pela enzima monooxygenase e diminuindo a capacidade do solo em oxidar este gás.

Considerando os PAGp de cada cultivo, é possível perceber que aqueles obtidos no crambe produzido com fertilização mineral são os maiores entre os sistemas de cultivo testados. No entanto, é necessário que se avalie o PAG por um período maior de tempo e, incluindo além das emissões e manejos utilizados, as mudanças nos estoques de C do solo, que variam de acordo com os manejos adotados, e que podem ter influência importante no PAG de cada sistema, conforme apresentado no próximo item.

3.4.2 Potencial de aquecimento global total (PAGt) e relação PAGt/Rend. de grãos/óleo

O sistema de cultivo que apresentou maior valor de PAGt foi aquele composto pelo consórcio A+E e AM. Tal resultado está relacionado à maior redução do conteúdo de C no solo desse sistema, contribuindo com as maiores quantidades de CO₂ eq. para o PAGt. Além disso, associa-se a esse sistema importante contribuição das emissões de N-N₂O. A maior redução no conteúdo de C do solo no sistema A+E/AM/A+E pode ter sido ocasionado principalmente pela colheita do amendoim, que provocou o revolvimento do solo e conseqüentemente a exposição da matéria orgânica do solo (MOS) ao ataque microbiano. Segundo Gomes (2006) o revolvimento do solo aumenta diretamente a emissão dos GEE através da decomposição da MOS e de resíduos culturais depositados sob o solo. Historicamente, a maioria dos solos agrícolas teve seu conteúdo original de MOS reduzido entre 30 e 50% pelo revolvimento do solo Amado (1999), com isso grandes quantidades de C podem ter sido liberadas para atmosfera na forma de CO₂, contribuindo para a redução do conteúdo de C no solo.

As práticas de cultivo e de manejo que causam alguma perturbação no solo podem afetar as suas propriedades químicas, físicas e biológicas, e, portanto, influenciar na liberação de GEE como o CO₂ (Baggs e Blum, 2004; Oorts et al., 2007). Esse efeito da desestruturação do solo pelo revolvimento sobre as perdas de C do solo é observado nos solos, quando comparados com solos sob sistema de plantio direto (Gomes, 2006; Costa, 2008; Campos, 2011; Calonego, 2012). Na hipótese do conteúdo de C do solo se manter estável, o cenário mudaria

completamente, e o sistema em pousio que não foi cultivado teria o menor PAGt. Em áreas que são utilizadas com sistemas agroflorestais ou que já foram convertidas para a agricultura há mais tempo, são necessários mais estudos de longa duração no intuito de verificar se as perdas de C do solo são semelhantes, já que o ΔC é um importante fator que tem peso na soma em CO₂ eq. Para o PAG em cada sistema Lehuger et al. (2011) relatam que a maioria dos agroecossistemas tem um balanço de GEE líquido positivo (aumentam o aquecimento global), e que esta tendência é controlada principalmente pelo potencial de armazenamento de C no solo. Nesse sentido, o presente estudo apresenta resultados importantes nessa questão, pois como foi verificado anteriormente, quando se analisa somente um período de cultivo é possível que conclusões errôneas sejam formuladas. Portanto, sempre que possível e dependendo do objetivo, é necessária a avaliação por mais de um ciclo de cultivo, no intuito de se verificar a interação dos sistemas bem como dos manejos e gastos de insumos agrícolas, com o PAG de cada sistema.

O PAGt foi semelhante entre os cultivos com ADO e ADM e apresentaram valores de PAGt inferiores ao sistema de A+E/AM/A+E. Os resultados observados nesse estudo para o PAGt para a fertilização com a CF e fertilização mineral são diferentes dos observados por Jones et al. (2005), que observaram menores valores de PAG nos tratamentos que utilizaram fertilização mineral, no entanto, eles avaliaram somente os GEE e não o estoque de C inicial e final do solo, nem os custos em CO₂ eq. dos demais manejos, como realizado no presente estudo.

A maior contribuição do ΔC do solo para o PAGt em todos os sistemas de cultivo testados pode ser explicado pelo fato de que a conversão da área que estava sem cultivo para a agricultura deve ter provocado perda de C. Pelo fato das culturas terem sido cultivadas em plantio direto (sem o revolvimento do solo) era esperado que houvesse um aumento ao invés de redução nos estoques de C no solo. No entanto, para que ocorra aumento dos estoques de C no solo é necessário que as entradas de C via resíduos culturais superem as perdas devido oxidação da MOS pela ação microbiana e pela ação da erosão do solo. Em estudo realizado por Zanatta et al. (2007) foi verificado que para manter os estoques de C estáveis em solo sob plantio direto é necessário a adição anual de 5,36 Mg de C ha⁻¹ para as condições edafoclimáticas do estudo. Abaixo desse valor existe a possibilidade dos estoques de C no solo reduzirem. No presente estudo a quantidade média anual de C adicionada nos sistemas de cultivo foi de 10,46 Mg de C ha⁻¹ no CR/GI/CR-ADO,

4,18 Mg de C ha⁻¹ no CR/GI/CR-ADM e de 3,69 Mg de C ha⁻¹ no A+E/AM/A+E. Com base nesses valores e nos resultados de Zanatta et al. (2007) é possível inferir que a quantidade anual adicionada de C não foi suficiente para contrabalancear as perdas de C pela ação microbiana e da erosão nem mesmo no sistema CR/GI/CR-ADO.

Os resultados desse estudo corroboram com os observados por Snyder et al. (2009), que verificaram que as mudanças nos estoques de C do solo foram as maiores responsáveis por influenciar o PAG. Note-se ainda que no sistema em pousio também teve uma redução no conteúdo de C no solo durante o período experimental. Isto provavelmente ocorreu porque nesse sistema foram realizadas algumas dessecações periódicas, no intuito de manter a área entre as linhas do tungue limpas, como comumente é feito em sistemas florestais, onde o agricultor realiza roçadas periódicas ou coloca animais na área para pastejar e manter as plantas invasoras sob controle. Esse manejo provavelmente ocasionou a redução do conteúdo de C no solo, pois o solo permaneceu com baixa cobertura e crescimento de plantas devido às dessecações, o que resultou em baixa adição de C ao solo interrompendo o sequestro de C atmosférico e ciclagem do mesmo para o solo.

Com base no índice PAGt/Rend. de grãos, que calcula quantos kg de CO₂ eq. são gastos para produzir cada kg de grãos de matéria-prima, constatou-se que os sistemas CR/GI/CR com ADO e ADM se mostraram mais eficientes energeticamente que o sistema A+E/AM/A+E, pois tiveram as menores relações PAGt/Rend. de grãos, ou seja, produziram maior quantidade de grãos com menores emissões de CO₂ eq. A maior relação PAGt/Rend de grãos observada no sistema A+E/AM/A+E em comparação aos sistemas de produção intensiva de grãos com CR e GI é devido que no primeiro sistema a produção de grãos é obtida em apenas um cultivo, diferente dos sistemas com CR e GI que a produção de grão ocorre nos três cultivos, superando aquela do sistema com AM. Dessa forma, para que esse sistema possa ter uma relação PAGt/Rend. de grãos menor e possa competir com o sistema intensivo de produção de matéria-prima a base de CR e GI, seria necessária a inserção de uma cultura de inverno com produção de grãos para fins de matéria-prima para a fabricação de biodiesel. A menor relação PAGt/Rend. de óleo observada no CR/GI/CR-ADO em comparação aos outros dois sistemas de produção de grãos para matéria-prima para o biodiesel é um resultado positivo, pois indica que maiores quantidades de óleo podem ser produzidas com um menor custo em CO₂ eq. Os resultados obtidos referem-se à produção de matéria-prima para a

fabricação do biodiesel, no entanto, esses resultados devem ainda ser compilados e melhor estudados, avaliando-se o custo em CO₂ eq. de toda a cadeia do biodiesel, desde a produção da matéria-prima até a queima do biodiesel e a captura de C pelas plantas oleaginosas. Num estudo realizado por Cavalett e Ortega (2010) em que os autores avaliaram por estimativas o ciclo de vida da soja para a produção de biodiesel, levando-se em consideração todos os custos envolvidos e toda a cadeia dessa cultura, eles concluíram que apesar de uma possível redução nas emissões de CO₂, o biodiesel de soja não é uma alternativa viável. Entretanto, a soja tem um teor de óleo menor, cerca de 20% (Castro e Lima, 2010b, IBGE, 2012), o que pode limitar o uso dessa cultura para a produção de biodiesel e para a mitigação das emissões de CO₂ eq. Com o cultivo de culturas que tenham maior teor de óleo como as utilizadas no presente estudo, pode ser possível que o PAGt de toda a cadeia seja positivo na redução das emissões de CO₂ eq., sendo assim uma alternativa para a produção de biodiesel e utilização em lugar do diesel fóssil, contribuindo para a redução dos impactos ambientais.

Dessa forma, esse estudo conseguiu demonstrar que o uso de CF pode ser uma alternativa de fertilização para o CR e o GI com finalidade de produção grãos como matéria-prima para o biodiesel. Apesar de apresentar as maiores emissões de N-N₂O durante os períodos de cultivo nos cultivos com fertilização à base de CF, ela proporcionou fornecimento de N de forma que a produção de grãos foi semelhante entre os cultivos com fertilização mineral e à base de CF. Esses resultados apontam para que o uso desse resíduo orgânico possa constituir uma alternativa na produção de grãos de CR e GI.

3.5 Conclusões

O cultivo de crambe e de girassol com fertilização mineral foi o que apresentou maior PAGp.

No período de 1,4 anos o sistema A+E/AM/A+E apresentou o maior PAGt possivelmente pela maior perda de C do solo nesse sistema.

O sistema de cultivo com crambe e girassol intercalar ao tungue apresentaram os menores custos de CO₂ eq. para a quantidade de grãos e óleo produzidos.

Referências

- Abdalla, A.L.; Silva Filho, J.C.; Godoi, A.R.; Carmo, C.A.; Eduardo, J.L.P, (2008). Utilização de subprodutos da indústria de biodiesel na alimentação de ruminantes. *Revista Brasileira de Zootecnia*. 37, 260-258.
- Alves, B.J.R., Urquiaga, S., Aita, C., Boddey, R.M., Jantalia, C.P., Camargo, F.A.O., 2006. (Eds.) Manejo de sistemas Agrícolas: Impacto no sequestro de C e nas emissões de gases do efeito estufa. Embrapa Agrobiologia capítulo 3, p.77 Porto Alegre: Genesis, 216p.
- Amado, T.J.C., Sequestro de carbono em plantio direto e a melhoria da qualidade ambiental. In: Conferencia Anual da Revista Plantio Direto, 4., Passo Fundo, 1999. Anais. Passo Fundo: Aldeia Norte, 1999. P. 44-51.
- Aziz E, Alexandre G, Mary B., 2011. Global action on climate change in agriculture: linkages to food security, markets and trade policies in developing countries. In: Food and agricultural organization report, vol. 96. Rome, Italy: FAO.
- Baggs, E.M., Blum, H., 2004. CH₄ oxidation and emissions of CH₄ and N₂O from *Lolium perenne* swards under elevated atmospheric CO₂. *Soil Biology and Biochemistry* 36, 713–723.
- Beaudette, C., Bradley, R.L., Whalen, J.K., McVetty, P.B.E., Vessey, K., Smith, D.L., 2010. Tree-based intercropping does not compromise canola (*Brassica napus* L.) seed oil yield and reduces soil nitrous oxide emissions. *Agriculture. Ecosystems & Environment*. 139, 33–39.
- Berghout, N.A., 2008. Technological learning in the german biodiesel industry: an experience curve approach to quantify reductions in production costs, energy use and greenhouse gas emissions. Master thesis, Utrecht University, Copernicus Institute, The Netherlands.
- Brasil, 2005. Presidência da República. Lei nº. 11.097 de 13 de janeiro de 2005. Dispõe sobre a introdução do biodiesel na matriz energética brasileira. Legislação Republicana Brasileira. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2005/Lei/L11097.htm (Acesso em: 11.06.12)
- Brandão, M., Canals, L.M., Roland Clift, R., 2011. Soil organic carbon changes in the cultivation of energy crops: Implications for GHG balances and soil quality for use in LCA. *Biomass & Bioenergy*. v.35, 2323-2336.
- Calonego, J.C., Santos, C.H., Tiritan, C.S., Júnior, J.R.C., 2012. Estoques de carbono e propriedades físicas de solos submetidos a diferentes sistemas de manejo. *Revista Caatinga* 25, 128-135.
- Campos B.C., Amado, T.J.C., Tornquist, C.G., Nicoloso, R.S., Fiorin, J.E., 2011. Long-term C-CO₂ emissions and carbon crop residue mineralization in an oxisol under different tillage and crop rotation systems. *Revista Brasileira Ciência do Solo* 35, 819-832.
- Carvalho, P. T., 2012. Balanço de emissões de gases de efeito estufa de biodiesel produzido a partir de soja e dendê no brasil. 2012, 166f. Dissertação (Mestrado em Planejamento Energético) Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012.

- Castro, A.M.G., Lima, S.M.V. “Estratégias para a competitividade do biodiesel”. In: Castro, A.M.G, Lima, S.M.V., Silva, J.F.V. 2010a(eds), *Complexo Agroindustrial de Biodiesel no Brasil: Competitividade das Cadeias Produtivas de Matérias-Primas*, 1 ed., capítulo 14, Brasília, DF: Embrapa Agroenergia.
- Cavalett, O., Ortega, E., 2010. Integrated environmental assessment of biodiesel production from soybean in Brazil. *Journal of Cleaner Production*. v.18, 55-70.
- Ceschia, E., Bé Ziat, P., Dejoux, J.F., Aubinet, M., Bernhofer, C., Bodson, B., Buchmann, N., Carrara, A., Cellier, P., Di Tomasi, P., Elbers, J.A., Eugster, W., Grünwald, T., Jacob, C.M.J., Jans, W.W.P., Jones, M., Kutsch, W., Lanigan, G., Magliulo, E., Marloie, O., Moors, E.J., Moureaux, C., Olioso, A., Osborne, B., Sanz, M.J., Saunders, M., Smith, P., Soegaard, H., Wattenbach, M., 2010. Management effects on net ecosystem carbon and GHG budgets at European crop sites. *Agriculture Ecosystems & Environment*, v.139, p.363–383.
- Clair, S.ST., Hillier, J., Smith, P., 2008. Estimating the pre-harvest greenhouse gas costs of energy crop production. *Biomass and Bioenergy*. v. 32, 442-452.
- Costa.F.S. 2008. Diurnal variation of methane emission from a paddy field under Rice cultivation in the Southern Brazil. *Revista Ciência Rural* 38, 2049-2053.
- Dhillon, R.S., Wuehlisch, G.V., 2013. Mitigation of global warming through renewable biomass. *Review. Biomass and Bioenergy*. v.48, 75-89.
- GBEP. 2011. Global Bioenergy Partnership. The Global Bioenergy Partnership Sustainability Indicators for Bioenergy, FAO, Rome, Italy.
- EMBRAPA, 2006. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos*. 2ª ed. Brasília: EMBRAPA Produção de Informação, 306p.
- Ferreira, D.F., 2000. *Sistemas de análises estatística para dados balanceados*. Lavras: UFLA/DEX/SISVAR, 145 p.
- Garcia, J.L., Patel, B., Ollivier, B., 2000. Taxonomic, phylogenetic, and ecological diversity of methanogenic archaea. *Anaerobe* 6, 205.
- Gomes, J., 2006. Emissão de gases do efeito estufa e mitigação do potencial de aquecimento global por sistemas conservacionistas de manejo do solo. 2006 151p. Tese (Doutorado em Ciência do Solo). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS.
- IEA, 2011 International Energy Agency . CO₂ emissions from fuel combustion-Highlights. Edition, www.iea.org.
- IPCC, 2007a. Agriculture. In: Metz, B., Davidson, O.R., Bosch, P.R. (Eds.), *Climate Change 2007: Mitigation, Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom/New York, NY, USA.
- IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). SIDRA (Sistema IBGE de Recuperação Automática), *Produção Agrícola Municipal*. IBGE, 2012. Disponível em: www.sidra.ibge.gov.br. (Acesso 25.01.2013).
- IPCC, 2007. Summary for policy makers. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, UK, pp. 7-22.
- Janseens, I.A., Freibauer, A., Ciais, P., et al., 2003. Europe’s biosphere absorbs 7-12% of anthropogenic carbon emissions. *Science* 300, 1538–1542.

- Jasper, S. P., Biaggioni, M. A. M., Silva, P. R. A., Seki, A.S., Bueno, O.C., (2010). Análise energética da cultura do crambe (*Crambe abyssinica* Hochst) produzida em plantio direto. Revista Engenharia Agrícola. Jaboticabal, v.30, n.3, p.395-403.
- Jones, S.K., Rees, R.M., Skiba, U.M., Ball, B.C., 2005. Greenhouse gas emissions from a managed grassland. *Global and Planetary Change*. 47, 201– 211.
- Kessavalou, A. et al., 1998. Greenhouse gas fluxes following tillage and wetting in a wheat-fallow cropping system. *Journal on Environmental Quality*, Madison 27, 1105-1116.
- Khalil, M.I., Inubushi, K., 2007. Possibilities to reduce rice straw-induced global warming potential of a sandy paddy soil by combining hydrological manipulations and urea-N fertilizations. *Soil Biology and Biochemistry* 39, 2675-2681
- Lal, R., 2004. Carbon emission from farm operations. *Environment International*, New York, v. 30, n. 8, p. 981-990.
- Lehugera, S., Gabrielleb, B., Laville, P., Lambonid, M., Loubetd, B., Cellier, P., 2011. Predicting and mitigating the net greenhouse gas emissions of crop rotations in Western Europe. *Agricultural & Forest Meteorology*. v. 151, 1654– 1671.
- Lima, P.C.R., 2004. Medida Provisória Nº 214: A Introdução do Biodiesel na Matriz Energética Brasileira. Medida Provisória Nº 214, de 2004. Câmara dos Deputados Praça 3 Poderes Consultoria Legislativa Anexo III – Térreo Brasília – DF. Disponível em: http://www2.camara.leg.br/documentos-e-pesquisa/publicacoes/estnottec/tema16/pdf/2004_11576.pdf
- Merino, P., Artetxe, A., Castello'n, A., Mene'ndez, S., Aizpurua, A., Estavillo, J.M., 2012. Warming potential of N₂O emissions from rapeseed crop in Northern Spain. *Soil & Tillage Research*. v.123, 29-34.
- Mosier, A.R., A.D. Halvorson, C.A. Reule, and X.J. Liu. 2006. Net global warming potential and greenhouse gas intensity in irrigated cropping systems in northeastern Colorado. *J. Environ. Qual.* 35:1584-1598.
- Moiser, A.R.; Halvorson, A.D.; Peterson, G.P.; Robertson, G.P.; Sherrod, L., 2005. Measurement of net global warming potential in three agroecosystems. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, Dordrecht, v. 72, n.1, p.67-79.
- Munarini, A., Bourscheid, A., Flores, A., Reis, B.; Costa, J.B., Leal, M., Oliveira, M.J., Gorgen, S.A., Sacon, V., 2009. Informações técnicas sobre os cultivos de oleaginosas perenes e florestais. In: Instituto Cultural Padre Josimo. Agricultura camponesa e as energias renováveis: Um guia técnico. 1ed. Porto Alegre, p.106-138.
- Nelson, D.W., Sommers, L.E., 1996. Total carbon, organic carbon, and organic matter. In: Black, C.A., ed. *Methods of soil analysis. Part 3. Chemical methods* Madison. Soil Science of America and American Society of Agronomy, 961-1010.
- Oorts, K., Merckx, R., Gréhan, E., Labreuche, J., Nicolardot, B., 2007. Determinants of annual fluxes of CO₂ and N₂O in long-term no-tillage and conventional tillage systems in northern France. *Soil & Tillage Research* 95, 133-148.
- Rochette, P., Bertrand, N. 2003. Soil air sample storage and handling using polypropylene syringes and glass vials. *Canadian Journal of Soil Science* 83: 631-637.
- Ruser, R., Flessa, H., Russow, R., Schmidt, G., Buegger, F., Munch, J.C., 2006. Emission of N₂O, N₂ and CO₂ from soil fertilized with nitrate: effect of

- compaction, soil moisture and rewetting. *Soil Biology and Biochemistry*, 38, 263-274.
- Sistani, K.R., Jn-Baptiste, M., Lovanh, N., Cook, K.L., 2011. Atmospheric emissions of nitrous oxide, methane, and carbon dioxide from different nitrogen fertilizers. *Journal of Environmental Quality*. 40, 1797-1805.
- Souza, E.L., 2013. Emissão de óxido nitroso e metano em área de cultivo com arroz irrigado com diferentes manejos da palha pós-colheita. 2013 139p. Tese (Doutorado em Ciência do Solo). Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS.
- Sistani, K.R., J.G. Warren, N. Lovanh, S. Higgins, and S. Shearer. 2010. Greenhouse Gas Emissions from Swine Effluent Applied to Soil by Different Methods. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 74:429–435.
- Smith, k., Watts, D., Way, T., Torbert, H., Prior, S., 2012. Impact of tillage and fertilizer application method on gas emissions in a corn cropping system. *Pedosphere* 22(5): 604–615.
- Snyder, C.S., Bruulsema, T.W., Jensen, T.L., Fixen, P.E., 2009. Review of greenhouse gas emissions from crop production systems and fertilizer management effects. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 133, 247–266.
- Spatari S, Zhang Y, Maclean HL., 2005. Life cycle assessment of switch grass- and corn stover-derived ethanol-fueled automobiles. *Environmental Science and Technology*. v.39:9750-.8.
- Spugnoli, P., Dainelli. R., D'Avino, L. Mazzoncini, M. Lazzeri, L., 2012. Sustainability of sunflower cultivation for biodiesel production in Tuscany within the EU Renewable Energy Directive. *Biosystems Engineering*. 112, 49-55.
- Tedesco, M.J., Gianello, C., Bissani, C.A., Bohnen, H., Volkweiss, S.J., 1995. Análises de solo, plantas e outros materiais. 2. ed. Departamento de Solos, Faculdade de Agronomia. Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Porto Alegre, 215 p.
- Trzeciak, M.B., Neves, M.B. das, Vinholes, P. S. da, Villela, F.A., 2008. Utilização de sementes de espécies oleaginosas para produção de biodiesel. Informativo ABRASTES. v.18, nº 1,2,3, 030-038. Disponível em: <http://www.ufvjm.edu.br/disciplinas/agr011/files/2013/10/Biodiesel.pdf> (Acesso em: 15.01.14).
- ZANATTA, J. A., BAYER, C., DIECKOW, J., VIEIRA, F. C. B., MIELNICZUCK, J., 2007. Soil organic carbon accumulation and carbon costs related tillage, cropping systems and nitrogen fertilization in a subtropical Acrisol. *Soil & Tillage Research*, v. 94, p. 510-519.
- Zobiolo, L.H.S.; Castro, de C.; Oliveira, F.A. de; Oliveira Junior, A. de, (2010) Marcha de absorção de macronutrientes na cultura do girassol. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. 34, 425-433.
- Zou, J., Liu, S., Qin, Y., Pan, G., Zhu, D., 2009. Sewage irrigation increased methane and nitrous oxide emissions from rice paddies in southeast China. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 129, 516–522.
- Zschornack, T., 2011. Emissões de metano e de óxido nitroso em sistemas de produção de arroz irrigado no Sul do Brasil e potencial de mitigação por práticas de manejo. 2011. 102 p. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANP (Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis). **Boletim Mensal do Biodiesel**, 2012b. Disponível em: <www.anp.gov.br/biocombustiveis/biodiesel>. Acesso em outubro de 2013.

BERGHOUT, N. A. **Technological learning in the german biodiesel industry: an experience curve approach to quantify reductions in production costs, energy use and greenhouse gas emissions**. Master thesis, Utrecht University, Copernicus Institute, The Netherlands, 2008.

BREMNER, J. M., BLACKMER, S. M. Nitrous oxide emissions from soils during nitrification of fertiliser nitrogen. **Science** 199, 295–296, 1978.

CARTER, M. S., HAUGGAARD-NIELSEN, H.; HEISKE, S.; JENSEN, M.; THOMSEN, S. T.; SCHMIDT, J. E.; JOHANSEN, A.; AMBUS, P. Consequences of field N₂O emissions for the environmental sustainability of plant-based biofuels produced within an organic farming system. **GCB Bioenergy**, v. 4, 435-452, 2012.

CARVALHO, P. T. **Balanço de emissões de gases de efeito estufa de biodiesel produzido a partir de soja e dendê no brasil**. 2012, 166f. Dissertação (Mestrado em Planejamento Energético) Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012.

CHAN, A. S. K.; PARKIN, T. B. Methane Oxidation and Production Activity in Soils from Natural and Agricultural Ecosystems. **Journal of Environmental Quality**. 30, 1896-1903, 2001.

CESCHIA, E.; BÉ ZIAT, P.; DEJOUX, J. F.; AUBINET, M.; BERNHOFER, C.; BODSON, B.; BUCHMANN, N.; CARRARA, A.; CELLIER, P.; DI TOMASI, P.; ELBERS, J. A.; EUGSTER, W.; GRÜNWARD, T.; JACOB, C. M. J.; JANS, W. W. P.; JONES, M.; KUTSCH, W.; LANIGAN, G.; MAGLIULO, E.; MARLOIE, O.; MOORS, E. J.; MOUREAUX, C.; OLIOSO, A.; OSBORNE, B.; SANZ, M. J.; SAUNDERS, M.; SMITH, P.; SOEGAARD, H.; WATTENBACH, M. Management effects on net ecosystem carbon and GHG budgets at European crop sites. **Agriculture. Ecosystems and Environment**, v. 139, p. 363–383, 2010.

CLAIR, S. St.; HILLIER, J.; SMITH, P. Estimating the pre-harvest greenhouse gas costs of energy crop production. **Biomass and Bioenergy**. v. 32, 442-452, 2008.

DHILLON, R. S.; WUEHLISCH, G. V. Mitigation of global warming through renewable biomass. **Review. Biomass and Bioenergy**. v. 48, 75-89, 2013.

FIRESTONE, M. K.; DAVIDSON, E. A. 1989. Microbial basis of NO and N₂O production and consumption in soil. In: ANDREAE, M. O.; SCHIMMEL, D. S. (Eds.), *Exchange of Trace Gases between Terrestrial Ecosystems and the Atmosphere*. Wiley, New York, NY, USA, p. 7-21, 1989.

GBEP (GLOBAL BIOENERGY PARTNERSHIP). **The Global Bioenergy Partnership Sustainability Indicators for Bioenergy**, FAO, Rome, Italy, 2011.

GNANSOUNOU, E.; DAURIAT, A.; VILLEGAS, J. et al. "Life cycle assessment of biofuels: Energy and greenhouse gas balances", **Bioresource Technology**, v. 100, p. 4919-4930, 2009.

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change. **Climate Change 2007: The Physical Science Basis**. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. 2007.

KESSAVALOU, A. et al., Greenhouse gas fluxes following tillage and wetting in a wheat-fallow cropping system. **Journal on Environmental Quality**, Madison v. 27, 1105-1116, 1998.

KNIGHTS, E. G. **Crambe: A North Dakota case study**. A Report for the Rural Industries Research and Development Corporation, RIRDC Publication No. W02/005, Kingston, 2002. 25p. <<http://www.rirdc.gov.au>> Acesso em 12 de janeiro de 2012.

LAL, R. Carbon emission from farm operations. **Environment International**, New York, v. 30, n. 8, p. 981-990, 2004.

MOISER, A. R.; HALVORSON, A. D.; PETERSON, G. P.; ROBERTSON, G. P.; SHERROD, L. Measurement of net global warming potential in three agroecosystems. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Dordrecht, v. 72, n. 1, p. 67-79, 2005.

MUNARINI, A.; BOURSCHEID, A.; FLORES, A.; REIS, B.; COSTA, J. B.; LEAL, M.; OLIVEIRA, M. J.; GORGEN, S. A.; SACON, V. **Informações técnicas sobre os cultivos de oleaginosas perenes e florestais**. In: Instituto Cultural Padre Josimo.

Agricultura camponesa e as energias renováveis: Um guia técnico. 1ed. Porto Alegre, p. 106-138, 2009.

PITOL, C.; BROCH, D. L.; ROSCOE, R. **Tecnologia e Produção: Crambe 2010**. Maracaju: Fundação MS, 60p., 2010.

PITOL, C. Cultura do crambe. In: **Tecnologia e Produção: Milho Safrinha e Culturas de Inverno**. Fundação MS. p. 85-8, 2008. Disponível em: <<http://w.fundacaoms.org.br/page.php?21>>. Acesso em 12 de janeiro de 2012.

RADOMSKI, M. I.; RAMOS, A.; GONÇALVES, J. Introdução do tungue (*Aleurites fordii*) em sistemas agroflorestais de agricultores familiares agroecológicos da região da Floresta com Araucária, no Paraná. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 2 n. 2, 2007.

ROBERTSON, G. P.; PAUL, E. A.; HARWOOD, R. R. Greenhouse gases in intensive agriculture: contributions individual gases to the radiative forcing of atmosphere, **Science**, London, v. 289, p. 1922-1925, 2000.

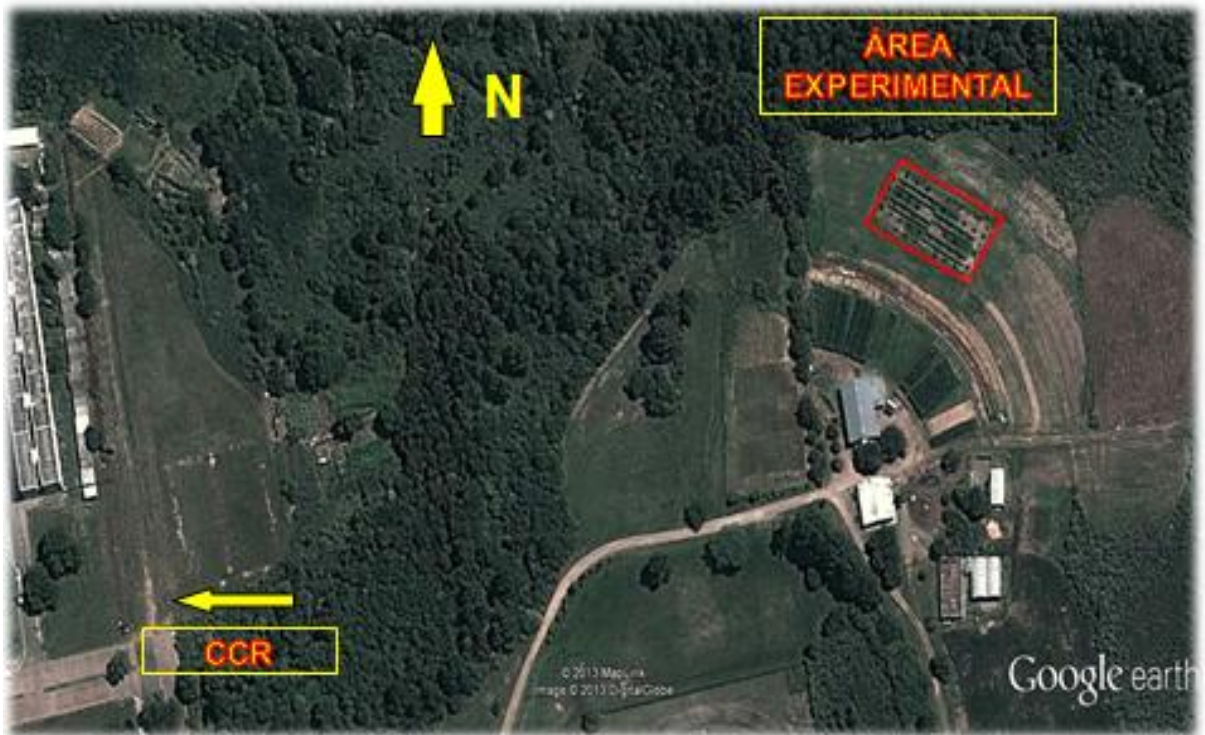
SANTOS, R. F.; TODESCHINI, A.; ROSA, H. A.; CHAVES, L. I.; BASSEGIO, D.; VELOSO, G. **Evolução e perspectiva da cultura do amendoim para biocombustível no Brasil**. Acta Iguazu, Cascavel, v. 1, n. 2, p. 20-35, 2012.

TRZECIAK, M. B.; NEVES, M. B. das; VINHOLES, P. S. da; VILLELA, F. A., 2008. **Utilização de sementes de espécies oleaginosas para produção de biodiesel**. Informativo ABRASTES. v.18, nº 1,2,3, 030-038. Disponível em: <http://www.ufvjm.edu.br/disciplinas/agr011/files/2013/10/Biodiesel.pdf> (Acesso em: 15.01.14).

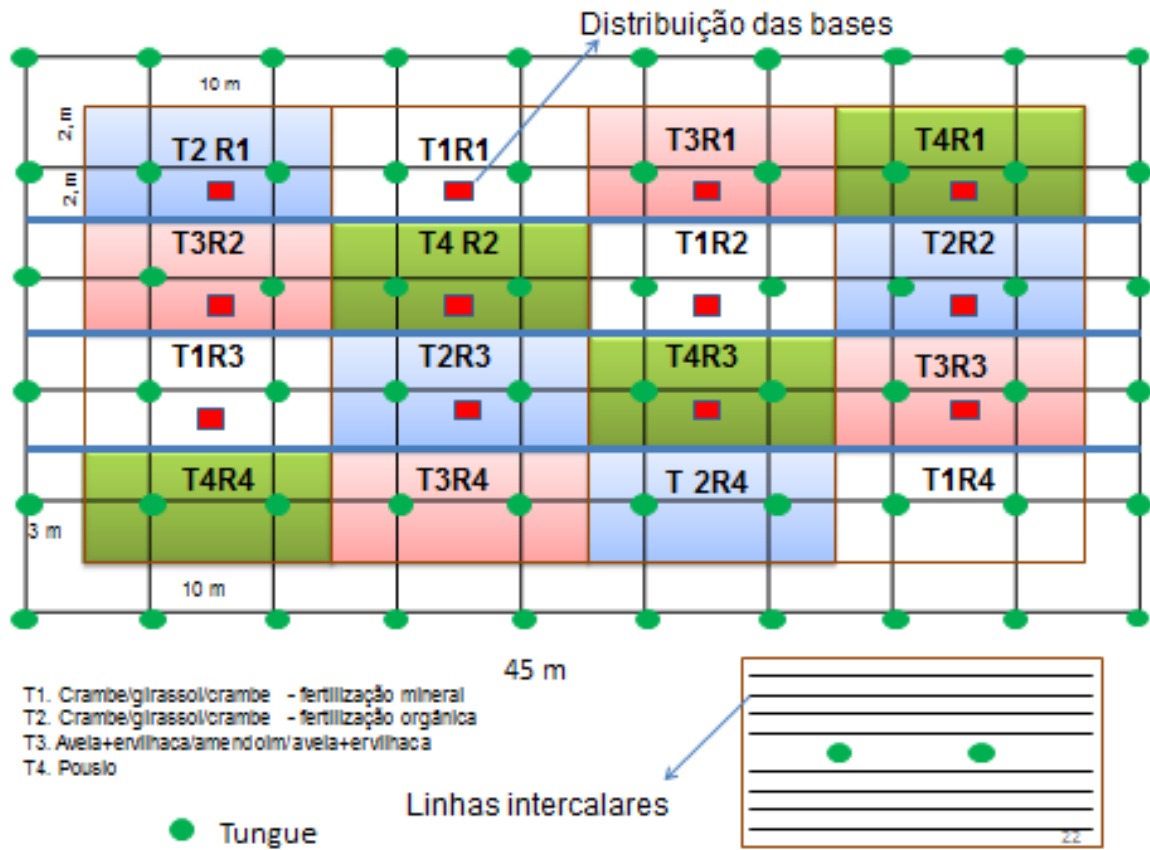
VENTURA, D. A. M F.; ALVES, K. B.; SANTOS, M. K. V. A. **Análise comparativa entre o biodiesel de girassol e o biodiesel de mamona**. Congresso Brasileiro de Mamona, 4 & Simpósio Internacional de Oleaginosas Energéticas, 1, 2010, João Pessoa. Inclusão Social e Energia: Anais. Campina grande: Embrapa Algodão, p. 7-12, 2010.

Webb, J.; THORMAN, R. E.; FERNANDA-ALLER, M.; JACKSON, D. R., 2014. Emission factors for ammonia and nitrous oxide emissions following immediate manure incorporation on two contrasting soil types. **Atmospheric Environment**. v. 82, p. 280-287, 2014.

ANEXOS

ANEXO 1 – Vista aérea do experimento

ANEXO 2 – Croqui do experimento



ANEXO 3 – Coleta de GEE

