

**Diversificação de Culturas como
Estratégia Mitigadora de Emissões
de Gases de Efeito Estufa em
Terras Baixas**



ISSN 1678-2518

Dezembro, 2016

*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Clima Temperado
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 249

Diversificação de Culturas como Estratégia Mitigadora de Emissões de Gases de Efeito Estufa em Terras Baixas

Walkyria Bueno Scivittaro
Anderson Dias Silveira
Rogério Oliveira de Sousa
André Andres
Thaís Murias Jardim

Embrapa Clima Temperado
Pelotas, RS
2016

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

Embrapa Clima Temperado

Endereço: BR 392, Km 78

Caixa postal 403, CEP 96010-971 - Pelotas/RS

Fone: (53) 3275-8100

www.embrapa.br/clima-temperado

www.embrapa.br/fale-conosco/sac/

Comitê de Publicações da Embrapa Clima Temperado

Presidente: *Ana Cristina Richter Krolow*

Vice-Presidente: *Enio Egon Sosinski Junior*

Secretária: *Bárbara Chevallier Cosenza*

Membros: *Ana Luiza Barragana Viegas, Fernando Jackson, Marilaine Schaun Pelufê, Sonia Desimon*

Revisão de texto: *Bárbara C. Cosenza*

Normalização bibliográfica: *Marilaine Schaun Pelufê*

Editoração eletrônica: *Nathália Coelho (estagiária)*

Foto de capa: *Walkyria Scivittaro*

1ª edição

Obra digitalizada (2016)

Todos os direitos reservados.

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Embrapa Clima Temperado

-
- D618 Diversificação de culturas como estratégia mitigadora de emissões de gases de efeito estufa em terras baixas / Walkyria Bueno Scivittaro... [et al.]. - Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2016.
36 p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento / Embrapa Clima Temperado, ISSN 1678-2518 ; 249)

1. Diversificação de cultura. 2. Rotação de cultura.
3. Efeito estufa. 4. Condição ambiental. I. Scivittaro, Walkyria Bueno. II. Série.

CDD 633

©Embrapa 2016

Sumário

Resumo	5
Abstract	7
Introdução	9
Material e Métodos	12
Resultados e Discussão	16
Conclusões	29
Referências	30

Diversificação de Culturas como Estratégia Mitigadora de Emissões de Gases de Efeito Estufa em Terras Baixas

Walkyria Bueno Scivittaro¹

Anderson Dias Silveira²

Rogério Oliveira de Sousa³

André Andres⁴

Thaís Murias Jardim⁵

Resumo

A diversificação de culturas com espécies de sequeiro em rotação ao arroz irrigado constitui-se em alternativa para elevar a sustentabilidade dos sistemas de produção em terras baixas. A diminuição no período anóxico deve influenciar a produtividade das culturas e interferir na dinâmica do carbono e do nitrogênio do solo e, conseqüentemente, nas emissões de gases de efeito estufa. Este trabalho teve por objetivo avaliar as emissões de metano e óxido nítrico e o potencial de aquecimento global parcial associado aos cultivos de soja e sorgo forrageiro em terras baixas, comparando-os ao arroz irrigado. O estudo foi realizado na safra 2015/2016, em Planossolo Háptico, no município de Capão do Leão, RS. Avaliaram-se os cultivos de arroz irrigado, soja e sorgo forrageiro implantados nos sistema convencional e plantio direto. Periodicamente, realizaram-

¹Engenheira-agrônoma, doutora em Ciências, pesquisadora da Embrapa Clima Temperado, Pelotas, RS.

²Engenheiro-agrônomo, mestrando do MACSA, Faem/UFPel, Pelotas, RS.

³Engenheiro-agrônomo, doutor em Ciência do Solo, professor da Faem/Ufpel, Pelotas, RS.

⁴Engenheiro-agrônomo, doutor em Agricultura, pesquisador da Embrapa Clima Temperado, Pelotas, RS.

⁵Graduanda em Agronomia, Faem/UFPel, Pelotas, RS.

se coletas de amostras de ar, pelo método da câmara estática fechada. Os cultivos de soja e de sorgo forrageiro reduziram as emissões totais de CH_4 e aumentaram as emissões de N_2O do solo, em comparação ao cultivo de arroz irrigado, sendo a redução nas emissões de CH_4 mais significativa que a elevação nas emissões de N_2O . O arroz implantado em sistema plantio direto proporcionou maior emissão de CH_4 , relativamente ao sistema convencional. O metano contribuiu com quase a totalidade ($\geq 99\%$) do potencial de aquecimento global do arroz irrigado, enquanto que o óxido nitroso foi o componente principal do PAGp ($>90\%$) da soja e do sorgo forrageiro. A diversificação de culturas em terras baixas, pela inclusão dos cultivos de soja e sorgo forrageiro em rotação ao arroz irrigado, reduz o potencial de aquecimento global em relação ao cultivo de arroz irrigado, constituindo-se em sistemas de produção de grãos mitigadores de emissões de gases de efeito estufa para o ambiente de terras baixas.

Termos para indexação: metano, óxido nitroso, rotação de culturas, soja, sorgo forrageiro, potencial de aquecimento global.

Crop Diversification as a Strategy of Greenhouse Gases Emissions Mitigation in Lowlands

Crop diversification with upland species in rotation to irrigated rice constitutes an alternative to increase the sustainability of production systems in lowlands. The decrease in the period of anoxic environment should influence crop yield and interfere in the dynamics of soil carbon and nitrogen and, consequently, in greenhouse gases emissions. This study aimed to evaluate the emissions of methane and nitrous oxide and partial global warming potential of soybean and forage sorghum in the lowlands, comparing them to the irrigated rice. The study was carried out in 2015/2016 crop season, in a Planossolo (Typic Albaqualf), at Embrapa Temperate Agriculture, in Capão do Leão, State of Rio Grande do Sul, Brazil. The following crops implanted in conventional tillage and no tillage systems were evaluated: irrigated rice, soybeans and forage sorghum. The air sampling for CH₄ and N₂O soil emissions analysis was performed at least once a week, using static closed chambers. Soybeans and sorghum crops reduced total CH₄ emissions and increased N₂O emissions, compared to irrigated rice, and the reduction in CH₄ emissions were more significant than the increase in N₂O emissions. No tillage rice provides greater CH₄ emissions relatively to conventional tillage rice conventional system. Methane contributed with almost all (≥99%) of the global warming potential (GWP) of rice, while nitrous oxide was the main component

8 Diversificação de Culturas como Estratégia Mitigadora de Emissões de Gases de Efeito Estufa em Terras Baixas

of GWP (>90%) of soybeans and sorghum. Crop diversification in lowlands by the inclusion of soybeans and sorghum forage in rotation to irrigated rice reduces global warming potential compared to rice system, constituting an alternative production system to mitigate greenhouse gases emissions for lowlands environment.

Index terms: *methane, nitrous oxide, crop rotation, soybeans, sorghum forage, global warming potential.*

Introdução

O Bioma Pampa é um ecossistema natural que, no Brasil, ocupa mais da metade do Estado do Rio Grande do Sul, além de todo o Uruguai e cerca de um terço do território Argentino. Esse bioma tem como características a vegetação rasteira, os solos relativamente planos e duas estações bem definidas, inverno frio com excesso hídrico e verão quente com deficiência hídrica no solo. Em geral, as espécies vegetais seguem ciclos circadianos e períodos de aptidão ao cultivo em consonância a essa dualidade estacional.

Na percepção agrícola, as áreas do Bioma Pampa localizadas no Extremo Sul do Brasil são divididas em terras altas, com solos bem drenados, e terras baixas, com relevo plano a suave ondulado, que remete à ocorrência de solos hidromórficos, principalmente Planossolos e Gleissolos (PINTO et al., 2004). A condição de hidromorfismo, associada à baixa fertilidade natural e às limitações físicas comuns nos solos de terras baixas, dificultaram por muito tempo a implementação de uma agricultura diversificada nesse ambiente, que tem o cultivo de arroz irrigado por inundação do solo como principal atividade agrícola (ANGHINONI et al., 2004; VEDELAGO et al., 2012).

Tradicionalmente, o cultivo do arroz nas terras baixas do Bioma Pampa ocorre de forma integrada à pecuária de corte; o cereal é cultivado por até duas safras consecutivas e, em razão de limitações fitossanitárias, notadamente a ocorrência de plantas daninhas, dá lugar ao pousio por dois a quatro anos, período em que se estabelece a pecuária de corte ou de leite. Há vários anos, porém, o período de pousio tem sido alvo de interesse de produtores, que buscam maior aproveitamento do potencial de uso agrícola das terras baixas, por meio da diversificação de culturas.

Anualmente, mais de 2,5 milhões de hectares de áreas planas, aptas ao cultivo e relativamente próximas a pontos de escoamento de insumos e da produção encontram-se em repouso do cultivo de arroz, podendo ser aproveitados por outras espécies produtoras de grãos. Por essa razão, mesmo com as restrições naturais dos solos hidromórficos aos cultivos de sequeiro, nos últimos anos, aumentou de forma expressiva a área ocupada com culturas de sequeiro em rotação ao arroz nas terras baixas do Bioma Pampa. Estimativas indicam que, anualmente, cultivam-se pelo menos 300 mil hectares de soja em terras de arroz, impulsionada pela valorização da oleaginosa como “commodity” e pelos benefícios técnicos ao sistema de produção (REUNIÃO, 2016).

O modelo de produção agrícola, que envolve o cultivo de espécies de sequeiro em rotação ao arroz irrigado, tem potencial para elevar os baixos índices econômicos e sociais do Pampa gaúcho, alterando, ainda, o uso e manejo do solo, da água e da cobertura vegetal nesse complexo e frágil agroecossistema, refletindo-se na sustentabilidade dos sistemas de produção. No Sul do Brasil, os resultados de pesquisas sobre o impacto da diversificação de culturas no ambiente de terras baixas ainda são incipientes, demandando estudos de diferente natureza, incluindo avaliações relativas às emissões de gases de efeito estufa (GEE).

Os solos agrícolas são uma importante fonte de óxido nitroso (N_2O) e metano (CH_4) para a atmosfera, contribuindo, respectivamente, com cerca de 6% e 20% para o aumento no forçamento radiativo global (IPCC, 2013). As emissões de N_2O estão relacionadas principalmente ao aporte de nitrogênio (N), via adubação mineral ou orgânica, a sistemas agrícolas aeróbios, enquanto que as emissões de CH_4 decorrem, preponderantemente, do cultivo de arroz irrigado por inundação do solo (NISHIMURA et al., 2011; YAN et al., 2009). Essas últimas representam de 9% a 19% das emissões totais de metano (IPCC, 2013). Contrariamente, as emissões de óxido nitroso associadas ao cultivo de

arroz irrigado são pouco representativas, uma vez que, sob inundação contínua, mant m-se a condi o de anaerobiose, que   desfavorável   nitrifica o, limitando a disponibilidade de nitrato, que   o substrato para a desnitrifica o (CAI et al., 1997; LINQUIST et al., 2012).

Por outro lado, a introdu o de cultivos de sequeiro, como a soja, o milho, o sorgo e forrageiras, em rota o ao arroz irrigado, reduz drasticamente o período de ocorrência de ambiente anóxico, favorável   produ o e emissão de CH₄. Mas a alternância nas condi o oxirredu o do solo são intensificadas, favorecendo os processos de nitrifica o e desnitrifica o, que têm o N₂O como produto intermediário (LIU et al., 2010). Weller et al. (2015) relatam que a conversão de sistemas de produ o de arroz irrigado para sistemas de rota o de culturas, onde prevalecem solos sob condi o aeróbicas, além de influenciar a produtividade de grãos, interfere na dinâmica do carbono e do nitrogênio do solo e, conseqüentemente, nas emissões de gases de efeito estufa. Nesse sentido, estudos realizados por Nishimura et al. (2005, 2011), no Japão, mostraram que a conversão de áreas de cultivo contínuo de arroz irrigado para sistemas de produ o de arroz aeróbio ou com a rota o soja/trigo promoveram aumento significativo no potencial de aquecimento global (PAG) líquido, devido ao incremento nas emissões de N₂O do solo, mas resultaram em redu o nas emissões de CH₄ do arroz irrigado, quando estabelecido em sucessão a cultivos de sequeiro.

Por sua vez, Yan et al. (2005) reuniram dados de emissões de CH₄ de diversos sistemas alagados da China e propuseram uma equa o para estimar as emissões desse GEE a partir de diversos parâmetros ambientais, incluindo o manejo da água no período que antecede o cultivo de arroz irrigado. A aplica o da equa o indicou a possibilidade de redu o nas emissões de CH₄ do solo decorrente da manuten o do solo drenado por período prolongado antecedendo o cultivo de arroz irrigado. Posteriormente, Yao et al. (2010) mediram as emissões de N₂O da rota o arroz irrigado/trigo, verificando redu o

nas relativamente altas emissões de óxido nitroso do solo durante o cultivo de arroz irrigado pela incorporação de resíduos de palha de arroz compostada ou palha fresca de trigo imediatamente antes da inundação do solo para o cultivo de arroz.

O presente trabalho foi realizado com o objetivo de avaliar as emissões de metano e óxido nitroso e o potencial de aquecimento global parcial dos cultivos de soja e sorgo forrageiro em terras baixas, comparando-os ao arroz irrigado.

Material e Métodos

o experimento foi realizado sob condições de campo, na safra agrícola 2015/2016, em Planossolo Háplico (STRECK et al., 2008), na Estação Experimental Terras Baixas da Embrapa Clima Temperado, em Capão do Leão, RS. A área experimental foi sistematizada em desnível (0,2% de declividade) no final do verão de 2015. Na sequência, realizou-se à correção do solo para pH 6,0 e semeou-se azevém (*Lolium multiflorum*) cv. BRS Ponteio para uniformização da área. Essa forrageira recebeu adubação básica de semeadura (250 kg ha⁻¹ da formulação 5-20-20) e duas coberturas nitrogenadas (45 kg ha⁻¹ de N, como ureia) após cortes (25 de junho e 30 de julho), na altura de 10-15 cm, com remoção do material vegetal. A correção do solo e adubação para o azevém foram estabelecidas considerando-se os resultados da análise química do solo e as indicações técnicas da pesquisa para a cultura (SOCIEDADE, 2004). No dia 28 de agosto de 2015, foi realizado um terceiro corte do azevém, não se realizando, porém, subsequente cobertura nitrogenada. A produção de matéria seca do azevém totalizou 4,3 t ha⁻¹ (1,5; 1,7 e 1,1 t ha⁻¹, no primeiro, segundo e terceiro cortes, respectivamente). Em 14 de setembro de 2015, procedeu-se à dessecação da área experimental (3.000 m²) e sua divisão em duas partes, visando o estabelecimento das culturas de verão em dois sistemas de cultivo (convencional e plantio direto). Em razão de

a primavera ter sido muito chuvosa, as culturas de verão somente puderam ser semeadas no dia 26 de novembro de 2015. Na semana anterior, procedeu-se o preparo da área destinada à implantação das culturas em sistema convencional de cultivo (operações de aração, gradagem e aplainamento) e a dessecação da área destinada ao sistema plantio direto.

Em ambas as áreas, semearam-se, em faixas (20 m x 50 m) as culturas de arroz irrigado, soja e sorgo forrageiro. Detalhes sobre o manejo dessas culturas são apresentados na Tabela 1. O controle de plantas daninhas e de insetos-praga para as culturas seguiu as indicações técnicas para a cultura no Sul do Brasil (REUNIÃO, 2013, 2014a, 2014b). Na faixa relativa a cada tratamento (combinação de sistema de implantação e cultura de verão) foram instalados, ao acaso, três sistemas coletores de gases de efeito estufa, constituindo as repetições. Utilizaram-se coletores distintos para as culturas de arroz irrigado (modelo específico para sistemas alagados – base/extensor/topo) e soja e sorgo forrageiro (modelo específico para sistemas aeróbios – base/topo) (SCIVITTARO et al., 2016). Ambos os modelos seguem o método da câmara estática fechada (MOSIER, 1989).

Ao longo do período de avaliação, realizou-se o monitoramento diário da precipitação pluvial (Figura 1).

Tabela 1. Práticas de manejo adotadas e datas/períodos de realização nos cultivos de arroz irrigado, soja e sorgo forrageiro, na safra 2015/2016. Embrapa Clima Temperado. Capão do Leão, RS.

Prática de manejo	Arroz irrigado	Soja	Sorgo forrageiro
Cultivar	Puitá INTA CL	NS 6209 RR	BRS 802
Espaçamento entre linhas	17,5 cm	50 cm	50 cm
Densidade de semeadura	100 kg ha ⁻¹	30 plantas m ²	15-18 sementes m ²
Adubação básica	290 kg ha ⁻¹ 5-25-25	290 kg ha ⁻¹ 2-25-25	290 kg ha ⁻¹ 5-25-25
Inoculação	----	2 doses inoculante	----
Adubação em cobertura	120 kg ha ⁻¹ N (V3; R0) 15 kg ha ⁻¹ de K ₂ O (R0)	27,5 kg ha ⁻¹ K ₂ O (R1)	60 kg ha ⁻¹ N (V3-V4)
Irrigação	Inundação contínua 19/12/2015 a 10/04/2016	Aspersão 1/01/2016	Aspersão 21/01/2016
Colheita	14/04/2016	02/05/2016	01/04/2016

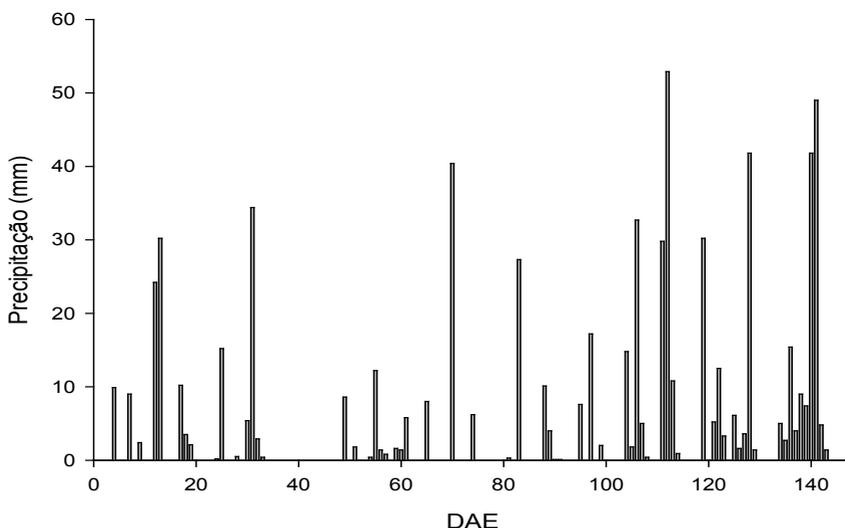


Figura 1. Precipitação pluviométrica no período de avaliação de emissões de gases de efeito estufa em cultivos de arroz irrigado, soja e sorgo forrageiro. DAE - dias após a emergência das culturas em 07/12/2015. Capão do Leão, RS. Safra 2015/2016.

As amostragens de ar para determinação das emissões de CH_4 e N_2O foram realizadas em intervalos regulares de aproximadamente sete dias, exceção feita para a semana posterior à realização das adubações nitrogenadas em cobertura, quando essas foram intensificadas para quatro amostragens semanais. A primeira coleta de amostras foi realizada em 7 de dezembro de 2015, correspondendo à emergência plena das três culturas.

As amostragens de ar foram realizadas sempre no período da manhã, entre 9 e 12 horas, horário em que os fluxos de emissão de gases de efeito estufa são representativos das emissões médias diárias na região Sul do Brasil (COSTA et al., 2008). As amostras de ar do interior das câmaras foram tomadas manualmente com auxílio de seringas de polipropileno (20 mL) nos tempos 0, 5, 10 e 20 minutos após seu fechamento. O ar no interior das câmaras era homogeneizado durante 30 segundos antes de cada amostragem, por meio de ventiladores presentes na parte superior das câmaras e a temperatura interna, monitorada com auxílio de termômetro digital de haste com visor externo.

Durante os períodos de amostragens, as seringas eram acondicionadas em caixas térmicas e mantidas sob baixa temperatura, sendo o ar armazenado imediatamente após, transferido para frascos específicos dotados de vácuo. As precipitações ocorridas ao longo do período de avaliação foram monitoradas continuamente.

As concentrações de CH_4 e N_2O nas amostras de ar foram determinadas por cromatografia gasosa, no laboratório de Biogeoquímica Ambiental da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Por sua vez, os fluxos de CH_4 e de N_2O do solo (taxas de emissão) foram calculados pela relação linear entre a variação na concentração desses gases e o tempo de coleta, segundo a Equação 1:

$$f = \frac{dC}{dt} \frac{MPV}{RT} \frac{1}{A} \quad (\text{Eq. 1})$$

onde: dC/dt corresponde à mudança na concentração de CH_4 ou de N_2O (mmol mol^{-1}) no intervalo de tempo t (min); M é o peso molecular do respectivo gás (g mol^{-1}); P é a pressão (atm) no interior da câmara (assumida como 1,0 atm); V e T correspondem ao volume da câmara (L) e à temperatura interna (K); R é a constante universal dos gases ($0,08205 \text{ L atm K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$) e A é a área da base da câmara (m^2).

A taxa de aumento de gás no interior das câmaras foi obtida pelo coeficiente angular da equação da reta ajustada entre a concentração dos gases e o tempo. A emissão total do período foi calculada pela integração da área sob a curva obtida pela interpolação dos valores diários de emissão de CH_4 e de N_2O do solo (GOMES et al., 2009).

Com base nas concentrações medidas de CH_4 e N_2O pela análise das amostras de ar, calculou-se o potencial de aquecimento global parcial (PAGp) de cada tratamento, que permite realizar a análise conjunta das emissões, considerando o PAGp desses gases em relação ao CO_2 , sendo 25, para o CH_4 , e 298, para o N_2O , para um horizonte de 100 anos (IPCC, 2007). Os fluxos diários e a emissões totais foram analisados de forma descritiva (média \pm desvio padrão).

Resultados e Discussão

Fluxos de metano e óxido nitroso do solo

Em ambos os sistemas de cultivo, convencional e plantio direto, a magnitude e o padrão de emissão de CH_4 do solo foram distintos nos cultivos de arroz irrigado, soja e sorgo forrageiro; os fluxos medidos para o arroz irrigado foram bem maiores que os da soja e do sorgo (Figura 2).

Para o arroz irrigado (Figura 2), os fluxos de CH_4 foram relativamente baixos até o 15º dia após o início das avaliações, correspondendo a quatro dias após o início da irrigação por inundação do solo. A partir de então, os fluxos apresentaram tendência crescente, com algumas oscilações, até o 77º dia após a emergência das plantas (DAE), correspondendo a fase de pré-floração (estádio R3 – exserção da panícula), quando passaram a decrescer; esse comportamento manteve-se constante até o final do ciclo da cultura (estádio R9 – maturação completa dos grãos), quando se procedeu a colheita do arroz (119 DAE). Após a colheita do arroz, foram realizadas ainda mais duas avaliações de emissões de GEE, com frequência quinzenal, para acompanhar o encerramento do ciclo da soja, que se estendeu até o início do mês de maio. No período posterior à colheita do arroz, os fluxos de CH_4 mantiveram tendência de decréscimo na área em que o arroz foi cultivado em sistema convencional. Já na área sob plantio direto, o decréscimo nas emissões manteve-se apenas até a primeira avaliação realizada após a colheita do arroz (135 DAE), apresentando valor quase duas vezes superior na última avaliação, que foi realizada em 2 de maio de 2016 (147 DAE).

Os fluxos de metano do solo associados ao cultivo de arroz irrigado apresentaram amplitude de 0,6 a 385,9 g $\text{CH}_4 \text{ ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$ (Figura 2a), no sistema de preparo convencional, e de 0,5 a 740,1 g $\text{CH}_4 \text{ ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$, no sistema plantio direto (Figura 2b). Para ambos os sistemas de cultivo, a despeito da distinção na magnitude, os picos máximos de emissão de CH_4 ocorreram no 66º após o início das avaliações, correspondendo à fase de emborrachamento (estádio R2 - emissão da folha bandeira). Em estudo realizado com a mesma cultivar de arroz irrigado, em Planossolo, Veçozzi (2015) encontrou amplitude de fluxos de -0,6 a 422,2 g $\text{CH}_4 \text{ ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$; os valores determinados por Zschornack (2011), em Gleissolo, foram superiores, variando de -0,08 a 629,5 g $\text{CH}_4 \text{ ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$.

O aumento gradativo nos fluxos de CH_4 do solo a partir do início da irrigação por inundação em lavouras de arroz, estendendo-se até a

fase de floração, com subsequente redução na magnitude até o final do ciclo da cultura é um comportamento usual, tendo sido reportado previamente em vários outros estudos (NISHIMURA et al., 2004, 2011; WASSMANN et al., 2000; WEZS, 2012; BUSS, 2012). De acordo com Neue et al. (1994), o aumento na produção e emissão de metano logo após a inundação do solo decorre da fermentação da matéria orgânica facilmente degradável presente. Com o desenvolvimento da cultura até a floração, os fluxos crescentes devem-se ao aumento na quantidade de biomassa de raízes, promovendo maior exsudação radicular, principal substrato para as bactérias metanogênicas nessa fase do cultivo de arroz (LE MER et al., 2001; NEUE, 1993), bem como à maior capacidade de transporte de CH_4 resultante da grande quantidade de perfilhos e de aerênquima (KHOSA, 2011). Emissões de quantidades elevadas de CH_4 na fase reprodutiva do arroz resultam de condições ambientais favoráveis à atividade metanogênica (TOWPRAYOON et al., 2005). Em lavouras de arroz, até 60% das emissões de CH_4 decorrem da decomposição dos exsudatos ou de raízes mortas (WATANABE et al., 1999).

A comparação entre os sistemas de cultivo revela que, com exceção de um pequeno período (28° ao 35° DAE), a magnitude das emissões de CH_4 foi maior para o arroz cultivado em sistema plantio direto relativamente àquele produzido em sistema convencional de preparo. Atribui-se esse comportamento à maior concentração de material orgânico facilmente degradável em superfície na área sem preparo do solo, favorecendo as emissões de metano do solo. Esse resultado diverge daquele reportado por Pandey et al. (2012), que compararam diversas combinações de preparo do solo em sistemas de rotação de arroz/trigo, verificando que a redução no preparo do solo minimizou as emissões de CH_4 do solo, possivelmente em razão de a matéria orgânica ter sido protegida do ataque microbiano nos agregados do solo, evitando a produção desse GEE.

Nos cultivos de soja e de sorgo forrageiro, para ambos os sistemas de preparo do solo, as emissões de CH_4 do solo foram muito próximas de zero ao longo de todo o período de avaliação, com alternância de eventos de efluxo e influxo de metano de baixa magnitude (Figura 2). Esse comportamento é explicado pela manutenção do solo drenado para o cultivo dessas espécies, inibindo a atividade dos microrganismos metanogênicos, confirmando observações de Scivittaro et al. (2015), para cultivo de soja, e Camargo (2015), para cultivos de soja e milho. Para ambas as culturas e sistemas de cultivo, as emissões de CH_4 de maior magnitude foram observadas nas duas últimas coletas (135° e 147° DAE), coincidindo com período de eventos de precipitação frequentes e de magnitude relativamente elevada, condicionando, temporariamente, a saturação do solo.

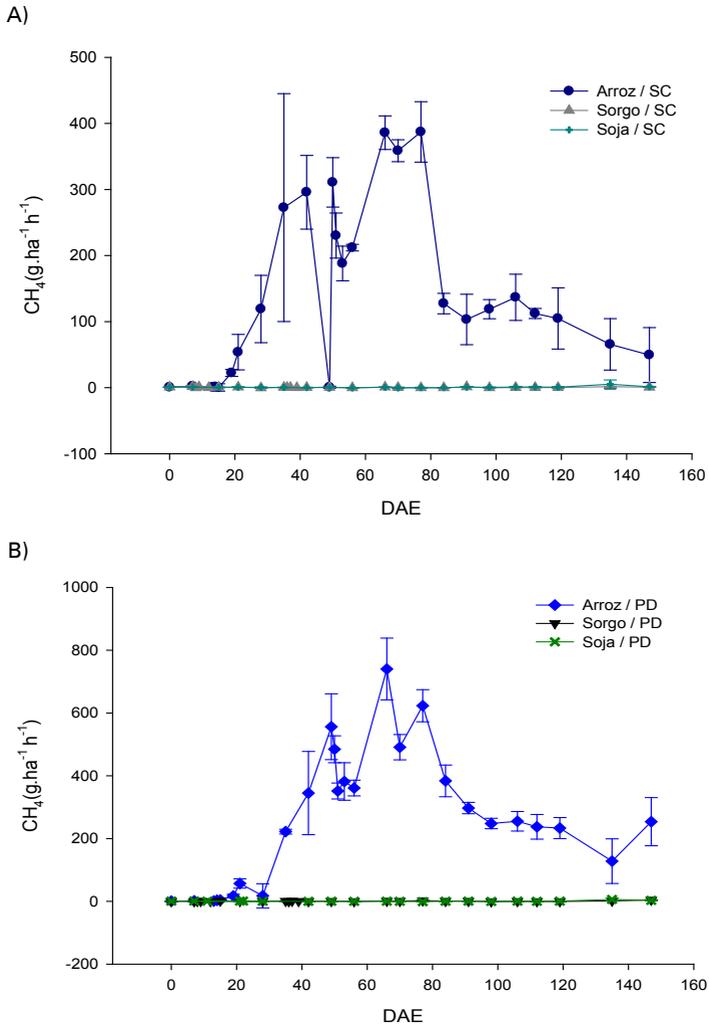


Figura 2. Fluxos de metano (CH₄) em Planossolo cultivado com arroz irrigado, soja e sorgo nos sistemas de cultivo convencional (a) e plantio direto (b). Barras verticais representam o desvio padrão da média. Capão do Leão, RS. Safra 2015/2016.

Com relação ao N_2O , os maiores fluxos foram determinados para a cultura da soja, seguida do sorgo forrageiro e, finalmente, do arroz irrigado. A influência do sistema de cultivo foi menos marcante que para o CH_4 , ou seja, para as três culturas, as variações nas emissões de N_2O foram menores entre os sistemas convencional e plantio direto, com alternância entre os sistemas quanto à magnitude de emissões (Figura 3).

Para o arroz irrigado, com exceção das duas primeiras épocas de avaliação, correspondendo às coletas realizadas por ocasião da emergência e uma semana após esse evento (7 DAE), quando as emissões apresentaram magnitudes relativamente elevadas, respectivamente, 2.182,2 e 1.251,0 mg N_2O ha⁻¹ h⁻¹, no sistema convencional (Figura 3a), e 3.281,3 e 774,0 mg N_2O ha⁻¹ h⁻¹, no plantio direto (Figura 3b), as emissões de óxido nitroso do solo foram baixas, com alternância entre valores baixos de emissão e influxos de N_2O (Figura 3). Esse comportamento foi verificado, inclusive, nos períodos subsequentes às duas coberturas nitrogenadas ao arroz, realizadas, no 11° e 49° dia após a emergência. De forma geral, as emissões de N_2O associadas ao cultivo de arroz irrigado são baixas, podendo ocorrer influxos desse GEE em determinados momentos, que representam absorção pelo solo (CAI et al., 1997; LIU et al., 2010). Isto porque as emissões de N_2O estão associadas tanto à adubação nitrogenada, quanto à alternância nas condições de oxirredução do solo, que predispõem a ocorrência dos processos de nitrificação/desnitrificação (REDDY; DELAUNE, 2008), que têm o óxido nitroso como produto intermediário. Por sua vez, a absorção de N_2O ocorre por ação de bactérias desnitrificadoras, que reduzem o N_2O a N_2 sob condições anaeróbicas, devido à baixa concentração de NO_3^- (CHAPUIS-LARDY et al., 2007).

Nos cultivos da soja e do sorgo forrageiro, foram observados vários picos de emissão de óxido nitroso de baixa a média magnitude, especialmente na fase inicial de desenvolvimento dessas culturas, estendendo-se até o 70° DAE. A partir desse momento até a penúltima

avaliação (135 DAE), as emissões de N_2O diminuíram bastante, sendo intercaladas por eventos de absorção desse GEE. Na última coleta, porém, as emissões de N_2O medidas em ambos os sistemas de cultivo retornaram aos patamares do início do ciclo das culturas, apresentando valores bastante elevados (Figura 3).

Atribui-se o maior potencial de emissão de N_2O das áreas cultivadas com soja e sorgo forrageiro, relativamente ao arroz irrigado, ao elevado potencial de fixação biológica de N da soja e ao aporte de N, via adubação mineral ao sorgo. Ademais, em terras baixas, em razão da baixa condutividade hidráulica do solo, é comum a alternância nas condições de oxidação/redução do solo, especialmente após eventos de precipitação intensa (Figura 3), as quais são favoráveis à ocorrência dos processos de nitrificação/desnitrificação (REDDY; DELAUNE, 2008).

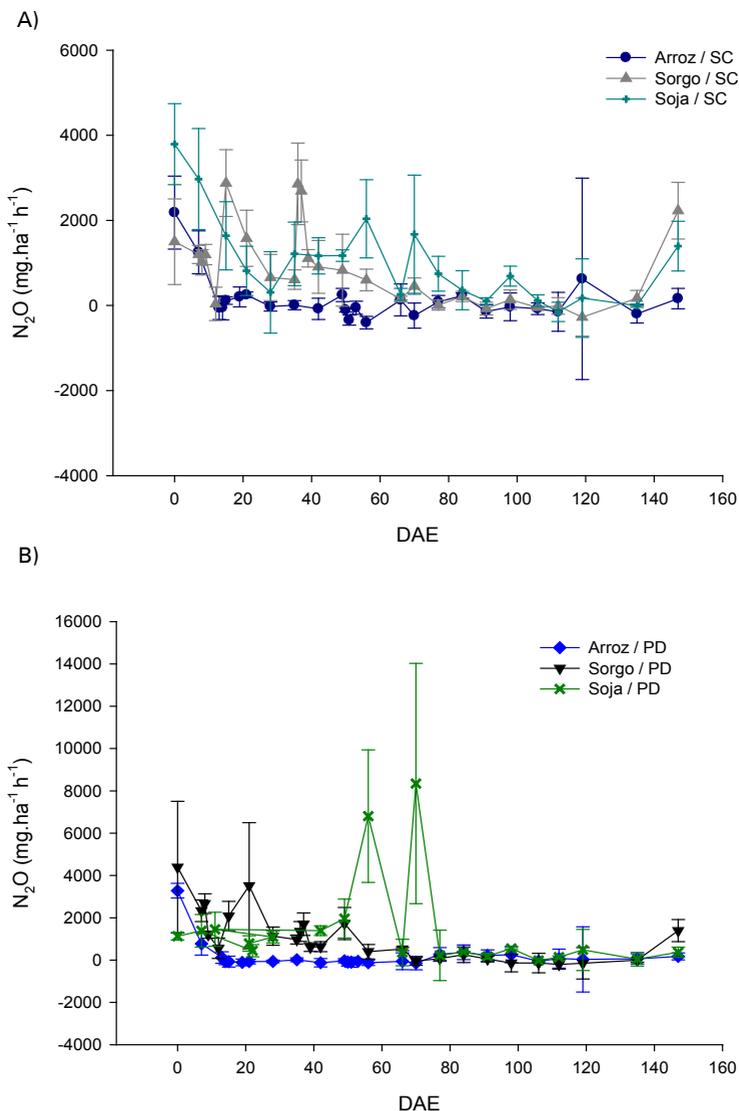


Figura 3. Fluxos de óxido nitroso (N_2O) em Planossolo cultivado com arroz irrigado, soja e sorgo nos sistemas de cultivo convencional (a) e plantio direto (b). Barras verticais representam o desvio padrão da média. Capão do Leão, RS. Safra 2015/2016.

A despeito das variações nas emissões de N_2O entre as culturas reportadas, de forma geral, essas foram baixas, salvo ocorrências eventuais, que estiveram associadas a práticas de manejo, particularmente às operações de semeadura, adubações nitrogenadas, irrigação ou chuvas intensas.

Emissões totais de CH_4 e N_2O pelo solo

As emissões totais de CH_4 foram influenciadas pela espécie vegetal, sendo que o cultivo de arroz irrigado proporcionou emissões bem maiores que o sorgo forrageiro e a soja. Esse resultado decorre do fato de a produção de CH_4 ocorrer apenas em ambientes reduzidos, como os estabelecidos pela inundação do solo em lavouras de arroz irrigado, que favorecem a atividade de bactérias metanogênicas, responsáveis por sua produção (AULAKH et al., 2001). As baixas emissões medidas nas áreas cultivadas com soja (3,24 kg CH_4 ha⁻¹, no sistema convencional, e 3,16 kg CH_4 ha⁻¹, em plantio direto) e sorgo forrageiro (1,57 kg CH_4 ha⁻¹, no sistema convencional, e 2,26 kg CH_4 ha⁻¹, em plantio direto) refletem a condição de solo drenado/oxidado, salvo após eventos de precipitação elevada, condição essa necessária ao estabelecimento e sucesso da produção dessas culturas em terras baixas (Figura 4a). Camargo (2015), trabalhando em terras baixas no Rio Grande do Sul, também verificou maiores emissões totais de CH_4 do solo associadas ao cultivo de soja, relativamente a uma gramínea (milho).

A influência do sistema de preparo do solo foi verificada apenas no cultivo de arroz irrigado, onde a implantação da cultura em sistema plantio direto sobre a resteva de azevém proporcionou emissões de CH_4 maiores (939,98 kg CH_4 ha⁻¹) que na área sob preparo convencional de primavera (519,38 kg CH_4 ha⁻¹) (Figura 4a). Os valores de emissão total obtidos, especialmente no arroz implantado em sistema plantio direto, foram relativamente elevados, superando a média de três cultivos subsequentes (448 kg CH_4 ha⁻¹) reportada por Camargo

(2015), em estudo realizado em Gleissolo Háplico, em Cachoeirinha, RS. Possivelmente as elevadas emissões de CH_4 determinadas no presente estudo decorram do aporte de quantidade elevada de material orgânico lábil (resteva de azevém) com pequena antecedência da sementeira do arroz irrigado. Ademais, há que se considerar que o início da irrigação, por inundação do solo, ocorreu em estágio precoce do desenvolvimento da cultura (V3), ou seja, apenas 11 dias após a emergência, que é um intervalo muito curto para a decomposição dos resíduos vegetais sob condições aeróbicas.

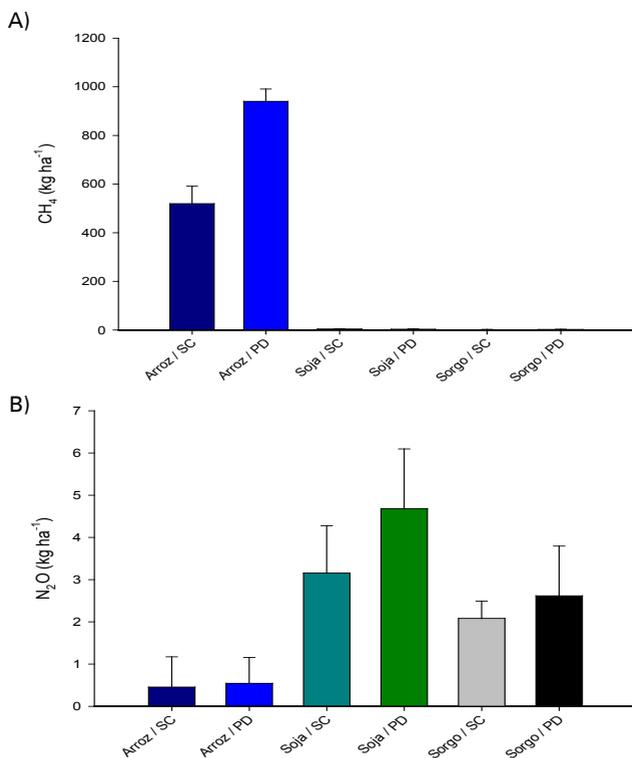


Figura 4. Emissões totais de CH_4 (a) e de N_2O (b) em Planossolo cultivado com arroz irrigado, soja e sorgo. Barras verticais representam o desvio padrão da média. Capão do Leão, RS. Safra 2015/2016.

A produção e emissão de metano também dependem, além da condição de anaerobiose do solo, da quantidade de carbono (C) orgânico disponível presente, cuja principal fonte em terras baixas é a palha remanescente de cultivos anteriores e da vegetação espontânea estabelecida nas áreas. Por essa razão, as práticas de manejo do solo e os sistemas de culturas estabelecidos determinam o potencial de incorporação de carbono ao solo e de emissão de CH_4 nesse ambiente (SCIVITTARO et al., 2015).

Contrariamente ao CH_4 , as emissões totais de N_2O associadas ao cultivo de arroz irrigado (0,46 kg N_2O ha⁻¹, em sistema convencional, e 0,54 kg N_2O ha⁻¹, em plantio direto) foram inferiores àquelas determinadas nos cultivos de sorgo forrageiro (2,08 kg N_2O ha⁻¹, em sistema convencional, e 2,62 kg N_2O ha⁻¹, em plantio direto) e de soja (3,15 kg N_2O ha⁻¹, em sistema convencional, e 4,68 kg N_2O ha⁻¹, em plantio direto) (Figura 4b). Os valores baixos de emissão total de N_2O determinados para a cultura do arroz confirmam observações anteriores de que a irrigação por inundação contínua minimiza o potencial de emissão desse GEE (CAI et al., 1997; LINQUIST et al., 2012; ZSCHORNACK, 2011).

Por outro lado, as maiores emissões associadas às culturas de sorgo forrageiro e soja demonstram que seu cultivo em rotação ao arroz irrigado potencializa as emissões de N_2O do solo, visto que essas decorrem, principalmente, do aporte de N, via adubação mineral ou orgânica, a sistemas agrícolas aeróbios (YAN et al., 2009), por favorecerem os processos de nitrificação e desnitrificação, que têm o N_2O como produto intermediário (LIU et al., 2010).

Potencial de aquecimento global parcial (PAGp)

Na Figura 5 é apresentado o potencial de aquecimento global parcial (PAGp) das culturas de arroz irrigado, soja e sorgo forrageiro

produzidas em sistema convencional de cultivo e plantio direto. Para ambos os sistemas de cultivo, o arroz irrigado apresentou maior PAGp, seguido da soja e do sorgo forrageiro. Refletindo as emissões totais de CH₄ e N₂O medidas, para cada cultura, maiores valores de PAGp estiveram associados ao cultivo em sistema plantio direto, relativamente ao sistema convencional. Esse efeito foi mais intenso para o arroz irrigado, onde o cultivo de arroz em sistema plantio direto sobre a resteva de azevém potencializou as emissões de CH₄ do solo, como produto da decomposição microbiana de materiais orgânicos, via fermentação (CONRAD, 2002), em ambiente anaeróbio.

No cultivo de arroz irrigado, o CH₄ respondeu por quase a totalidade das emissões (99,0% no sistema convencional e 99,3% no plantio direto). Resultados similares, onde a contribuição do CH₄ para o PAGp é muito superior à do N₂O são comuns no cultivo de arroz irrigado por inundação, tendo sido relatado recentemente em trabalho realizados no mesmo solo por Wesz et al. (2011) na mesma região e solo do presente estudo. Por outro lado, nos cultivos de soja e sorgo forrageiro, o óxido nitroso apresentou maior contribuição para o PAGp, representando, respectivamente, 92,1% e 94,6% do total, para a soja cultivada em sistema convencional e plantio direto, e 94,0% e 93,3%, para o sorgo cultivado em sistema convencional e plantio direto. Apesar de as culturas de sequeiro favorecerem as emissões de N₂O do solo, em comparação ao arroz irrigado, nenhuma delas, independentemente do sistema de cultivo, promoveu aumento no PAGp relativamente ao arroz irrigado, devido ao seu elevado potencial de emissão de CH₄.

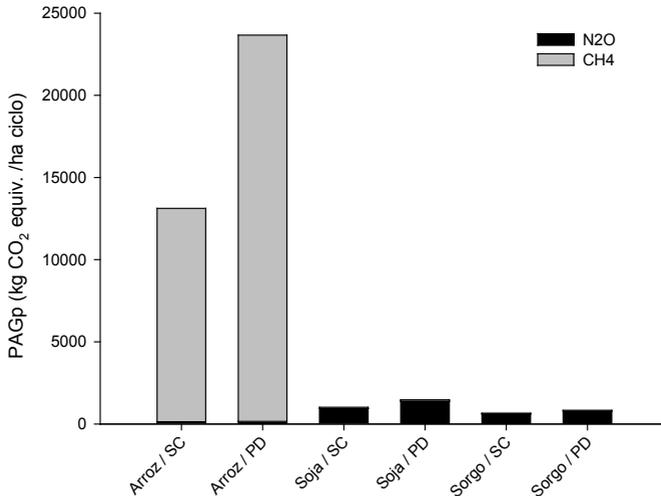


Figura 5. Potencial de aquecimento global parcial (PAGp) em Planossolo cultivado com arroz irrigado, soja e sorgo. Capão do Leão, RS. Safra 2015/2016.

A inserção das culturas de soja e de sorgo forrageiro em rotação ao arroz irrigado promoveu reduções significativas no potencial de aquecimento global parcial em terras baixas. As reduções medidas no PAGp para a soja foram de 92,2%, no sistema convencional, e 93,8%, em plantio direto; para o sorgo forrageiro, as reduções no PAGp totalizaram 95,0% e 96,5%, nos sistema convencional e plantio direto, respectivamente. Esses resultados indicam que a inclusão de cultivos de sequeiro, seja gramínea ou leguminosa, em rotação ao arroz irrigado em terras baixas constitui-se em eficiente estratégia mitigadora de emissões de gases de efeito estufa.

Conclusões

O cultivo de soja e sorgo forrageiro em terras baixas reduz as emissões totais de CH_4 e aumenta as emissões de N_2O do solo, em comparação ao cultivo de arroz irrigado, sendo a redução nas emissões de CH_4 mais significativa que a elevação nas emissões de N_2O .

O arroz implantado em sistema plantio direto sobre resteva de azevém proporciona maior emissão de CH_4 , relativamente ao cultivo em sistema convencional.

O metano contribui com quase a totalidade ($\geq 99\%$) do potencial de aquecimento global do arroz irrigado em terras baixas, enquanto que o óxido nitroso é o componente principal do PAGp ($>90\%$) das culturas de soja e sorgo forrageiro.

A diversificação de culturas em terras baixas, pela inclusão dos cultivos de soja e sorgo forrageiro em rotação ao arroz irrigado, reduz o potencial de aquecimento global em relação ao cultivo de arroz irrigado, constituindo-se em sistemas de produção de grãos mitigadores de emissões de gases de efeito estufa para esse ambiente.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Fapergs e ao CNPq, pela concessão das bolsas de estudo e auxílio financeiro para a realização do trabalho, e aos funcionários do laboratório de Fertilidade do Solo da Embrapa Clima Temperado, pelo auxílio na coleta e preparo de amostras de ar.

Referências

ANGHINONI, I.; GENRO JUNIOR, S. A.; SILV, L. S. da; BOHNEN, H.; RHEINHEIMER, D. S.; OSÓRIO FILHO, B. D.; MACEDO, V. R. M. **Fertilidade dos solos cultivados com arroz irrigado no Rio Grande do Sul**. Cachoeirinha: IRGA. Divisão de Pesquisa, 2004. 52 p. (Boletim Técnico, 1).

AULAKH, M. S.; KHERA, T. S.; DORAN, J. W.; BRONSON, K. F. Denitrification, N₂O and CO₂ fluxes in rice-wheat cropping system as affected by crop residues, fertilizer N and legume green manure. **Biology and Fertility of Soils**, v. 34, p. 375-389, 2001.

BUSS, G. L. **Emissões de metano e óxido nitroso em cultivo de arroz irrigado por aspersão, alagamento contínuo e intermitente**. Pelotas, 2012. 85 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Agronomia / Solos, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

CAI, Z.; XING, G.; YAN, X.; XU, H.; TSURUTA, H.; YAGI, K.; MINAMI, K. Methane and nitrous oxide emissions from rice paddy fields as affected by nitrogen fertilizers and water management. **Plant Soil**, v. 196, p. 7-14, 1997.

CAMARGO, E. S. **Potencial de práticas agrícolas em mitigar as emissões de gases de efeito estufa na cultura do arroz irrigado**. Porto Alegre, 2015. 138 f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

CHAPUIS-LARDY, E.; WRAGE, N.; METAY, A.; CHOTTE, J. L.; BERNOUX, M. Soils, a sink for N₂O? A review. **Global Change Biology**, v. 13, p.1-17, 2007.

CONRAD, R. Control of microbial methane production in wetland rice fields. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 64, p. 59-69, 2002.

COSTA, F. S.; BAYER, C.; LIMA, M. A.; FRIGHETTO, R. T. S.; MACEDO, V. R. M.; MARCOLINI, E. Variação diária da emissão de metano em solo cultivado com arroz irrigado no Sul do Brasil. **Ciência Rural**, v. 38, n. 7, p. 2049-2053, 2008.

GOMES, J.; BAYER, C.; COSTA, F. S.; PICCOLO, M. C.; ZANATTA, J. A.; VIEIRA, F. C. B.; SIX, J. Soil nitrous oxide emissions in long-term cover crops-based rotations under subtropical climate. **Soil and Tillage Research**, v. 106, p. 36-44, 2009.

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. Solomon, S.; D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K. B. Averyt, M. Tignor and H. L. Miller (Ed.). Cambridge, UK; New York, USA: Cambridge University Press, 2007. 996 p.

IPCC. **Climate change 2013: the physical science basis**. In: STOCKER, T. F.; QIN, D.; PLATTNER, G. K.; TIGNOR, M.; ALLEN, S. K.; BOSCHUNG, J.; NAUELS, A.; XIA, Y.; BEX, V.; MIDGLEY, P. M. (Ed.). Contribution of working group I to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. Cambridge, UK; New York, USA: Cambridge University Press, 2013. 1535 p.

KHOSA, M. K.; SIDHU, B. S.; BENBI, D. K. Methane emission from rice fields in relation to management of irrigation water. **Journal of Environmental Biology**, v. 32, p. 169-172, 2011.

LINQUIST, B. A.; VAN GROENIGEN, K. J.; ADVIENTO-BORBE, M. A.; PITTELKOW, C. M.; VAN KESSEL, C. An agronomic assessment of greenhouse gas emissions from major cereal crops. **Global Change Biology**, v. 18, p. 194-209, 2012.

LIU, S.; QIN, Y.; ZOU, J.; LIU, Q. Effects of water regime during rice-growing season on annual direct N₂O emission in a paddy rice-winter wheat rotation system in southeast China. **Science of the Total Environment**, v. 408, p. 906-913, 2010.

MOSIER, A. R. 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**. Berlin: Wiley, 1989. p. 175-187.

NEUE, H. U, WASSMANN, R.; LANTIN, R. S.; ALBERTO, M. C. R.; ADUNA, J. B. Diel and seasonal patterns of methane fluxes in rice fields. **International Rice Research Note**, v. 19, n. 3, p. 33-34, 1994.

NEUE, H. U. Methane emission from rice fields: wetland rice fields may make a major contribution to global warming. **BioScience**, v. 43, n. 7, p. 466-73, 1993.

NISHIMURA, S.; SAWAMOTO, T.; AKIYAMA, H.; SUDO, S.; CHENG, W.; YAGI, K. Continuous, automated nitrous oxide measurements from paddy soils converted to upland crops. **Soil Science Society of America Journal**, v. 69, p. 1977-1986, 2005.

NISHIMURA, S.; SAWAMOTO, T.; AKIYAMA, H.; SUDO, S.; YAGI, K. Methane and nitrous oxide emissions from a paddy field with

Japanese conventional water management and fertilizer application. **Global Biogeochemical Cycles**, v. 18, n. 2, p. 1-10, 2004. DOI: 10.1029/2003GB002207.

NISHIMURA, S.; AKIYAMA, H.; SUDO, S.; FUMOTO, T.; CHENG, W.; YAGI, K. Combined emissions of CH₄ and N₂O from a paddy field was reduced by preceding upland crop cultivation. **Soil Science and Plant Nutritions**, v. 57, p. 167-178, 2011.

PANDEY, D.; AGRAWAL, M.; BOHRA, J. S. Greenhouse gas emissions from rice crop with different tillage permutations in rice-wheat system. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 159, p. 133-144, 2012.

PINTO, L. F. S.; LAUS NETO, J. A.; PAULETTO, E. A. Solos de várzea do Sul do Brasil cultivados com arroz irrigado. In: GOMES, A. S.; MAGALHÃES JUNIOR, A. M. (Ed.). **Arroz irrigado no Sul do Brasil**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2004. p. 75-96.

REDDY, K. R.; DeLAUNE, R. D. **Biogeochemistry of wetlands: science and applications**. New York: CRC, 2008. 780 p.

REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA DA REGIÃO SUL, 40., 2014, Pelotas. **Indicações técnicas para a cultura da soja no Rio Grande do Sul e em Santa Catarina, safras 2014/2015 e 2015/2016**. Editores técnicos: Ana Cláudia Barneche de Oliveira, Ana Paula Schneid Afonso da Rosa. Pelotas: Embrapa Clima Temperado. 2014a. 124 p. (Embrapa Clima Temperado. Documentos, 382).

REUNIÃO TÉCNICA ANUAL DO MILHO, 58.; REUNIÃO TÉCNICA ANUAL DO SORGO, 41., 2013, Pelotas. **Indicações técnicas para o cultivo de milho e de sorgo no Rio Grande do Sul safras 2013/2014 e 2014/2015**. Brasília, DF: Embrapa, 2013. 124 p. Editores técnicos: Beatriz Marti Emygdio, Ana Paula Schneid Afonso da Rosa, Mauro Cesar Celaro Teixeira. Disponível em: <<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/>>

bitstream/item/98253/1/livro-indicacoes-milho-sorgo.pdf>. Acesso em: 23 set. 2015.

REUNIÃO TÉCNICA DA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO, 30., 2014, Bento Gonçalves. **Arroz irrigado**: recomendações técnicas da pesquisa para o Sul do Brasil. Pelotas: SOSBAI, 2014b. 192 p.

REUNIÃO TÉCNICA DA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO, 31., 2016, Bento Gonçalves. **Arroz irrigado**: recomendações técnicas da pesquisa para o Sul do Brasil. Pelotas: SOSBAI, 2016. 200 p.

SCIVITTARO, W. B.; SILVEIRA, A. D.; LACERDA, C. L.; FARIAS, M. O.; SOUSA, R. O. **Sazonalidade das emissões de gases de efeito estufa em terras baixas**: efeito do manejo do solo e do cultivo de verão. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2015. (Embrapa Clima Temperado. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento).

SCIVITTARO, W. B.; SOUSA, R. O.; BAYER, C. **Protocolo para medições de emissões de gases de efeito estufa em sistemas de produção de arroz irrigado e em áreas sujeitas ao alagamento do solo – Rede Fluxus**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2016. (Embrapa Clima Temperado. Documentos).

SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO. COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO. **Manual de adubação e de calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. 10. ed. Porto Alegre: SBCS, 2004. 400 p.

STRECK, E. V.; KÄMPF, N.; DALMOLIN, R. S. D.; KLAMT, E.; NASCIMENTO, P. C. do; SCHNEIDER, P.; GIASSON, E.; PINTO, L. F. S. **Solos do Rio Grande do Sul**. 2. ed. Porto Alegre: Emater/RS, 2008. 222 p.

TOWPRAYOON, S.; SMAKGAHN, K.; POONKAEW S. Mitigation of methane and nitrous oxide emissions from drained irrigated rice fields. **Chemosphere**, v. 59, n. 11, p. 1547-1556, 2005.

VEÇOZZI, T. A. **Eficiência agronômica de fertilizante nitrogenado de liberação controlada e seus efeitos nas emissões de metano e óxido nitroso em arroz irrigado**. 2015. 111 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Manejo e Conservação do Solo e da Água, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

VEDELAGO, A.; CARMONA, F. de C.; BOENI, M.; LANGE, C. E.; ANGHINONI, I. **Fertilidade e aptidão de uso dos solos para o cultivo da soja nas regiões arrozeiras do Rio Grande do Sul**. Cachoeirinha: IRGA, 2012, 48 p. (Boletim Técnico, 12).

WASSMANN, R.; LANTIN, R. S.; NEUE, H. U.; BUENDIA, L. V.; CORTON, T. M.; LU, Y. Characterization of methane emissions from rice fields in Asia. III. Mitigation options and future research needs. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 58, p. 23-36, 2000.

WATANABE, A.; TAKEDA, T.; KIMURA, M. Evaluations of origins of CH₄ carbon emitted from rice paddies. **Journal of Geophysical Research**, v. 104, n. 19, p. 23623-23629, 1999.

WELLER, S.; KRAUS, D.; AYAG, K. R. P.; WASSMANN, R.; ALBERTO, M. C. R.; BUTTERBACH-BAHL, K.; KIESE, R. Methane and nitrous oxide emissions from rice and maize production in diversified rice cropping systems. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 101, p. 37-53, 2015.

WESZ, J. **Mitigação das emissões de metano e óxido nitroso em Planossolo pela adequação do manejo da água em cultivo de arroz irrigado**. 2012. 62 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Agronomia / Solos, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

YAN, X.; AKIYAMA, H.; YAGI, K.; AKIMOTO, H. Global estimations of the inventory and mitigation potential of methane emissions from rice cultivation conducted using the 2006 intergovernmental panel on climate change guidelines. **Global Biogeochemical Cycles**, v. 23, n. 2, p. 1-15, 2009. doi:10.1029/2008GB003299.

YAN, X.; YAGI, K.; AKIYAMA, H.; AKIMOTO, H. Statistical analysis of the major variables controlling methane emission from rice fields. **Global Change Biology**, v. 11, p. 1131-1141, 2005.

YAO, H.; ZHOU, Z.; ZHENG, X.; XIE, B.; MEI, B.; WANG, R.; BUTTERBACH-BAHL, K.; ZHU, J. Effects of organic matter incorporation on nitrous oxide emissions from rice-wheat rotation ecosystem in China. **Plant and Soil**, v. 327, n. 1, p. 315-330, 2010.

ZSCHORNACK, T. **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. 87 f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

Embrapa

Clima Temperado

MINISTÉRIO DA
**AGRICULTURA, PECUÁRIA
E ABASTECIMENTO**



CGPE 13993