

# ESTRATÉGIAS MITIGADORAS DE EMISSÃO DE GASES DO EFEITO ESTUFA PELA LAVOURA DE ARROZ

Cimélio Bayer<sup>1</sup>; Tiago Zschornack<sup>2</sup>; Estefânia Camargo<sup>2</sup>; Walkyria Bueno Scivittaro<sup>3</sup>; Rogério Oliveira de Sousa<sup>4</sup>

Palavras-chave: metano, óxido nitroso, potencial de aquecimento global, mitigação, práticas de manejo

## INTRODUÇÃO

O último relatório do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC, 2013) afirma que o aquecimento global e a consequente mudança no clima, decorrente sobretudo da ação humana, tem causado impactos sobre os sistemas naturais e a própria sociedade. O setor agropecuário, juntamente com o desmatamento, contribuem com aproximadamente 25% (10-12 Gt CO<sub>2</sub> eq. ano<sup>-1</sup>) das emissões globais de gases de efeito estufa (GEE) (IPCC, 2013). No Brasil, essas atividades contribuem com mais de 75% das emissões de CO<sub>2</sub> e mais de 90% das emissões de metano (CH<sub>4</sub>) e de óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) (CERRI et al., 2009).

O arroz produzido sob irrigação por inundação contínua representa aproximadamente 75% da produção mundial, sendo cultivado em uma área de cerca de 80 milhões de hectares (IRRI, 2013). O ambiente anaeróbico que se forma no solo pela manutenção de uma lâmina de água favorece a produção de CH<sub>4</sub>, de forma que a lavoura de arroz irrigado é reconhecidamente uma das principais fontes antropogênicas de CH<sub>4</sub> para a atmosfera. As emissões de N<sub>2</sub>O durante esse período, por outro lado, são relativamente baixas, sobretudo quando comparadas às de áreas bem drenadas (LINQUIST et al., 2012). Mesmo que a lavoura de arroz irrigado tenha pequena contribuição nas emissões de N<sub>2</sub>O do solo, é necessário que esses dois GEE (CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O) sejam ponderados visando o desenvolvimento de estratégias mitigadoras das emissões de GEE, pois as condições que promovem a diminuição de CH<sub>4</sub> normalmente causam aumento do outro (N<sub>2</sub>O) (HOU et al., 2000). Além disso, ao se considerar o Potencial de Aquecimento Global (PAG) de cada gás em relação ao CO<sub>2</sub> num horizonte de 100 anos, a contribuição do N<sub>2</sub>O (PAG = 298) é praticamente 12 vezes superior a do CH<sub>4</sub> (PAG = 25) (IPCC, 2013).

O Rio Grande do Sul é responsável pela produção de mais de 65% do arroz produzido no Brasil (CONAB, 2015), cujo sistema de produção tradicional envolve o alagamento contínuo do solo. Em nível nacional, a lavoura de arroz irrigado representa apenas 3% das emissões totais de CH<sub>4</sub> (CERRI et al., 2009), contribuição essa que chega a quase 20% no Rio Grande do Sul (RS), devido à extensa área de cultivo (superior a 1,0 milhão de hectares/ano). Inúmeros fatores estão envolvidos na produção e emissão de GEE em solos cultivados com arroz (FENG et al., 2013), de forma que algumas práticas mitigadoras, como por exemplo o cultivo mínimo (ou preparo antecipado do solo), já estão sendo adotadas pelos produtores (BAYER et al., 2015). O sistema de cultivo mínimo (CM), utilizado atualmente em aproximadamente 75% das lavouras de arroz no RS, preconiza a antecipação do preparo e uma menor mobilização do solo comparativamente ao preparo convencional (PC) (SOSBAI, 2014). O sistema de plantio direto (PD), na forma como é conduzido em solos bem drenados, ainda se constitui num desafio técnico para as áreas de

---

<sup>1</sup>Professor do Departamento de Solos e Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo da UFRGS, Av. Bento Gonçalves, 7712, 91540-000, Porto Alegre, RS, cimelio.bayer@ufrgs.br (autor para correspondência).

<sup>2</sup>Pós-doutorando(a) em Ciência do Solo da UFRGS, Porto Alegre, RS.

<sup>3</sup>Pesquisadora da Embrapa Clima Temperado, Pelotas, RS.

<sup>4</sup>Professor do Departamento de Solos da UFPel, Pelotas, RS.

cultivo de arroz irrigado. Esse sistema, por outro lado, já vem sendo adotado com sucesso nas áreas onde há rotação do arroz com culturas alternativas, como a soja, por exemplo (SOSBAI, 2014).

Na busca de alternativas e estratégias para manter a posição competitiva do arroz cultivado no RS, a diversificação e a rotação com culturas alternativas (soja, milho, pastagens) vem ganhando cada vez mais espaço entre os produtores. Há pelo menos três milhões de hectares disponíveis para cultivo de arroz irrigado no RS, dos quais, pouco mais de um milhão de hectares é cultivado anualmente com essa cultura, permanecendo o restante da área em pousio. Tem-se observado nos últimos três anos significativo aumento da área cultivada com soja em rotação com a cultura do arroz irrigado, atingindo aproximadamente 300 mil hectares na safra 2013/14 (IRGA, 2015). Entretanto, o impacto da soja (e de outras culturas alternativas) na emissão de GEE em áreas tradicionalmente arrozeiras ainda é pouco conhecido.

Neste resumo serão sintetizados os principais resultados encontrados pelo grupo de pesquisa em Manejo do Solo e GEE da UFRGS no que se refere a estratégias mitigadoras das emissões de GEE em áreas de arroz irrigado, representando um conjunto consolidado de informações gerado em mais de 10 anos de avaliação e que teve a participação e colaboração de outras instituições de ensino (UFSM e UFPel) e de pesquisa do Brasil (EMBRAPA Clima Temperado, EMBRAPA Meio Ambiente, IRGA). Tais informações fazem parte de inúmeras teses e dissertações e muitos resultados encontram-se publicados ou em fase de publicação em revistas científicas com impacto internacional.

## TÓPICOS DA PALESTRA

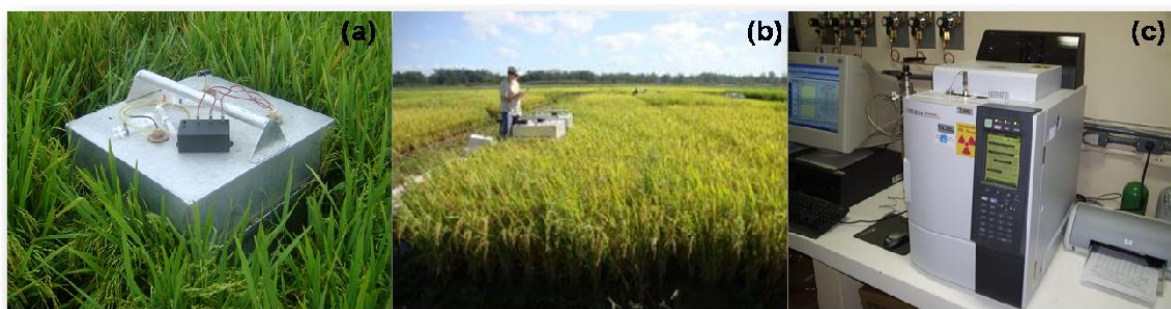
### Metodologia utilizada na avaliação de gases em áreas sob cultivo de arroz

Os estudos visando a mitigação das emissões de GEE abrangeram três diferentes aspectos: sistemas de cultivo (PC, CM e PD – item 1); sistemas alternativos de manejo da irrigação (inundação contínua, intermitente moderado e intermitente severo – item 2) e diversificação de culturas (arroz irrigado, soja e milho – item 3).

As emissões de GEE foram determinadas durante sete safras de cultivo para os sistemas de PC e PD e, cinco safras para PC e CM no Instituto Riograndense do Arroz (EEA/IRGA) em Cachoeirinha/RS. Os experimentos de manejo da irrigação foram conduzidos em duas safras e em cinco diferentes localidades do RS. Os manejos avaliados foram: inundação contínua (tradicional); intermitente moderado (supressão da água do estádio V6 ao V8, conforme escala de COUNCE et al., 2000) e intermitente severo (supressão da água do estádio V6 ao V8 e de V8 a V10). Em relação à diversificação de culturas, as avaliações foram conduzidas na EEA/IRGA durante três safras, com a cultura da soja, e em duas safras, com milho, sendo essas emissões contrastadas com as obtidas em áreas de arroz irrigado no mesmo período.

A coleta das amostras de ar foram realizadas segundo o método da câmara estática fechada (Figura 1), com periodicidade semanal (MINAMIKAWA et al., 2012). As amostragens ocorreram no período da manhã (COSTA et al., 2008), com auxílio de seringas em tempos pré-determinados. As concentrações de CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O nas amostras de ar foram determinadas por cromatografia gasosa e os fluxos dos gases estimados considerando a variação linear da concentração no tempo. Os fluxos foram assumidos como equivalentes às emissões médias diárias, sendo as emissões acumuladas de cada gás obtidas a partir da integração da área sob a curva dos fluxos desses GEE (BAYER et al., 2014). A quantidade de GEE emitida e a importância relativa de cada um foi avaliada por meio do potencial de aquecimento global parcial (PAGp), convertendo-se as emissões de CH<sub>4</sub> e de N<sub>2</sub>O para CO<sub>2</sub> equivalente e somando-as, de forma que  $PAGp = (CH_4 \times 25) + (N_2O \times 298)$ . Os valores de 25 e 298 referem-se ao PAG do CH<sub>4</sub> e do N<sub>2</sub>O, respectivamente, para um horizonte de 100

anos (IPCC, 2013). Também foi calculada a quantidade de GEE emitida por unidade de produto (PAGp/Rendimento) em kg CO<sub>2</sub>equiv. kg<sup>-1</sup> grãos (BAYER et al., 2014).



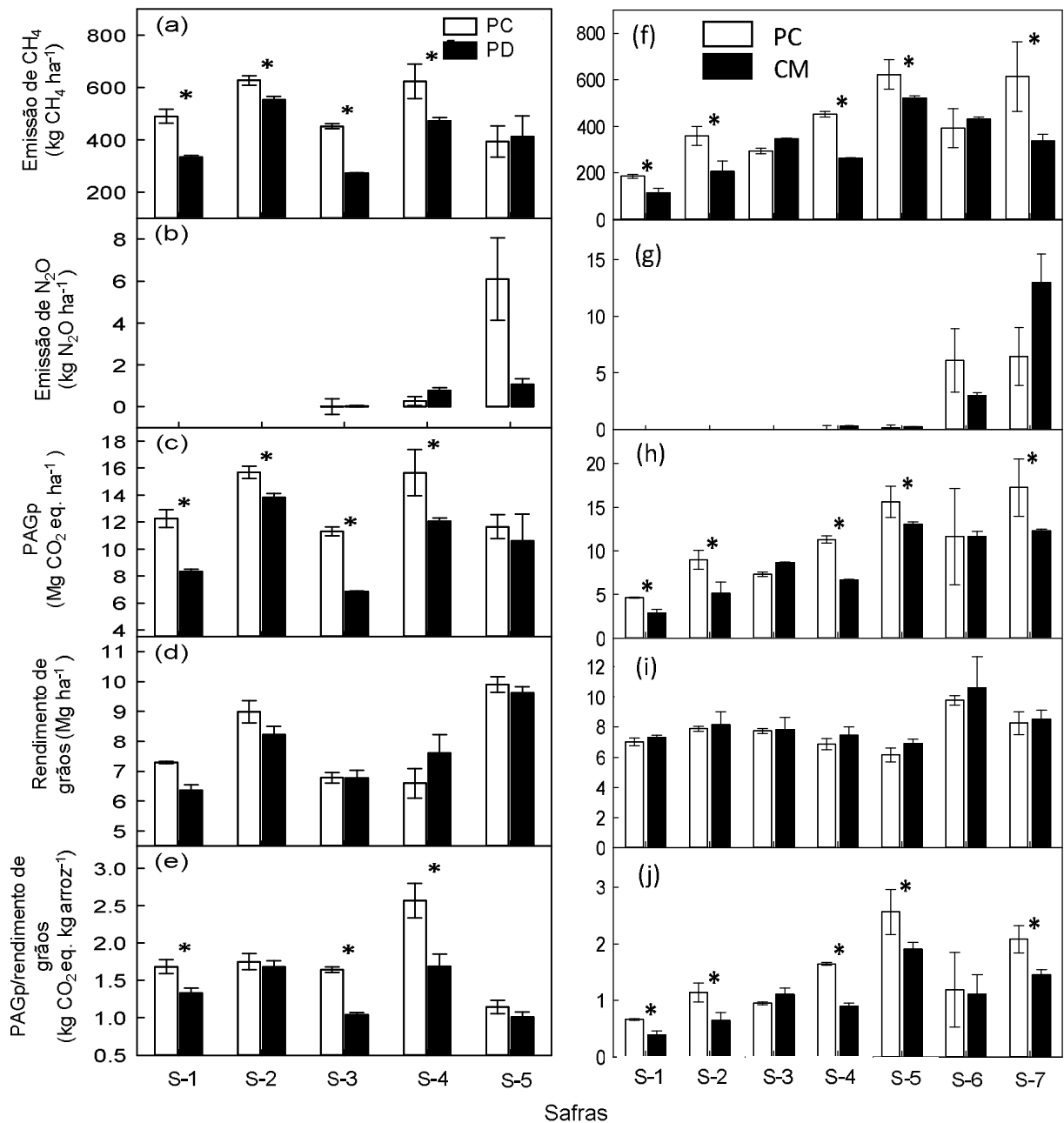
**Figura 1.** (a) Câmara de coleta dos GEE - método da câmara estática fechada; (b) Amostragem de ar em lavoura de arroz irrigado; e (c) Análise por cromatografia gasosa no laboratório de Biogeoquímica ambiental da UFRGS.

## Contextualização das práticas e potencial de mitigação

### **1. Preparo Antecipado e Plantio Direto**

As ações de pesquisa iniciais foram realizadas com o intuito de mensurar as emissões de GEE oriundas de áreas cultivadas com arroz sob diferentes sistemas de preparo do solo (PC, CM e PD). O solo sob PC era intensamente preparado (gradagens para incorporação da palhada e posterior nivelamento do solo) previamente à semeadura do arroz (primavera), enquanto no CM o preparo consistia de uma gradagem leve (logo após a colheita do arroz, normalmente no outono) com o intuito de corrigir a superfície do solo, de forma que o arroz nesse sistema é cultivado sobre a cobertura vegetal que se estabelece no outono-inverno (SOSBAI, 2014). No PD, cujo sistema é pouco utilizado nas áreas de arroz irrigado do RS, o solo era mantido sem nenhum tipo de preparo, de forma que o arroz era semeado sobre a palhada formada durante o outono-inverno, bem como sobre a resteva do arroz da safra anterior.

Após algumas safras de avaliação, os resultados mostram que as emissões de CH<sub>4</sub> foram, em média, reduzidas em 21% e 24%, pela adoção dos sistemas de PD e de CM (Figuras 2a e 2f), respectivamente, em comparação ao PC (BAYER et al., 2014; BAYER et al., 2015). Essa redução tem importante e positiva repercussão não só na atividade orizícola, mas na atividade agrícola do RS como um todo, já que a produção de arroz usando a tecnologia de CM vem sendo adotada em quase 800 mil hectares. As emissões de N<sub>2</sub>O, por sua vez, não foram influenciadas pelos diferentes sistemas de cultivo (Figuras 2b e 2g) e apresentaram pequena contribuição para o PAG (< 10%), cuja composição foi amplamente dominada pelas emissões de CH<sub>4</sub>. Os rendimentos de grãos foram similares entre os sistemas de cultivo (> 7,5 Mg ha<sup>-1</sup>; Figuras 2d e 2i), mostrando que é possível diminuir as emissões de GEE sem comprometer a produtividade do arroz. A importância dos sistemas PD e CM em reduzir as emissões de GEE é ainda mais contundente ao se avaliar a quantidade de GEE emitida por unidade de produto (kg CO<sub>2</sub> equivalente kg<sup>-1</sup> arroz), cujos valores médios foram de 1,35 (PD) e 1,06 kg CO<sub>2</sub> eq kg<sup>-1</sup> arroz (CM) e significativamente inferiores aos encontrados no PC (Figuras 2e e 2f). Esses resultados demonstram que sistemas de cultivo envolvendo o mínimo (CM) ou nenhum preparo do solo (PD) são eficientes em mitigar as emissões de GEE sem reduzir a produtividade do arroz irrigado, e que as estratégias de diminuição das emissões em lavouras de arroz irrigado devem ser direcionadas na mitigação das emissões de CH<sub>4</sub>.



**Figura 2.** Emissão acumulada de CH<sub>4</sub> (a, f), N<sub>2</sub>O (b, g), Potencial de Aquecimento Global parcial (c, h), rendimento de grãos (d, i) e índice PAGp/Rendimento (e, j) em diferentes sistemas de cultivo do arroz irrigado e em diferentes safras. Barras verticais representam o desvio padrão da média. O símbolo \* indica que as diferenças entre os sistemas de preparos são significativas (P<0,05) dentro da mesma safra. S = safra; PC = preparo convencional; PD = plantio direto e CM = Cultivo mínimo. Fonte: Bayer et al. (2014) e Bayer et al. (2015).

## 2. Sistemas alternativos de manejo da irrigação

Em nível internacional, o uso de sistemas intermitentes de irrigação tem-se destacado como uma prática de manejo eficiente na mitigação das emissões de CH<sub>4</sub> em solos cultivados com arroz irrigado (ITOH et al., 2011; KIM et al., 2014). No Sul do Brasil, informações relacionadas às emissões de GEE em sistemas alternativos de irrigação ainda são escassas, especialmente em condições edafoclimáticas distintas.

Neste estudo, o tratamento com irrigação contínua apresentou maior emissão de CH<sub>4</sub> dentre os manejos avaliados em todas as localidades e nas duas safras (Tabela 1), sendo que, na média, essas emissões foram reduzidas em 52% no tratamento intermitente severo. No que se refere as emissões de N<sub>2</sub>O, não foram observadas diferenças significativas na maioria das localidades (Tabela 1), porém, quando constatadas, o tratamento com intermitência severa apresentou maior emissão de N<sub>2</sub>O (1,01 kg N<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup>) em relação à inundação contínua (0,002kg N<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup>) e ao intermitente moderado (0,77 kg N<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup>).

Embora as emissões de N<sub>2</sub>O tenham sido potencializadas em alguns locais nos manejos com irrigação por inundação intermitente, sua contribuição para o PAGp foi de apenas 5%, sendo o PAGp reduzido em aproximadamente 50% em relação à inundação contínua devido à diminuição substancial das emissões de CH<sub>4</sub> do solo. Esses resultados corroboram com os obtidos por Zschornack (2011); Buss (2012) e Wesz (2012) também no Sul do Brasil. Em decorrência do menor PAGp nos sistemas intermitentes e da similaridade no rendimento de grãos entre todos os manejos de irrigação, o índice PAGp/Rendimento foi reduzido em 45% nos manejos alternativos de irrigação. Esses resultados apontam que a supressão da água em determinados períodos durante o cultivo do arroz pode ser uma estratégia viável na redução das emissões de GEE, sem prejudicar a produtividade da cultura do arroz.

### 3. Diversificação de culturas

A introdução de culturas de sequeiro (soja e milho) em solos tradicionalmente cultivados com arroz irrigado tem-se destacado nos últimos anos com vistas à sustentabilidade da lavoura arroseira. Os resultados obtidos neste estudo são inéditos no que se refere ao impacto da inserção desses cultivos nas emissões de GEE. As emissões de CH<sub>4</sub> foram reduzidas em mais de 95% com o cultivo de soja e milho comparativamente ao arroz irrigado, nas três safras avaliadas (Tabela 2). A redução das emissões ocorreu em função das condições aeróbias do solo, desfavoráveis à produção de CH<sub>4</sub>. Por outro lado, as emissões de N<sub>2</sub>O não variaram significativamente entre os cultivos de arroz (2,09 kg de N<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup>) e soja (1,5 kg de N<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup>). Entretanto, as emissões de N<sub>2</sub>O na cultura do milho atingiram 7,72 kg de N<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup>, possivelmente devido à maior quantidade de nitrogênio aplicado via adubo (> 240 kg N ha<sup>-1</sup>), em relação ao arroz (150 kg N ha<sup>-1</sup>).

A diversificação de culturas em rotação ao arroz irrigado reduziu o PAGp em mais de 85% na média das safras, redução essa ocasionada, principalmente, pela mitigação das emissões de CH<sub>4</sub>. Embora as emissões de N<sub>2</sub>O (com maior potencial de aquecimento global) tenham tido maior contribuição no PAGp dos cultivos de sequeiro, estas não superaram a proporção de CH<sub>4</sub> no PAGp do cultivo de arroz irrigado.

Por se tratarem de culturas diferentes, optou-se por um índice que calcula o PAGp pela energia bruta produzida em cada sistema (PAGp/EB). Com base nisso, os menores índices PAGp/EB foram observados nas culturas da soja (65 kg CO<sub>2</sub> equiv.Gcal<sup>-1</sup>) e do milho (57 kg CO<sub>2</sub> equiv.Gcal<sup>-1</sup>), considerando a média de todas as safras avaliadas, enquanto que no arroz esse índice foi de 276 kg CO<sub>2</sub> equiv.Gcal<sup>-1</sup>.

Os resultados obtidos nesse estudo indicaram que a diversificação de culturas em áreas tradicionalmente cultivadas com arroz irrigado pode ser uma estratégia eficiente para a redução do PAGp em sistemas produção de grãos no ambiente de terras baixas.

**Tabela 1.** Emissão acumulada de CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O, potencial de aquecimento global parcial (PAGp) e PAGp por unidade de grãos produzidos (PAGp/Rend.) em sistemas de produção de arroz irrigado sob diferentes manejos de irrigação, em cinco localidades do Rio Grande do Sul e duas safras de avaliação, 2011/12 e 2012/13.

Local	Sistemas	CH <sub>4</sub>			N <sub>2</sub> O			PAGp			PAG/Rend.	
		2011/12	2012/13	2011/12	2011/12	2012/13	2011/12	2011/12	2012/13	2011/12	2011/12	2012/13
		----- kg CH <sub>4</sub> ha <sup>-1</sup> -----			----- kg N <sub>2</sub> O ha <sup>-1</sup> -----			kg CO <sub>2</sub> equiv. ha <sup>-1</sup>			kg CO <sub>2</sub> equiv. kg arroz <sup>-1</sup>	
Uruguaiana	Contínuo	486 ns	745 a	0,35 ns	-0,69 c	12251 ns	18412 a	0,99 ns	1,39 a			
	Interm. Moderado	64	206 b	1,16	0,35 b	1941	6741 b	0,16	0,55 b			
	Interm. Severo	227	120 b	0,87	1,90 a	5935	3568 c	0,53	0,40 b			
Cachoeirinha	Contínuo	360 ns	623 a	0,69 b	0,32 ns	9204 ns	18475 a	1,09 ns	1,97 a			
	Interm. Moderado	299	466 ab	1,75 ab	0,56	8006	11819 b	0,98	1,17 b			
	Interm. Severo	338	237 b	2,04 a	1,16	9069	6278 c	1,06	0,61 c			
Restinga Seca	Contínuo	nd	465 a	nd	-0,29 ns	nd	11451 a	nd	1,96 a			
	Interm. Moderado	nd	366 b	nd	-0,15	nd	9111 ab	nd	1,45 ab			
	Interm. Severo	nd	331 b	nd	-0,15	nd	8233 b	nd	1,27 b			
Pelotas	Contínuo	128 ns	138 a	0,21 ns	-0,16 ns	3272 ns	3400 a	0,36 ns	0,20 a			
	Interm. Severo	99	68 b	0,59	-0,45	2663	1563 b	0,31	0,14 b			
Camaquã	Contínuo	nd	127 a	nd	-0,06 c	nd	3156 ns	nd	0,35 ab			
	Interm. Moderado	nd	118 ab	nd	1,31 b	nd	3343	nd	0,40 a			
	Interm. Severo	nd	69 a	nd	2,16 a	nd	2380	nd	0,27 b			

Letras diferentes na mesma coluna indicam diferença estatística pelo teste de Tukey (P<0,10) entre tratamentos em cada localidade e dentro de cada ano.

ns = não há diferença estatística pelo teste de Tukey (P<0,10) entre os tratamentos avaliados.

nd = dados não disponíveis.

Fonte: Buss (2012) e Camargo (2015).

**Tabela 2.** Emissão de CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O em CO<sub>2</sub> equivalente, produtividade de grãos anual, PAGp, energia bruta produzida e índices de intensidade da emissão de GEE, para as diferentes sistemas de cultivo em áreas de terras baixas.

Safra	Culturas	Emissões de GEE			Rendimento grãos kg ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	Energia Bruta <sup>(1)</sup> (EB) Gcal ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	Índices GEE <sup>(2)</sup>	
		CH <sub>4</sub> kg CH <sub>4</sub> ha <sup>-1</sup>	N <sub>2</sub> O kg N <sub>2</sub> Oha <sup>-1</sup>	PAGparcial kg CO <sub>2</sub> equiv. ha <sup>-1</sup>			PAG/Rend.	PAG/EB
2011/2012	<b>Arroz</b>	<b>393,2</b>	<b>6,09</b>	<b>11645</b>	<b>8820</b>	<b>38,3</b>	<b>1,32</b>	<b>304</b>
	Soja PC	20,32	1,74	1026	3057	13,6	0,34	75
	Soja PD	9,36	0,70	442	2935	13,1	0,15	33
	<b>Média Soja</b>	<b>14,84</b>	<b>1,22</b>	<b>734</b>	<b>2996</b>	<b>13,4</b>	<b>0,25</b>	<b>54</b>
2012/2013	<b>Arroz</b>	<b>623,0</b>	<b>0,32</b>	<b>15670</b>	<b>9391</b>	<b>40,8</b>	<b>1,66</b>	<b>384</b>
	Soja PC	2,87	0,33	172	3047	13,6	0,06	12
	Soja PD	1,07	0,11	59	3655	16,3	0,02	3
	<b>Média Soja</b>	<b>1,97</b>	<b>0,22</b>	<b>115</b>	<b>3351</b>	<b>14,9</b>	<b>0,04</b>	<b>7</b>
2013/2014	Milho Sulco	0,94	3,35	1023	11420	45,0	0,09	22
	Milho Aspersão	0,53	3,44	1038	8198	32,3	0,13	32
	<b>Média Milho</b>	<b>0,73</b>	<b>3,39</b>	<b>1030</b>	<b>9809</b>	<b>16,2</b>	<b>0,11</b>	<b>27</b>
	<b>Arroz</b>	<b>304,8</b>	<b>-0,13</b>	<b>7581</b>	<b>13527</b>	<b>58,7</b>	<b>0,60</b>	<b>139</b>
2013/2014	Soja PC	6,80	2,74	986	1826	8,1	0,54	121
	Soja PD	6,75	3,38	1175	1781	7,9	0,66	147
	<b>Média Soja</b>	<b>6,77</b>	<b>3,06</b>	<b>1080</b>	<b>1803</b>	<b>8,0</b>	<b>0,60</b>	<b>134</b>
	Milho Sulco	11,73	15,67	4962	12560	49,5	0,40	100
Milho Aspersão	7,77	8,44	2708	9660	38,1	0,28	71	
<b>Média Milho</b>	<b>9,72</b>	<b>12,05</b>	<b>3835</b>	<b>11110</b>	<b>43,8</b>	<b>0,34</b>	<b>87</b>	

(1) Os dados de energia bruta (EB) para os diferentes grãos produzidos foram obtidos das tabelas brasileiras para aves e suínos de Rostagno et al., 2011. Arroz: 4,34 Mcal kg grão<sup>-1</sup>, Soja: 4,46 Mcal kg grão<sup>-1</sup>, Milho: 3,94 Mcal kg grão<sup>-1</sup>. (2) IGEE: Intensidade das emissões de GEE, medidas como PAGp por unidade de energia bruta produzida pelo sistema. Fonte: Camargo (2015).

## CONCLUSÃO

Os resultados obtidos na pesquisa em gases de efeito estufa na lavoura arrozeira do Rio Grande do Sul indicam o potencial dos sistemas de preparo antecipado e plantio direto, irrigação por inundação intermitente e da rotação do arroz irrigado com culturas como a soja e o milho em terras baixas em mitigar as emissões de gases de efeito estufa em 25-50%, em comparação ao sistemas de produção tradicional de preparo convencional, irrigação por inundação contínua e monocultivo de arroz. A adoção de tais práticas proporciona, inclusive, melhor eficiência do uso da água, manutenção ou aumento da produtividade de grãos por unidade de área, maior retorno econômico e controle de arroz vermelho, dentre outros aspectos.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BAYER, C. et al. Yield-scaled greenhouse gas emissions from flood irrigated rice under long-term conventional tillage and no-till systems in a Humid Subtropical climate. **Field Crops Research**, Farnham, v.162, p. 60–69, 2014.

BAYER, C. et al. A seven-year study on the effects of fall soil tillage on yield-scaled greenhouse gas emission from flood irrigated rice in a humid subtropical climate. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 145, p. 118-125, 2015.

BUSS, G. L. **Emissões de Metano e Óxido Nitroso em Cultivo de Arroz Irrigado por Aspersão, Alagamento Contínuo e Intermitente**. 2012. 75 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2012.

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

CERRI, C. C. et al. Brazilian Greenhouse Gas Emissions: the importance of agriculture and livestock. **Scientia Agricola**. Piracicaba, v. 66, n. 6, p. 831-843,2009.

CONAB, 2015. COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - **Acompanhamento da safra brasileira de grãos. Safra 2014/15** - Quinto Levantamento. Brasília, pp. 1-116.

COSTA, F. S. et al. Variação diária da emissão de metano em solo cultivado com arroz irrigado no Sul do Brasil. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, p. 2049-2053, 2008.

COUNCE, P. A.; KEISLING, T. C.; MITCHELL, A. J. A uniform, objective, and adaptive system for expressing rice development. **Crop Science**, Madison, v.40, p. 436-443, 2000.

FENG, J. et al. Impacts of cropping practices on yield-scaled greenhouse gas emissions from rice fields in China: A meta-analysis. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v.164, p.220-228, 2013.

IPCC. Summary for policymakers. In: CLIMATE Change 2013:the physical science basis.Contribution of working group I to the fifth assessmentreport of the Intergovernmental Panel on Climate Change.Cambridge: Cambridge University Press, United Kingdomand New York, 2013. p. 15-35.

ITOH, M. et al. Mitigation of methane emissions from paddy fields by prolonging midseason drainage Agriculture. **Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 141, p. 359-372, 2011.

IRGA - INSTITUTO RIO GRANDENSE DO ARROZ. Disponível em:



<[http://www.irga.rs.gov.br/upload/20141210160340soja\\_em\\_rotacao\\_com\\_arroz.pdf](http://www.irga.rs.gov.br/upload/20141210160340soja_em_rotacao_com_arroz.pdf)>. Acesso em: 05 abr. 2015.

IRRI - International Rice Research Institute. **Rice Facts**. Disponível em: <<http://irri.org>>. Acesso em: 17 fev. 2015.

KIM, G. Y. et al. Effect of Intermittent Drainage on Methane and Nitrous Oxide Emissions under Different Fertilization in a Temperate Paddy Soil During Rice Cultivation. **Journal Korean Society for Applied Biological Chemistry**, New York, v. 57, n. 2, p. 229-336, 2014.

LINQUIST, B. A. et al. An agronomic assessment of greenhouse gas emissions from major cereal crops. *Global Change Biol.* v. 18, p. 194–209, 2012.

MINAMIKAWA, K. et al. Appropriate frequency and time of day to measure methane emissions from an irrigated rice paddy in Japan using the manual closed chamber method. **Greenhouse Gas Measurement and Management**, v. 2, p. 118-128, 2012.

WESZ, J. **Emissões de Metano e Óxido Nitroso em Planossolo em função do Manejo da Água no Arroz Irrigado**. 2012. 73 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Departamento de Solos, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2012.

SOSBAI - SOCIEDADE SUL-BRASILEIRA DE ARROZ IRRIGADO. **Arroz irrigado: recomendações técnicas da pesquisa para o sul do Brasil**. Santa Maria, 2014. 189 p.

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. 101f. Tese (Doutorado) Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.