



## MUDANÇAS CLIMÁTICAS E OS IMPACTOS DA LAVOURA ARROZEIRA

Cimélio Bayer<sup>1</sup>, Walkyria Bueno Scivittaro<sup>2</sup>, Rogério Oliveira de Sousa<sup>3</sup>

Palavras chave: gases de efeito estufa, aquecimento global, sistemas de cultivo, rotação de culturas, irrigação intermitente.

### INTRODUÇÃO

De acordo com o último relatório do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC, 2013), o aquecimento global e a consequente mudança no clima, decorrente sobretudo da ação humana, já 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, estas mesmas atividades respondem por 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 alagamento contínuo representa aproximadamente 75% da produção mundial, sendo cultivado em

<sup>1</sup> Professor Associado do Departamento de Solos da UFRGS, Av. Bento Gonçalves, 7712, 91540-000, Porto Alegre, RS.

<sup>2</sup> Pesquisadora na Embrapa Clima Temperado – Pelotas.

<sup>3</sup> Professor do Departamento de Solos da Universidade Federal de Pelotas – UFPel.



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  $\text{CH}_4$ , de forma que a lavoura de arroz irrigado é reconhecidamente uma das principais fontes antropogênicas de  $\text{CH}_4$  para a atmosfera. Em nível nacional, a lavoura de arroz irrigado representa apenas 3% das emissões totais de  $\text{CH}_4$  (CERRI et al., 2009), contribuição essa que chega a quase 20% no RS devido a extensa área de cultivo (> 1,0 milhão de hectares/ano).

Neste resumo estão sintetizados os principais resultados existentes em relação às estratégias mitigadoras das emissões de GEE em áreas de arroz irrigado, representando um conjunto consolidado de informações gerado em mais de 15 anos de avaliação e que teve a participação e colaboração de outras instituições de ensino (UFSM e UFPel) e de pesquisa do Brasil (EMBRAPA e IRGA). Tais informações fazem parte de inúmeras teses e dissertações, e muitos resultados encontram-se publicados ou em fase de publicação em revistas científicas nacionais e internacionais.



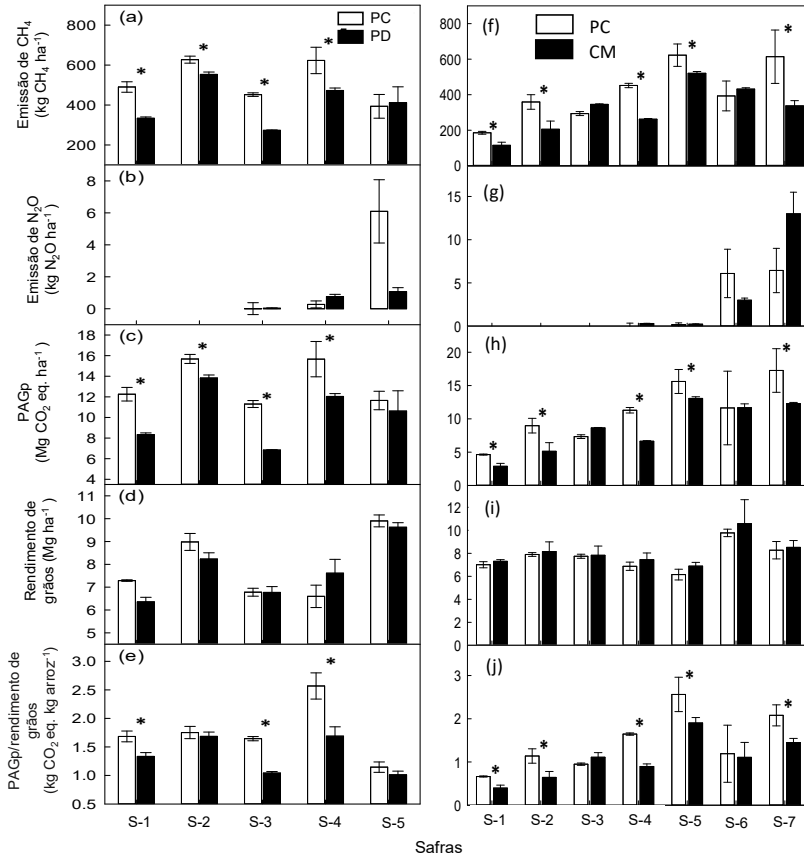
## PRINCIPAIS PRÁTICAS MITIGADORAS

### 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). Após várias safras de avaliação, nossos 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 1a e 1f), 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 1b e 1g) 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 1d e 1i), mostrando que é possível diminuir as emissões de GEE sem comprometer a produtividade da cultura. 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 1e e 1f). Nossos 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.

## **SISTEMAS ALTERNATIVOS DE MANEJO DA IRRIGAÇÃO**

O uso de sistemas intermitentes de irrigação tem se destacado como uma prática de manejo eficiente na mitigação das emissões de  $\text{CH}_4$  em solos cultivados com arroz irrigado. No Sul do Brasil, sistemas com irrigação contínua apresentaram maior emissão de  $\text{CH}_4$  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  $\text{N}_2\text{O}$ , não foram observadas diferenças significativas na maioria das localidades (Tabela 1), porém, quando constatadas, o tratamento com intermitência severa apresentou maior emissão de  $\text{N}_2\text{O}$  ( $1,01 \text{ kg N}_2\text{O ha}^{-1}$ ) em relação à irrigação contínua ( $0,002 \text{ kg N}_2\text{O ha}^{-1}$ ) e ao intermitente moderado ( $0,77 \text{ kg N}_2\text{O ha}^{-1}$ ).

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 tratamentos alternativos de irrigação. Esses resultados apontam que a supressão da água em curtos 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.

**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.

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



## 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 arrozeira. Os resultados obtidos neste estudo são inéditos no que se refere ao impacto da inserção destes cultivos nas emissões de GEE. As emissões de  $\text{CH}_4$  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 dessas emissões ocorreu em função das condições aeróbias do solo, desfavoráveis à produção de  $\text{CH}_4$ . Por outro lado, as emissões de  $\text{N}_2\text{O}$  não variaram significativamente entre os cultivos de arroz ( $2,09 \text{ kg de N}_2\text{O ha}^{-1}$ ) e soja ( $1,5 \text{ kg de N}_2\text{O ha}^{-1}$ ). Entretanto, as emissões de  $\text{N}_2\text{O}$  na cultura do milho atingiram  $7,72 \text{ kg de N}_2\text{O ha}^{-1}$ , possivelmente devido a maior quantidade de nitrogênio aplicado via adubo ( $> 240 \text{ kg N ha}^{-1}$ ) em relação ao arroz ( $150 \text{ kg N ha}^{-1}$ ).

A diversificação de culturas em rotação ao arroz irrigado reduziu o PAGp em mais de 85% na média das safras, redução esta ocasionada principalmente pela mitigação das emissões de  $\text{CH}_4$ . Embora as emissões de  $\text{N}_2\text{O}$  (com maior potencial de aquecimento global) tenham tido maior contribuição no PAGp dos cultivos de sequeiro, estas não superaram a proporção de  $\text{CH}_4$  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>) em todas as safras avaliadas, enquanto que no arroz o índice foi de 276 kg CO<sub>2</sub> equiv. Gcal<sup>-1</sup>.

Os resultados existentes indicam que a diversificação de culturas em áreas tradicionalmente cultivadas com arroz irrigado pode ser uma estratégia eficiente para a redução do PAGp nestes sistemas produção.

**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 culturas de soja, milho e arroz irrigado em terras baixas.

Safr	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> O ha <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>
	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>	
2013/2014	<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>
	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>	



## CONCLUSÃO

Nossos resultados indicam os sistemas de cultivo mínimo e plantio direto, a irrigação intermitente e a diversificação de culturas são tecnologias de manejo capazes de mitigar as emissões de GEE em sistemas de produção de arroz irrigado no Sul do Brasil, sem causar prejuízos a produtividade deste cereal.

## 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**, 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**, v. 145, p. 118-125, 2015.

CAMARGO, E. Potencial de práticas agrícolas em mitigar as emissões de gases de efeito estufa na cultura do arroz irrigado. Tese de doutorado, UFRGS, 138p., 2015.