

ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS APLICADA À AVALIAÇÃO DE VARIÁVEIS QUE INFLUENCIAM A EMISSÃO DE METANO POR CULTIVO DE ARROZ IRRIGADO POR INUNDAÇÃO

AMANDA C. **CAMPOS**¹; MARIA CONCEIÇÃO P. Y. **PESSOA**²; MAGDA A. **LIMA**³

Nº 0802001

Resumo

Este estudo consistiu na análise estatística de dados de fluxos de metano durante a safra de 2004/2005 de cultivo de arroz sob regime de inundação contínua, em sistema de transplântio, com uso de fertilizante nitrogenado, na Estação Experimental da APTA/Pólo Regional de Desenvolvimento Tecnológico dos Agronegócios do Vale do Paraíba, em Pindamonhangaba/SP. Nove variáveis ambientais foram monitoradas ao longo desta safra. O principal objetivo do trabalho foi empregar Análise de Componentes Principais aos dados, visando encontrar combinações das variáveis que possam melhor explicar a influência de variáveis ambientais sobre os fluxos de metano, em comparação à análise de variáveis de forma isolada. A Análise de Componentes Principais identifica um pequeno número de combinações lineares (componentes principais) das variáveis que tenham máxima variância. Realizando esta análise através do software estatístico SAS (2002), foram obtidas nove componentes, sendo que a primeira poderia representar a variação de fluxos de metano em até 66%, enquanto as duas primeiras componentes juntas o representariam em até 85%.

Abstract

This study consisted in a statistical analysis of methane fluxes data during the 2004/2005 paddy rice crop growing season under continuous water regime, transplanting system, with the application of nitrogen fertilizer, at the experimental area of APTA/Pólo Regional de Desenvolvimento Tecnológico dos Agronegócios do Vale do Paraíba, in Pindamonhangaba/SP. Nine environmental variables were monitored throughout this growing season. The main objective of this study was to employ Principal Components Analysis aiming to find combinations of variables that could better explain the influence of environmental variables on the methane emission, compared to the analysis of single variables. The Principal Components Analysis identifies a small number of linear combinations (principal components) of variables that have maximum variance. Proceeding this analysis through the statistical software SAS (2002), were obtained nine components, where the first one could

1. Bolsista CNPq: Graduando em Estatística, IMECC/UNICAMP, Campinas-SP, ✉ amandacividati@gmail.com

2. Co-Orientador: Pesquisador, Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna-SP

3. Orientador: Pesquisador, Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna-SP.

represent the variation of methane fluxes of up to 66%, while the first two components together represent up to 85%.

Introdução

O cultivo de arroz irrigado por inundação produz metano, um importante gás de efeito estufa, responsável por cerca de 15% da contribuição total de gases de origem antrópica, e com uma vida útil de 14 anos na atmosfera num horizonte de 100 anos (IPCC, 1995). Sabe-se que áreas de cultivo com regime de água contínuo promovem uma maior taxa de emissão do gás, e que a temperatura é um dos fatores ambientais que mais influenciam as emissões gasosas.

Segundo o primeiro inventário de emissão de gases de efeito estufa realizado no país (MCT, 2006), grande parte dos sistemas utiliza manejo contínuo de água, tal que um estudo de quantificação das emissões de metano deveria se concentrar nesses sistemas de produção. Diferentes taxas de emissão de metano estão relacionadas a diferentes condições de solo, tipo de cultivar, temperatura do solo, potencial redox, entre outros fatores, como manejo da água e uso de adubo orgânico. A temperatura e o sistema de manejo constituem os principais fatores ambientais que influenciam as emissões de metano.

Pesquisas realizadas pela Embrapa Meio Ambiente vêm monitorando a determinação de fluxos de metano em áreas de produção de arroz irrigado, com o acompanhamento de variáveis durante o período de cultivo inundado, visando relacionar fatores ambientais às emissões geradas. Esses experimentos vêm sendo conduzidos na Estação Experimental da APTA/Pólo Regional de Desenvolvimento Tecnológico dos Agronegócios do Vale do Paraíba, em Pindamonhangaba - São Paulo. Para o presente trabalho foram utilizados dados de fluxos de metano e de um conjunto de variáveis ambientais no período de cultivo (96 dias) da safra de 2004/2005 de arroz irrigado sob regime de inundação contínua, em sistema de transplantio, com uso de fertilizante nitrogenado (uréia).

Entretanto, muitas vezes uma combinação das variáveis pode representar mais informação sobre o fenômeno em estudo do que quando consideradas somente de forma isolada, o que vem demandando a necessidade de uso de métodos estatísticos para priorizar variáveis de maior interesse de forma agregada. Nesse contexto, o uso de técnicas de estatística multivariada mostram-se apropriadas à determinação da combinação linear de variáveis.

Entre os vários métodos existentes, destaca-se o de Análise de Componentes Principais (ACP), que é um método de ordenação de variáveis, onde os resultados consistem na

formação de novos eixos compostos por combinação das variáveis descritoras e a importância quanto à variabilidade e influência no fenômeno estudado de cada variável. O método estabelece um conjunto de eixos (ou fatores) perpendiculares entre si, onde cada componente é um autovetor obtido da matriz de correlação linear (ou da matriz de covariância, dependendo das variáveis utilizadas), e o comprimento do eixo é o autovalor dessa mesma matriz, que corresponde ao grau de variação do fator no experimento. Portanto, determinando os autovetores e autovalores dessa matriz obtêm-se um sistema de coordenadas que proporcionam a semelhança das amostras e seu grau de variação ao experimento. O primeiro fator (ou eixo) da ACP representa o fator de maior grau de variância dos dados. Interpretar uma ACP consiste em definir o que cada novo eixo representa no sentido de fatores ecológicos. A interpretação torna-se cada vez mais difícil à medida que seu autovalor diminui, ou seja, na sua participação na variância.

Assim, o uso deste método facilitaria a identificação de componentes que poderiam melhor representar o efeito de fatores ambientais sobre a emissão de metano a partir desse sistema de cultivo. Este método permite a redução da dimensionalidade do banco de dados, enquanto retém o máximo possível da informação presente nos dados (Jolliffe, 2002). Geralmente, obtêm-se em apenas duas ou três das primeiras componentes principais mais de 80% da informação presente nas variáveis originais, além de também auxiliar no julgamento da importância das próprias variáveis originais escolhidas. Ou seja, as variáveis com maior peso na combinação linear das primeiras componentes principais são as mais importantes do ponto de vista estatístico.

Este trabalho teve por objetivo principal empregar análise de componentes principais aos dados de fluxos de metano e das variáveis ambientais obtidas na safra de 2004/2005 de cultivo de arroz irrigado em Pindamonhangaba, SP.

Material e Métodos

Dados utilizados

Foram utilizados dados obtidos pelos Projetos Agrogases e Carboagro da Embrapa Meio Ambiente em experimentos de mensuração do fluxo de emissão de metano conduzidos na Estação Experimental da APTA/Pólo Regional de Desenvolvimento Tecnológico dos Agronegócios do Vale do Paraíba, em Pindamonhangaba - São Paulo, durante a safra de 2004/2005 de cultivo de arroz sob regime de inundação contínuo, em sistema de transplântio, com uso de fertilizante nitrogenado (uréia).

As variáveis monitoradas semanalmente durante o período de cultivo e utilizadas neste trabalho foram: Temperatura do ar, Temperatura da água, Temperatura do solo à 2cm, Temperatura do solo à 5cm, Temperatura do solo à 10cm, pH do solo, Eh do solo, Altura da planta e Radiação solar.

Método

Dados das variáveis ambientais e de fluxos de metano, obtidos na safra de 2004/2005, foram tabulados e ordenados em planilha EXCELL. Uma vez que as variáveis monitoradas apresentavam diversidade de unidades de medidas, o trabalho fez uso do método de Análise de Componentes Principais (ACP), conforme descrito em Van Rijckevorsel & Leeuw (1988), considerando matriz de correlação na análise.

Foi elaborado um programa em linguagem do software estatístico SAS (2002), para a realização da ACP.

Os resultados obtidos foram avaliados em termos dos componentes principais identificados pela análise.

Resultados e Discussão

O programa SAS codificado para avaliação do efeito das variáveis ambientais sobre o fluxo de metano é apresentado a seguir.

```
/* PROJETO CAEBOAGRO - EMBRAPA MEIO AMBIENTE / FINEP / FIPAI */
/* ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS APLICADA À AVALIAÇÃO DE VARIÁVEIS */
/* QUE INFLUENCIAM A EMISSÃO DE METANO POR CULTIVO DE ARROZ IRRIGADO */
/* POR INUNDAÇÃO - SAFRA 2004/2005, PINDAMONHANGABA-SP */

/* Entrada dos dados */
options ls=90;
data PINDAMONHANGABA;
    input Eh_solo pH_solo T_ar T_agua T_solo_2cm T_solo_5cm T_solo_10cm
    Alt_planta Rad_solar;
    cards;
aqui são inseridos, em linha, os dados obtidos do experimento
;
proc print;
run;

/* Análise de Componentes Principais utilizando matriz de correlação */
proc princomp data= PINDA OUT=PRIN;
    var Eh_solo pH_solo T_ar T_agua T_solo_2cm T_solo_5cm T_solo_10cm
    Alt_planta Rad_solar;
run;

proc print data=PRIN;
run;
```

A partir deste programa foram obtidos os autovalores, que representam o comprimento dos eixos das componentes principais, e os autovetores, que representam as direções dos eixos das componentes principais. Os resultados obtidos de autovalores e autovetores são apresentados a seguir:

Autovalores da Matriz de correlação:

	Autovalor	Diferença	Proporção	Acumulado
1	5.92022364	4.21212354	0.6578	0.6578
2	1.70810009	0.70346892	0.1898	0.8476
3	1.00463118	0.73344446	0.1116	0.9592
4	0.27118672	0.17532835	0.0301	0.9893
5	0.09585837	0.09585837	0.0107	1.0000
6	0.00000000	0.00000000	0.0000	1.0000
7	0.00000000	0.00000000	0.0000	1.0000
8	0.00000000	0.00000000	0.0000	1.0000
9	0.00000000		0.0000	1.0000

Autovetores:

	Componente Principal 1	Componente Principal 2	Componente Principal 3	Componente Principal 4	Componente Principal 5
Eh_solo	0.184741	-.637296	-.219042	0.450204	0.104291
pH_solo	-.388334	0.150645	0.041513	0.416221	0.453763
T_ar	0.274568	0.499608	0.176099	0.591369	0.118179
T_agua	0.391288	-.000910	-.178985	0.287445	-.637707
T_solo_2cm	0.402128	0.144392	-.066941	0.034614	0.152173
T_solo_5cm	0.393577	0.209130	0.003118	-.089198	0.251635
T_solo_10cm	0.390716	0.158587	-.021484	-.425016	0.199496
Alt_planta	-.330012	0.438426	-.080608	0.035082	-.457371
Rad_solar	0.091633	-.198997	0.935842	0.026645	-.164690

Autovetores - continuação:

	Componente Principal 6	Componente Principal 7	Componente Principal 8	Componente Principal 9
Eh_solo	-.031964	0.082201	-.093689	0.530687
pH_solo	0.060503	0.072713	0.660826	0.000000
T_ar	-.235594	-.305393	-.362055	0.021363
T_agua	-.092458	0.011744	0.505405	-.247874
T_solo_2cm	0.888036	0.000000	0.000000	0.000000
T_solo_5cm	-.251635	0.816551	0.000000	0.000000
T_solo_10cm	-.221952	-.405163	0.390415	0.485230
Alt_planta	0.149083	0.237808	-.036667	0.633905
Rad_solar	0.088589	0.084188	0.119353	0.138525

A primeira e a segunda componente principal são representadas pelas combinações das variáveis conforme apresentado a seguir.

Primeira Componente Principal

$0.185 \cdot Eh_{\text{solo}} - 0.388 \cdot pH_{\text{solo}} + 0.275 \cdot T_{\text{ar}} + 0.391 \cdot T_{\text{água}} + 0.402 \cdot T_{\text{solo_2cm}} + 0.394 \cdot T_{\text{solo_5cm}} + 0.391 \cdot T_{\text{solo_10cm}} - 0.330 \cdot Alt_{\text{planta}} + 0.092 \cdot Rad_{\text{solar}}$

Segunda Componente Principal

$$-0.637*Eh_solo + 0.151*pH_solo + 0.500*T_ar - 0.001*T_água + 0.144*T_solo_2cm + 0.209*T_solo_5cm + 0.159*T_solo_10cm + 0.438*Alt_planta - 0.199*Rad_solar$$

Analisando a primeira componente principal, pode-se verificar que foram atribuídos pesos maiores para as variáveis Temperatura da água, Temperatura do solo à 2cm, Temperatura do solo à 5cm e Temperatura do solo à 10cm, indicando que estas são as variáveis mais importantes quanto à influencia no fluxo de metano. A temperatura é um dos fatores ambientais que governam a decomposição de substâncias orgânicas em um solo inundado, e em particular a taxa de emissão de metano (Schutz et al., 1990; Parashar et al., 1993). Conrad et al. (1978) relataram que a produção de metano foi de 2,5 a 3,5 vezes maior sob temperatura do solo de 30°C em comparação a um solo sob 17°C. Também, Tsutsuki & Ponnamperna (1987) registraram um aumento significativo na emissão de metano com uma elevação da temperatura do solo de 20°C a 35°C. Rath et al. (2002) registraram também aumento da produção de metano com o aumento na temperatura de incubação de 15°C a 35°C, onde a produção de metano foi negligenciável em laterita e sulfato ácido comparada com a produção em solo aluvial, mesmo em elevada temperatura. Esses autores sugeriram que a sensibilidade à temperatura dependeria do tipo de solo e da disponibilidade dos substratos.

Na segunda componente, as variáveis Temperatura do ar e Altura de planta foram as mais importantes, em função de um peso maior atribuído a elas. Com base nos resultados, pode-se concluir que somente a primeira componente representaria o fenômeno estudado em até 66%, enquanto que, juntamente com a segunda componente, o representariam em até 85%.

Conclusão

Através da Análise de Componentes Principais foi possível determinar as combinações lineares que melhor representam o efeito de variáveis ambientais na emissão de metano para a safra de 2004/2005 de arroz irrigado por inundação, em sistema de transplântio, com uso de fertilizante nitrogenado na área experimental de Pindamonhangaba/SP.

Referências Bibliográficas

CONRAD, R.; SCHUTZ, H.; BABBEL, M. Temperature limitation of hydrogen turnover and methanogenesis in anoxic paddy soil. FEMS Microbiology Letters, v. 45, p. 281-289, 1987.

IPCC. Climate Change 1994: Radiative Forcing of Climate Change and an evaluation of the IPCC IS92 Emission Scenarios. Cambridge: Cambridge University Press. 339p. 1995.

JOLLIFFE, I. T.; Principal Component Analysis. 2.ed. New York, Springer-Verlag, 2002.

MCT-Ministério da Ciência e Tecnologia. Primeiro Inventário Brasileiro de emissões antrópicas de gases de efeito estufa. Relatórios de Referência: Emissões de metano do cultivo de arroz, 2006, 56p.

PARASHAR, D. C., GUPTA, P. K., RAJ, J. S., DHARMA, R. C., & SINGH, N. Effect of soil temperature on methane emission from paddy field. Chemosphere, v. 26, 247-250, 1993.

RATH, A.K.; KAMAKRISHNAN, B.; SETHUNATHAN, N. Temperature dependence of methane production in tropical rice soils. Geomicrobiology Journal, v. 19, p. 581-592, 2002.

SAS - *Statistical Analysis System*. SAS/STAT user's guide, version 8.0. Cary, 2002.

SCHUTZ, H.; SEILER, W.; CONRAD, R. Influence of soil temperature on methane emission from rice paddy fields. Biogeochemistry, v. 11, p. 77-95, 1990

TSUTSUKI, K.; PONNAMPERUMA, F.N. Behaviour of anaerobic decomposition products in submerged soils, effects of organic material amendment, soil properties and temperature. Soil Sci. Plant Nutr., v.33, p. 13-33, 1987.

VAN RIJCKEVORSEL, J. L. A. and LEEUW, J., *Component and Correspondence Analysis: Dimension Reduction by Functional Approximation*, Wiley, Chichester, England, 1988