



## Uso de séries temporais em análise da variação do pH do solo

Léo Adriano CHIG<sup>1\*</sup>, Mariano Martínez ESPINOSA<sup>2</sup>, Eduardo Guimarães COUTO<sup>3</sup>,  
Ricardo Santos Silva AMORIM<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Universidade de Cuiabá, UNIC, Cuiabá, MT, Brasil.

<sup>2</sup>Departamento de Estatística, Instituto de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, MT, Brasil.

<sup>3</sup> Departamento de Solos e Engenharia Rural, Faculdade de Agronomia, Medicina Veterinária e Zootecnia, UFMT, Cuiabá, MT, Brasil.

\*E-mail: [leochig@gmail.com](mailto:leochig@gmail.com)

Recebido em maio/2017; Aceito em abril/2018.

**RESUMO:** Sendo o pH da solução do solo um índice que determina a acidez e alcalinidade do solo e sabendo que as plantas se desenvolvem melhor em determinados pH's, o conhecimento da variação temporal no solo desse índice pode colaborar para adequação de estratégias de manejo da fertilidade. O objetivo deste estudo foi ajustar um modelo de séries temporais com o intuito de conhecer a variação temporal dos valores de pH do solo, em áreas de cultivo comercial sob Latossolo Vermelho distrófico. Foi possível estimar o pH do solo utilizando a técnica de análise de séries temporais, considerando o modelo de suavização exponencial de Holt-Winters (HW), obtendo o melhor ajuste pelo aditivo de HW, e para solo de textura argilosa foi o modelo multiplicativo, ambos por apresentarem menores valores de erro médio absoluto (EMA) e erro quadrático médio (EQM). Os solos de textura arenosa afetaram mais a variação temporal dos valores de pH, influenciados pela precipitação do que os de textura argilosa.

**Palavras-chave:** modelo aditivo, argila, modelagem.

## Use of time-series techniques in analysis of soil pH changes

**ABSTRACT:** Being the pH of the soil solution, an index that determines the acidity and alkalinity of the soil, and knowing that the plants develop in certain pH's, knowledge of the temporal variation in the soil of this index can contribute to the adequacy of fertility management strategies. The objective of this study was to adjust a time series model with the purpose of knowing the temporal variation of soil pH values in commercial cultivated areas under Latosol Red dystrophic. It was possible to estimate the pH of the soil using the technique of time series analysis, considering the HW model. The model that best fit with the observed values of the pH of the soil was sandy texture of the additive model HW, and clayey soil was the multiplicative model, both because of the lower values of mean absolute error (MPE) and mean squared error (MSE). The sandy soils affected more temporal variation in pH, influenced by rainfall than clayey.

**Keywords:** additive model, clay, modeling.

### 1. INTRODUÇÃO

Uma das variáveis químicas de maior importância nos solos agrícolas é o pH (Potencial de Hidrogênio). Pois, o potencial agrícola é reduzido por causa dos complexos processos dependentes deste atributo no solo, que afetam principalmente a disponibilidade de nutrientes (MARSCHNER, 1995; OLNESS, 1999) e propiciam o aumento da incidência de doenças (HUBER; WILHELM, 1988; KURTZWEIL et al., 2002) e ou de plantas invasoras (CHILDS et al., 1997).

Frankland *et al.* (1963), estudando os valores de pH do solo, observaram que estes variam com o tempo, tensionando, de acordo com Farley; Fitter (1999), a capacidade de adaptação das plantas. Nos solos tropicais, especificamente no cerrado mato-grossense, temos certa estacionariedade sazonal da precipitação média anual acumulada, concentrando-se nos meses outubro a março (Primavera e Verão), condição que pode afetar a disponibilidade dos atributos químicos do solo para as plantas (ALMEIDA, 2005), compondo um contexto favorável ao uso de modelos matemáticos de simulação (HOOGENBOOM, 2000).

O desenvolvimento de técnicas de previsão e de processamento cada vez mais sofisticados elevou o número de pesquisas que utilizam modelos preditivos. No entanto, essas técnicas - embora prevalentes nas ciências sociais, políticas e econômicas - tem amplo potencial aberto em todas as áreas do conhecimento onde as observações são indexadas pelo tempo (ESPINOSA et al., 2010; SÁFADI, 2003), sendo assim, podendo também ser utilizada nas ciências do solo.

Como apresentado anteriormente, a disponibilidade dos nutrientes do solo para as plantas sofre influência do pH do solo, e o conhecimento da sua variação temporal torna-se importante para adequação de estratégias de manejo da fertilidade. Sendo assim, temos como hipótese que a técnica estatística de séries temporais pode ser usada para estimar valores futuros de pH em CaCl<sub>2</sub> do solo por meio da modelagem do comportamento passado desta variável.

Considerando estas condições, o objetivo deste estudo foi ajustar um modelo de séries temporais com o intuito de conhecer a variação temporal dos valores de pH do solo, em áreas de cultivo comercial sob Latossolo Vermelho distrófico.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho foi realizado na Fazenda Três Marcos, situada em de Campo Novo dos Parecis – MT, em três áreas experimentais de 25 ha cada, de diferentes texturas. Na 1ª área (A<sub>1</sub>) (21L, 396697.265N, 8524568.484L) e 3ª área (A<sub>3</sub>) (21L, 395296.3N, 8526871.387E) com solo de textura muito argilosa (685 e 665 g kg<sup>-1</sup> de argila, respectivamente), e na 2ª área (A<sub>2</sub>) (21L, 397333.678N, 8527214.496L) sobre solo de textura franco-arenosa (149 g kg<sup>-1</sup> de argila). Todas cultivadas com soja, sob manejo mínimo do solo tomando como referência a safra de 2007.

Nas três áreas foram realizadas adubações de manutenção com 250 kg ha<sup>-1</sup> de superfosfato simples e 120 kg ha<sup>-1</sup> de cloreto de potássio, aplicados na fase V1 (primeiro nó) da soja. Após colheita da soja foi plantado milho na A<sub>1</sub> e A<sub>2</sub> e milho na A<sub>3</sub>, sem aplicação de adubo, e após colheita da safrinha as áreas ficaram em pousio.

As amostragens de solo foram realizadas nas profundidades de 0 a 0,20 m, utilizando-se de um trado holandês, de duas em duas semanas, a partir do dia primeiro de janeiro até vinte e quatro de setembro de 2007, totalizando 24 semanas, utilizando-se de um trado holandês. A amostragem de solo em cada área foi realizada sempre nos mesmos horários e seguindo a mesma sequência de amostragem. O esquema de amostral utilizado foi definido em malha regular de 75 m x 75 m, totalizando 51, 58 e 52 pontos amostrais para A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub> e A<sub>3</sub>, respectivamente.

As amostras de solo foram analisadas segundo metodologia disposta em Embrapa (2011) para obtenção dos valores de pH CaCl<sub>2</sub> do solo, sendo utilizado *in loco* um pHmetro de bancada calibrado com soluções tampão com pH 4,00 e 7,00.

Foi instalado um pluviômetro em cada área experimental para acompanhamento da precipitação local. A caracterização da umidade do solo deste estudo utilizou a precipitação acumulada durante cada período de coleta, desconsiderando as perdas por lixiviação, escoamento e ou por evapotranspiração.

Os valores de pH foram submetidos às análises estatísticas descritivas e ao teste de normalidade Kolmogorov-Smirnov ( $p > 0,10$ ), e posteriormente, apenas os dados de 20 semanas foram submetidos ao teste de séries temporais.

Antes de modelar a série temporal foi desenvolvida uma análise descritiva exploratória para descrever o movimento geral do conjunto de dados e identificar, aproximadamente, tendências cíclicas e ou variações sazonais (SARTORIS, 2003; ESPINOSA et al., 2010; BIUDES et al., 2009).

A maioria dos métodos de previsão parte de que observações passadas contêm informações sobre o padrão da série temporal, sendo seu propósito distinguir o padrão de qualquer grau de inconsistência (ruído) que possa estar contido nas observações e então utilizá-lo para prever valores futuros (MORETTIN; TOLOI, 2004).

Uma grande classe de métodos de previsão, que trata ambas as causas de flutuações em séries de tempo, é a das suavizações. As quais assumem que os valores extremos da série representam a aleatoriedade e, assim, por meio da suavização dos seus extremos pode-se identificar o padrão básico. Cabe destacar que a grande popularidade atribuída aos métodos de suavização é devida à eficiência

computacional e a sua boa precisão (MORETTIN; TOLOI, 2004).

Entre os modelos mais utilizados destacam-se os relativos séries localmente constantes, para as que apresentam tendências e sazonalidade. Considerando que os valores do pH desta pesquisa apresentam um comportamento sazonal, foi utilizado o modelo de suavização exponencial de Holt-Winters (HW).

No modelo de HW existem dois tipos de procedimentos, multiplicativo e aditivo, cuja utilização depende das características das séries consideradas. Tais procedimentos são baseados em três equações com constantes de alisamento diferentes, que são associadas a cada um dos componentes do padrão da série: nível, tendência e sazonalidade.

Considere uma série sazonal com período  $s$ . A variável mais usual do método de HW considera o fator sazonal  $T_t$  como sendo multiplicativo, enquanto a tendência permanece aditiva, isto é,

$$Z_t = \mu_t \cdot F_t + T_t + a_t \quad (\text{Equação 1})$$

para  $t = 1, 2, \dots, n$ . onde  $Z_t$  é a variável aleatória dependente,  $T_t$  e  $F_t$  representam a tendência e a sazonalidade, respectivamente, enquanto em um componente aleatório  $a_t$ , denominado ruído ou erro aleatório.

As três equações de alisamento são dadas por:

$$\hat{F}_t = D \left\{ \frac{Z_t}{\bar{Z}_t} \right\} + (1 - D) \hat{F}_{t-s} \quad (\text{Equação 2})$$

$$\bar{Z}_t = A \left\{ \frac{Z_t}{\hat{F}_{t-s}} \right\} + (1 - A) (\bar{Z}_{t-s} + \hat{T}_{t-1}) \quad (\text{Equação 3})$$

$$\hat{T}_t = C (\bar{Z}_t - \bar{Z}_{t-1}) + (1 - C) \hat{T}_{t-1} \quad (\text{Equação 4})$$

onde:  $s$  é o comprimento da variação sazonal;  $F_{t+m}$  é a previsão para o período  $m$ ; com  $0 < D < 1$ ,  $0 < A < 1$  e  $0 < C < 1$  para  $t = s + 1, \dots, n$ . As Expressões (2) a (3) representam estimativas do fator sazonal, do nível e da tendência, respectivamente e  $A$ ,  $C$  e  $D$  são as constante de alisamento (MORETTIN; TOLOI 2004).

O método anterior pode ser modificado para tratar com situações onde o fator sazonal é aditivo,

$$Z_t = \mu_t + F_t + T_t + a_t \quad (\text{Equação 5})$$

para  $t = 1, 2, \dots, n$ .

As estimativas do fator sazonal, nível e tendência da série são dadas por:

$$\hat{F}_t = D (Z_t - \bar{Z}_t) + (1 - D) \hat{F}_{t-s}, \quad (\text{Equação 6})$$

$$\bar{Z}_t = A (Z_t - \hat{F}_{t-s}) + (1 - A) (\bar{Z}_{t-1} + \hat{T}_{t-1}) \quad (\text{Equação 7})$$

$$\hat{T}_t = C (\bar{Z}_t - \bar{Z}_{t-1}) + (1 - C) \hat{T}_{t-1}, \quad (\text{Equação 8})$$

com  $0 < D < 1$ ,  $0 < A < 1$  e  $0 < C < 1$  para  $t = s + 1, \dots, n$ , onde  $A$ ,  $C$  e  $D$  são as constante de alisamento, respectivamente (MORETTIN; TOLOI 2004).

3. RESULTADOS

Os valores de pH apresentaram baixo coeficiente de variação (CV) que ficaram entre 3,5 a 7,9% (Tabela 1), o que de certa forma estes dados podem ser descritos como homogêneos conforme Gomes (2000), o que dá uma ideia da precisão do experimento.

Tabela 1. Estatística descritiva dos valores de pH das duas áreas estudadas nas diferentes leituras

Table 1. Descriptive statistics of the pH values of the two areas studied in the different readings

A	S	N	Min	Máx	Amp	Méd	SD	CV%		
1	Início	51	4,44	5,65	1,21	4,87	0,25	5,1		
	2		4,01	5,64	1,62	4,91	0,30	6,1		
	4		4,38	5,53	1,15	4,95	0,26	5,2		
	6		4,22	5,52	1,30	4,85	0,25	5,1		
	8		4,22	5,63	1,41	4,80	0,22	4,6		
	10		4,26	5,41	1,14	4,85	0,24	4,9		
	12		4,47	5,45	0,98	4,99	0,21	4,2		
	14		4,36	5,36	1,00	4,85	0,17	3,5		
	16		4,43	5,54	1,12	4,98	0,22	4,4		
	18		4,53	5,46	0,94	5,01	0,21	4,2		
	20		4,15	5,54	1,39	4,86	0,27	5,6		
	2		Início	58	4,27	5,49	1,23	4,74	0,22	4,6
			2		4,37	6,14	1,77	4,68	0,25	5,3
			4		4,27	6,51	2,24	4,71	0,30	6,3
			6		4,30	6,26	1,96	4,69	0,27	5,8
			8		4,34	6,83	2,49	4,70	0,33	7,0
			10		3,34	6,66	3,32	4,62	0,36	7,8
			12		4,41	5,41	1,00	4,82	0,22	4,5
			14		4,37	6,15	1,78	4,71	0,23	5,0
			16		4,28	7,12	2,84	4,86	0,37	7,6
18		4,41	6,53		2,12	4,88	0,28	5,8		
20		4,31	7,29		2,98	4,82	0,38	7,9		
3		Início	52		4,14	5,53	1,39	4,74	0,29	6,1
		2			4,29	5,73	1,44	4,82	0,29	6,0
		4			4,27	5,32	1,05	4,77	0,28	5,9
		6			4,23	5,41	1,18	4,71	0,29	6,2
		8			4,42	5,36	0,94	4,75	0,20	4,2
		10			4,16	5,31	1,14	4,64	0,27	5,8
		12			4,32	5,32	1,00	4,72	0,22	4,7
		14			4,29	5,35	1,06	4,71	0,21	4,5
		16			4,31	5,33	1,03	4,71	0,21	4,5
	18	4,27		5,25	0,98	4,75	0,24	5,0		
	20	4,38		5,23	0,85	4,72	0,19	4,0		

A - Área - 1: textura argilosa, 2: textura arenoso; 3: textura argilosa; S - Semanas; N - número de amostras de solo; Min - Mínimo; Max - Máximo; Amp - Amplitude; Méd - Média; SD - Desvio Padrão; CV- Coeficiente de variação.

Os valores de pH em CaCl<sub>2</sub> das amostras de solo, variaram significativamente ao longo do desenvolvimento fenológico das plantas (Figura 1, 2 e 3), mesmo assim, mantiveram-se em torno de 4,80 a 5,01 na A<sub>1</sub>, 4,64 a 4,82 na A<sub>2</sub> e 4,62 a 4,88 na A<sub>3</sub>. Os valores de pH da A<sub>2</sub> e A<sub>3</sub> foram mais ácidos que os observados na A<sub>1</sub>.

Utilizando-se de um gráfico de médias (Figura 4) foi possível caracterizar as variações dos valores do pH em CaCl<sub>2</sub> nas três áreas em estudo (A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub> e A<sub>3</sub>), no período de 20 semanas. Os valores de pH da A<sub>2</sub> (franco-arenoso) caracterizaram condição de menor acidez que os das demais áreas.

O valor de pH observado no período foi de 4,75 com uma dispersão em torno da média de 0,0836 para mais ou para

menos e um coeficiente de variação de 1,76%. Houve 50% dos valores de pH acima de 4,71, valor que representa a mediana.

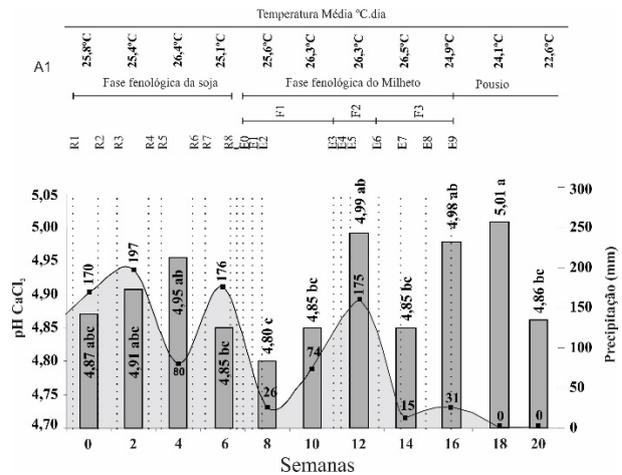


Figura 1. Variação dos valores de pH em CaCl<sub>2</sub> na A<sub>1</sub>. Precipitação pluviométrica acumulada no período de coleta da área 1 de textura argilosa. Letras minúsculas iguais entre as épocas de coleta não diferem entre si pelo teste de Tukey (p<5), para os valores de pH em CaCl<sub>2</sub>. Fase fenológica da soja - R1 - Início do florescimento; R2 - Pleno florescimento; R3 - Início da formação das vagens; R4 - Plena formação das vagens; R5 - Início do enchimento das sementes; R6 - Pleno enchimento das vagens; R7 - Início da maturação; R8 - Maturação plena; C - Colheita. Fase fenológica do milho; - F1 - fase vegetativa; F2 - fase de floração; F3 - fase de enchimento dos grãos (E0 - coleóptilo visível; E1 - terceira folha visível; E2 - quinta folha visível; E3 - formação da panícula; E4 - folha-bandeira visível; E5 - Panícula visível; E6 - 50% dos estigmas emergidos; E7 - estágio leitoso; E8 - estágio leitoso; E9 - maturação fisiológica) - A; Variação dos valores de pH do solo nos 51 pontos amostrados em função das horas e épocas de coleta - B.

Figure 1. Variation of pH values in CaCl<sub>2</sub> in A<sub>1</sub>. Rainfall accumulated in the period of collection of area 1 of clay texture. Equal minute letters between collection times do not differ by Tukey's test (p <5), for pH values in CaCl<sub>2</sub>. Phenological phase of soybean - R1 - Beginning bloom; R2 - Full bloom; R3 - Beginning pod; R4 - Full pod; R5 - Beginning seed; R6 - Full seed; R7 - Beginning of physiological maturation; R8 - Full maturation; C - Harvest. Phenological stage of millet - F1 - vegetative phase; F2 - flowering phase; F3 - grain filling stage (E0 - visible coleoptile; E1 - visible third leaf; E2 - visible fifth leaf; E3 - panicle formation; E4 - visible leaf banner; E5 - visible panicle E6 - 50% of emerging stigmas E8 - milky stage E8 - milky stage E9 - physiological maturation) - A; Variation of pH values of the soil in the 51 points sampled as a function of the hours and collection times - B

O modelo matemático aditivo de HW foi o que melhor se ajustou aos valores residuais do pH em CaCl<sub>2</sub>, para descrever a variação temporal durante o período de 20 semanas. Em seguida, foram ajustados valores estimados aos valores médios de pH em CaCl<sub>2</sub> (Figura 4).

Os menores valores de pH observados ocorreram na décima semana, com exceção da A<sub>1</sub>, que foi na oitava semana. Se consideramos que no período de avaliação essas áreas encontravam-se com cultura implantada, pode-se dizer que os valores de pH do solo variaram ao longo do desenvolvimento fenológico das plantas (Figuras 1, 2 e 3).

Na análise residual pode-se observar que os resíduos do modelo aderiram à distribuição Normal dos dados, isto é confirmado pelo nível de significância do Teste de Shapiro-Wilk superior a 5%. Para a escolha do melhor modelo

utilizou-se a análise residual sendo possível concluir que o modelo de HW aditivo foi o que melhor se ajustou aos dados. Neste modelo o vetor das constantes de suavização dado por (0,2; 0,2 e 0,2) para  $t = 9$ , forneceram a menor porcentagem de erro médio absoluto (PEMA) de ajustamento, igual a 0,1760% e um erro médio absoluto (EMA) de 0,008385 com um erro quadrático médio (EQM) de  $9 \times 10^{-5}$ . Além disso, quando realizada a comparação gráfica dos valores de pH do solo observados aos ajustados pelo modelo de HW (Figura 4). Pode-se verificar que os valores estimados com o Modelo de HW estão muito próximos dos valores observados. Assim, este modelo pode ser utilizado para fazer previsões semanais do pH do solo. As previsões e os intervalos de 95% de confiança para duas semanas são apresentados na Tabela 2.

Na A<sub>2</sub> o menor valor médio de pH observado (Figura 4), foi verificado na décima semana, com pH médio de 4,62 e o maior valor ocorreu na décima oitava semana com valor médio de 4,88.

O ajuste dos valores estimados aos valores médios de pH da A<sub>2</sub> pode ser observado na Figura 4, para o período de 20 semanas, onde o modelo multiplicativo de HW foi o que melhor se ajustou aos dados.

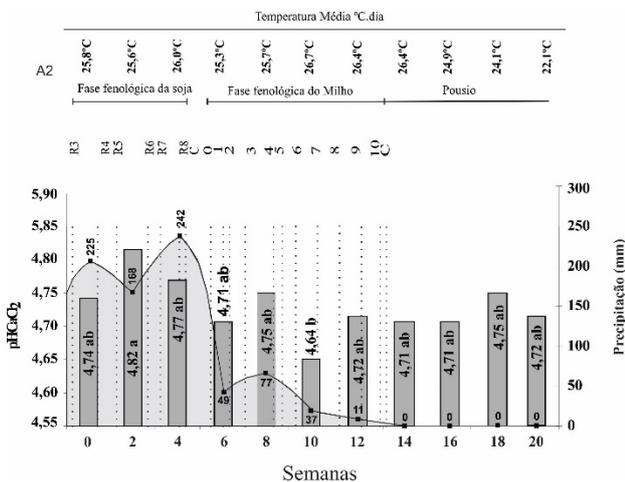


Figura 2. Variação dos valores de pH em CaCl<sub>2</sub> na A<sub>2</sub>. Precipitação pluviométrica acumulada no período de coleta da área 2 de textura franco-arenosa. Letras iguais entre as épocas de coleta não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p < 5$ ), para os valores de pH em CaCl<sub>2</sub>. Fase fenológica da soja – R1- Início do florescimento; R2 - Pleno florescimento; R3 - Início da formação das vagens; R4 - Plena formação das vagens; R5 - Início do enchimento das sementes; R6 - Pleno enchimento das vagens; R7 - Início da maturação; R8 - Maturação plena; C - Colheita. Fase fenológica do milho – 0 – emergência; 1 – quatro folhas totalmente descobertas; 2 – oito folhas totalmente descobertas; 3 – doze folhas totalmente descobertas; 4 – emissão do pendão; 5 – emissão do pólen; 6 – grãos leitosos; 7 – grãos pastosos; 8 - formação de dentes; 9 - grãos duros; 10 – grãos fisiologicamente maduros; C - Colheita.

Figure 2. Variation of pH values in CaCl<sub>2</sub> in A<sub>2</sub>. Rainfall accumulated in the period of collection of area 2 of sandy-loam texture. Equivalent letters between collection times do not differ from each other by Tukey's test ( $p < 5$ ), for pH values in CaCl<sub>2</sub>. Phenological stage of soybean - R1 - Beginning bloom; R2 - Full bloom; R3 - Beginning pod; R4 - Full pod; R5 - Beginning seed; R6 - Full seed; R7 - Beginning of physiological maturation; R8 - Full maturation; C - Harvest. Phenological stage of maize - 0 - emergence; 1 - four leaves totally uncovered; 2 - eight leaves totally uncovered; 3 - twelve completely uncovered leaves; 4 - emission of the tassel; 5 - emission of pollen; 6 - milky grains; 7 - pasty grains; 8- tooth formation; 9 - hard grains; 10 - physiologically mature grains; C - Harvest.

Tabela 2. Valores médios de pH do solo estimado e intervalo de confiança a 95% para as semanas 22 e 24, na A<sub>1</sub> com o Modelo de HW aditivo.

Table 2. Mean values of estimated soil pH and 95% confidence interval for week 22 and 24, on A<sub>1</sub> with the additive HW Model.

Semana	Valor médio de pH estimado	Intervalo de confiança 95%
22	4,84	(4,82 ; 4,87)
24	4,82	(4,80 ; 4,85)

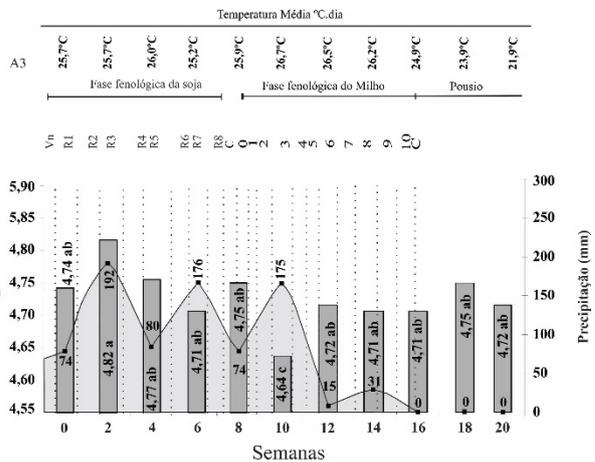


Figura 3. Variação média dos valores de pH em CaCl<sub>2</sub> na A<sub>3</sub>. Precipitação pluviométrica acumulada no período de coleta da área 3 de textura argilosa. Letras iguais entre as épocas de coleta não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p < 5$ ), para os valores de pH em CaCl<sub>2</sub>. Fase fenológica da soja – Vn-9º Trifólio aberto antes da floração; R1- Início do florescimento; R2 - Pleno florescimento; R3 - Início da formação das vagens; R4 - Plena formação das vagens; R5 - Início do enchimento das sementes; R6 - Pleno enchimento das vagens; R7 - Início da maturação; R8 - Maturação plena; C - Colheita. Fase fenológica do milho – 0 – emergência; 1 – quatro folhas totalmente descobertas; 2 – oito folhas totalmente descobertas; 3 – doze folhas totalmente descobertas; 4 – emissão do pendão; 5 – emissão do pólen; 6 – grãos leitosos; 7 – grãos pastosos; 8 - formação de dentes; 9 - grãos duros; 10 – grãos fisiologicamente maduros; C - Colheita.

Figure 3. Mean variation of pH values in CaCl<sub>2</sub> in A<sub>3</sub>. Rainfall accumulated in the period of collection of area 3 of clayey texture. Equivalent letters between collection times do not differ from each other by Tukey's test ( $p < 5$ ), for pH values in CaCl<sub>2</sub>. Phenological Phase of Soya - Vn-9º Trifolium open before flowering; R1 - Beginning bloom; R2 - Full bloom; R3 - Beginning pod; R4 - Full pod; R5 - Beginning seed; R6 - Full seed; R7 - Beginning of physiological maturation; R8 - Full maturation; C - Harvest. Phenological stage of maize - 0 - emergence; 1 - four leaves totally uncovered; 2 - eight leaves totally uncovered; 3 - twelve completely uncovered leaves; 4 - emission of the tassel; 5 - emission of pollen; 6 - milky grains; 7 - pasty grains; 8- tooth formation; 9 - hard grains; 10 - physiologically mature grains; C - Harvest.

A modelagem estatística para os valores do pH do solo arenoso (A<sub>3</sub>) foram caracterizadas na Figura 4, onde após da análise residual foi possível observar que o modelo aditivo de HW foi o mais adequado para ajustar aos dados de pH.

Neste modelo o vetor das constantes de suavização dado por (0,2; 0,2 e 0,2) para  $t = 9$ , forneceram a menor PEMA de ajustamento, igual a 0,4321% e um EMA de  $2,05 \times 10^{-2}$  com um EQM de  $6,24 \times 10^{-4}$ . Além disso, é realizada uma comparação gráfica dos valores de Arenoso do solo observados e ajustados pelo modelo de HW (Figura 1). As previsões e os intervalos de 95% de confiança para duas semanas são apresentados na Tabela 3.

Uso de séries temporais em análise da variação do pH do solo

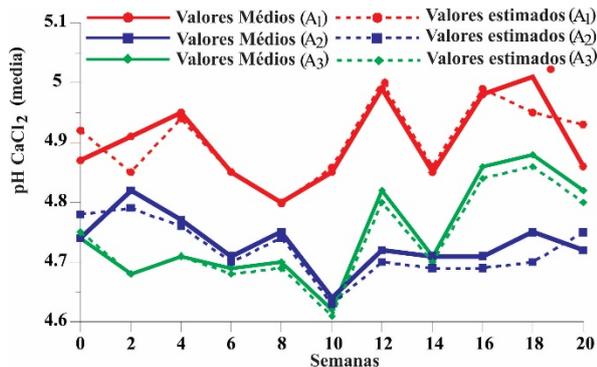


Figura 4. Variação média do pH em CaCl<sub>2</sub> em três áreas sob Latossolo Vermelho-Amarelo de diferentes texturas no período de 20 semanas.

Figure 4. Average variation pH in CaCl<sub>2</sub> in three areas under Red-Yellow Latosol of different textures in the period of 20 weeks.

Tabela 3. Valores médios de pH do solo estimado e intervalo de confiança a 95% para as semanas 22 e 24, na A<sub>2</sub> com o Modelo de HW multiplicativo.

Table 3. Estimated soil pH values and 95% confidence interval for week 22 and 24, on A<sub>2</sub> with the multiplicative HW model.

Semana	Valor médio de pH estimado	Intervalo de confiança 95%
22	4,71	(4,66 ; 4,76)
24	4,65	(4,60 ; 4,70)

Foi possível observar que o modelo de HW continuou adequado para ajustar os dados estimados de pH no solo argiloso, porém com adequação a variação dos dados. Neste modelo o vetor das constantes de suavização dado por (0,2; 0,2 e 0,2) para  $t = 9$ , forneceram a menor PEMA de ajustamento, igual a 0,5285% e um EMA de 0,025956 com um EQM de  $1,28 \times 10^{-3}$ . Quando realizada a comparação gráfica dos valores do pH do solo observados e ajustados pelo modelo de HW (Figura 4). As previsões e os intervalos de 95% de confiança para duas semanas são apresentados na Tabela 4.

A partir da décima quarta semana não foi registrado mais a ocorrência de precipitação na A<sub>2</sub> (solo franco-arenoso), possibilitando assim, observar que os valores do pH do solo estabilizaram a partir desse momento. Em quanto que, nas A<sub>1</sub> e A<sub>3</sub> (solos argilosos) não foram registrados mais a ocorrência de precipitação a partir da décima oitava semana e decima sexta, respectivamente, caracterizando o termino do período das chuvas.

Tabela 4. Valores médios de pH do solo estimado e intervalo de confiança a 95% para as semanas 22 e 24, na A<sub>3</sub> com o Modelo de HW aditivo.

Table 4. Estimated soil pH values and 95% confidence interval for week 22 and 24, on A<sub>3</sub> with the additive HW Model.

Semana	Valor médio de pH estimado	Intervalo de confiança 95%
22	4,99	(4,92 ; 5,05)
24	4,89	(4,82 ; 4,95)

A estimativa do pH utilizando-se o modelo de HW, permitiu prever que o pH continua estável ao longo do tempo nos solos argilosos e arenoso. Situação que pode se manter desde que não haja precipitação pluviométrica, o que, hipoteticamente, poderia alterar a variação do pH do solo, principalmente em solos argilosos.

O modelo que melhor se ajustou aos dados obtidos para A<sub>1</sub> e A<sub>3</sub> foi o aditivo HW, e para A<sub>2</sub> o modelo multiplicativo foi o mais adequado. Como foi possível verificar que os modelos se adequaram para descrever a variação temporal do pH no solo (Tabelas 2, 3 e 4), procurou-se validá-los utilizando-se duas semanas a mais (Tabela 5) e assim verificar a confiabilidade dos mesmos.

Tabela 5. Valores médios de pH do solo e intervalo de confiança a 95% para as semanas 22° e 24°, na A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub> e A<sub>3</sub> obtidos em campo. Table 5. Mean values of soil pH and 95% confidence interval for week 22 and 24, on the A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub> and A<sub>3</sub> obtained in the field.

S	N	Valor médio de pH estimado	Intervalo de confiança 95%
A <sub>1</sub>			
22°	51	4,85	(4,76 ; 4,95)
24°	51	4,81	(4,72 ; 4,91)
A <sub>2</sub>			
22°	58	4,71	(4,69 ; 4,73)
24°	58	4,70	(4,68 ; 4,72)
A <sub>3</sub>			
22°	52	4,94	(4,92 ; 4,96)
24°	52	4,82	(4,80 ; 4,84)

4. DISCUSSÃO

De acordo com a proposta de Tomé Jr. (1997) os valores de pH em CaCl<sub>2</sub> dos solos estudados estavam abaixo da faixa tolerável para o desenvolvimento das plantas, ou seja, abaixo da faixa de pH CaCl<sub>2</sub> de 5,5-6,5.

A diferença dos valores de pH destes solos se deve principalmente ao poder tampão do solo de cada solo, que diz respeito à resistência do solo em ter o valor de seu pH alterado. Assim, conforme Primavesi (2002) solos mais argilosos ou com argila de maior atividade ou solos com maiores teores de matéria orgânica possuem maior poder tampão do que solos mais arenosos ou argilosos com argila de baixa atividade ou solos com menores teores de matéria orgânica.

A condição de variação do pH ao longo do tempo corrobora com as afirmações também descritas por Farley; Fitter (1999) em estudos realizados em solo. A diminuição do pH, mesmo com baixa precipitação, pode ser atribuída, segundo Alexander (1977), à elevação da concentração de H<sup>+</sup> pelo aumento da decomposição da matéria orgânica (restos culturais da soja após colheita) advinda da atividade microbiana. Os processos de decomposição da matéria orgânica também afetam o poder tampão do solo, através da alteração da capacidade de troca de cátions.

Estes valores expressam uma baixa variabilidade no conjunto de valores observados, conforme classificação proposta por Pimentel Gomes (2000). Uma boa indicação de que provavelmente não existiram outliers que poderiam ser atribuídos à determinação, a digitação ou erro de amostragem.

Os baixos coeficientes de variação do pH CaCl<sub>2</sub>, podem ser explicados pela baixa concentração hidrogeniônica na solução do solo das áreas. Entretanto, o pH do solo segundo Dobermann (1994) por ser uma medida em escala logarítmica não é diretamente compatível com o coeficiente de variação de outros atributos do solo. No entanto, foi possível observar que as plantas cultivadas nessas áreas experimentaram mudanças nos valores de pH ao longo do seu

desenvolvimento fenológico. Condição que corrobora com as afirmações de Farley; Fitter (1999).

A variação dos valores de pH do solo ao longo do desenvolvimento fenológico das plantas também é descrita por Farley; Fitter (1999).

## 5. CONCLUSÕES

É possível estimar o pH do solo utilizando a técnica de análise de séries temporais, considerando o método de HW.

O modelo que apresentou melhor ajuste com os valores observados do pH do solo franco-arenoso foi o modelo aditivo de HW, e para solos argilosos foi o modelo multiplicativo, ambos por apresentarem menores valores de erro médio absoluto (EMA) e erro quadrático médio (EQM).

## 6. AGRADECIMENTOS

Agradecemos à Fazenda Três Marcos pelos recursos providos na execução deste trabalho, e a todos que contribuíram direta ou indiretamente para sua realização.

## 7. REFERÊNCIAS

- ADAMCHUK, V. I.; MORGAN, M. T.; LOWENBERG-DEBOER, J. M. A Model for Agro-Economic Analysis of Soil pH Mapping. *Precision Agriculture*, v. 5, p. 111-129, 2004.
- ALEXANDER, M. *Introduction to soil microbiology*. New York: John Wiley, 1977.472p.
- ALMEIDA, E. D. de. Nitrogênio e fósforo no solo de uma floresta de transição amazônica cerrado. 78f. 2005. **Dissertação...** (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Física e Meio Ambiente, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2005.
- BIUDES, M. S.; CAMPELO JÚNIOR, J. H.; ESPINOSA, M. M.; NOGUEIRA, J. S. Uso de séries temporais em análise de fluxo de seiva de mangabeira. *Ciência e Natura*, Santa Maria, v. 31, n. 1, p. 65-77, 2009.
- BOX, G. E. P.; JENKINS, G. M.; REINSEL, G. C. *Time Series Analysis Forecasting and Control*. Third edition. New Jersey: Prentice Hall. 1994. 532 p.
- CHILDS, D.; JORDAN, T.; BAUMAN, T.; ROSS, M. *Weed control guidelines for Indiana*. Purdue University, West Lafayette. 1997.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. *Manual de métodos de análise de solos*. 2 ed. rev. Rio de Janeiro: EMBRAPA SOLOS, 2011. 230p.
- ESPINOSA, M. M.; PRADO, S. M.; GHELLERE, M. Uso do modelo SARIMA na previsão do número de focos de calor para os meses de junho a outubro no Estado de Mato Grosso. *Ciência e Natura*, Santa Maria, v. 32, n. 2, p. 7-21, 2010.
- FARLEY, R. A.; FITTER, A. H. Temporal and spatial variation in soil resources in a deciduous woodland. Ecological Society. *Journal of Ecology*, v. 87, p. 688-696, 1999.
- FRANKLAND, J. C.; OVINGTON, J. D.; MACRAE, C. Spatial and seasonal variations in soil, litter and ground vegetation in some Lake District woodlands. *Journal of Ecology*, v. 51, p. 97-112, 1963.
- GOMES, F. P. *Curso de estatística experimental*. 14ª ed. Piracicaba: Degaspari, 2000.477p.
- GUJARATI, D. N. *Econometria básica*. 3 Ed. São Paulo: Makron Books LTDA, 2000, 845p.
- HUBER, D. M.; WILHELM, N. S. The role of manganese in resistance to plant diseases. In: Gramh, R. D.; et al. (eds.) **Manganese in soils and plants**. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1988. p. 155–173.
- KURTZWEIL, N. C.; GRAU, C. R.; MACGUIDWIN, A. E.; GASKA, J. M.; KAZUBOWSKI, A. W. Soil pH in relation to brown stem rot and soy bean cyst nematode. p. 177–185. **Proceedings of the 2002 Wisconsin Fertilizer, Aglime and Pest Management Conference**. 15-17 Jan. 2002. Madison, WI. University of Wisconsin, Madison. 2002.
- MARSCHNER, H. *Mineral nutrition of higher plants* (2nd ed.). London: Academic Press, 1995.
- MORETTIN, P. A.; TOLOI, C. M. C. **Análise de séries temporais**. 1 Ed. São Paulo: Editora Edgar Blücher, 2004. 535p.
- OLNESS, A. A. Description of the general effect of pH on the formation of nitrate in soils. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, v. 162, p. 549-556, 1999.
- PIMENTEL GOMES, F. *Curso de estatística experimental*. 14. ed. Piracicaba: Degaspari, 2000, 477p.
- PRIMAVESI, A. **Manejo ecológico do solo: a agricultura em regiões tropicais**. São Paulo: Nobel, 2002. 549p.
- SÁFADI, T. Uso de séries temporais na análise de vazão de água na represa de FURNAS, *Ciência e Agrotecnologia*, Lavras, v. 28, n. 1, p. 142-148, 2004.
- SARTORIS, A. **Estatística e introdução à econometria**. 1 ed. São Paulo: Editora Saraiva, 2003. 426 p.
- TOMÉ JR, J. B. **Manual para interpretação de análise de solo**. Guaíba-RS: Agropecuária, 1997. 247p.