

**PADRÃO DA ESTABILIDADE TEMPORAL DO CONTEÚDO DE ÁGUA NO SOLO EM  
UMA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO MARCELA**

LÉO FERNANDES ÁVILA<sup>1</sup>, CARLOS ROGÉRIO DE MELLO<sup>2</sup>; ANTÔNIO MARCIANO DA  
SILVA<sup>3</sup>, MARCELO CORRÊA PEREIRA<sup>4</sup>, EWERTON FELIPE DO PRADO MACHADO<sup>5</sup>

**RESUMO**

O entendimento de processos hidrológicos é relativamente complexo, principalmente do conteúdo de água no solo, uma vez que envolve a influência de diversos fatores. Visando representar adequadamente o conteúdo de água no solo com reduzido esforço, o conceito de estabilidade temporal tem sido muitas vezes empregado. Este trabalho foi realizado com o objetivo de analisar o padrão de estabilidade temporal do conteúdo de água na camada superficial do solo (0-0,20 m de profundidade), nas diferentes estações do ano, em uma bacia hidrográfica experimental do Ribeirão Marcela, Minas Gerais. Houve maior estabilidade temporal do conteúdo de água no solo no período de verão e outono e menor no inverno e primavera. Observou-se certa tendência de menor variabilidade da diferença relativa no período de estiagem, comparável ao período chuvoso

**Palavras-chaves:** Diferença relativa, umidade do solo, amostragem de variáveis hidrológicas:

**INTRODUÇÃO**

O emprego de monitoramento de variáveis hidrológicas têm se intensificado em diversos países buscando-se a caracterização de vários processos, com destaque para a dinâmica da água no solo. Devido à heterogeneidade destes processos naturais, é relativamente complexo estimar o valor representativo de variáveis relacionadas a esses processos. Neste sentido, VACHAUD et al. (1985) introduziram o conceito de estabilidade temporal com intuito de representar adequadamente o conteúdo de água no solo com reduzido esforço amostral. A estabilidade temporal possibilita a identificação de pontos no campo que refletem o comportamento médio de uma variável, ou seja, pontos que apresentam valores semelhantes ao valor médio. A identificação destes é fundamental no planejamento de programas de monitoramento de variáveis hidrológicas uma vez que permite a redução de custos relacionados à mensuração de dados de campo. SCHNEIDER et al. (2008) mencionam que esta metodologia foi aplicada em estudos relacionados ao conteúdo de água no solo em diversos países, em regiões com climas diferenciados e com amostras de diversos tamanhos. Como exemplo, tem-se os trabalhos de GRAYSON & WESTERN (1998), os quais determinaram a estabilidade temporal do conteúdo de água no solo em três bacias hidrográficas localizadas na Austrália e nos Estados Unidos, e GÓMEZ-PLAZA et al. (2000) que estudaram os fatores que influenciam na estabilidade temporal do conteúdo de água no solo em uma região de clima semi-árido da Espanha. Neste contexto, verifica-se que o estudo da estabilidade temporal pode ser utilizado para equacionar uma diversidade de questões relacionadas ao monitoramento da dinâmica da água no solo. Diante disso, objetiva-se neste trabalho analisar a estabilidade temporal do conteúdo de água no solo em uma bacia hidrográfica experimental do Ribeirão Marcela, Minas Gerais, avaliando-se o padrão de estabilidade para as estações do ano, com intuito de identificar pontos representativos para implementação do monitoramento contínuo do conteúdo de água no solo a um custo reduzido.

---

<sup>1</sup> Doutorando em Recursos Hídricos em Sistemas Agrícolas, DEG/ UFLA, avilalf@gmail.com

<sup>2</sup> Professor Adjunto, DEG/UFLA, crmello@ufla.br

<sup>3</sup> Professor Adjunto, DEG/UFLA, marcian@ufla.br

<sup>4</sup> Graduando em Engenharia Agrícola, DEG/UFLA, marceloengufla@gmail.com

<sup>5</sup> Graduando em Engenharia Agrícola, DEG/UFLA, felipe@hotmail.com.br

## **MATERIAL E MÉTODOS**

### **Área de estudo**

A área de estudo denominada de bacia hidrográfica do Ribeirão Marcela, localiza-se no município de São João Del Rei, MG, nas proximidades do distrito Jaguara, situando-se entre as coordenadas UTM “550169” e “552810” de longitude W e “7650163” e “7650989” de latitude S e entre as altitudes 960 e 1060 m. Possui uma área de drenagem de aproximadamente 470 ha e deságua diretamente no reservatório da usina hidroelétrica de Camargos/CEMIG. A bacia está inserida na unidade geomorfológica Planalto Campos das Vertentes, na região Alto Rio Grande, MG.

### **Estabilidade temporal do conteúdo de água no solo**

Os pontos para monitoramento da umidade do solo foram locados por meio de um aparelho GPS de alta precisão, partindo-se de um esquema georreferenciado prévio. O monitoramento foi conduzido na camada superficial do solo (0-20 cm), utilizando-se um equipamento portátil Time Domain Reflectometry (TDR), fabricado pela IMKO, modelo TRIME – FM, com hastes de 20 cm de comprimento, o qual fornece leitura do conteúdo de água no solo com base em volume ( $\text{cm}^3/\text{cm}^3$ ), após calibração prévia do mesmo, seguindo metodologia aplicada por van den ELSEN et al. (2003).

O monitoramento do conteúdo de água no solo foi efetuado entre maio de 2007 e maio de 2008, com periodicidade quinzenal de leituras.

Para o estudo da estabilidade temporal, aplicaram-se duas técnicas da estatística não-paramétrica (VACHAUD et al., 1985): diferença relativa, que faz uma análise dos desvios entre os valores observados individualmente e a média dos mesmos e o teste não-paramétrico de Spearman, o qual é utilizado como ferramenta estatística para indicar o grau de concordância da variabilidade espacial obtida em diferentes tempos. A técnica das diferenças relativas, que permite verificar a estabilidade relacionada ao tempo da variabilidade espacial dos processos, foi aplicada na identificação de pontos para o monitoramento com reduzido esforço amostral. As diferenças relativas médias, expressas em termos percentuais, associadas ao respectivo desvio-padrão no tempo e ordenadas em ordem crescente, permitiu detectar as posições que representam a média geral do conteúdo de água no solo, com determinado nível de confiabilidade. A diferença relativa média pode ser calculada pela expressão:

$$\bar{\delta}_{ij} = \frac{\theta_{ij} - \bar{\theta}_j}{\bar{\theta}_j} \quad (1)$$

em que  $\bar{\delta}_{ij}$  é a diferença relativa média na posição i no tempo j;  $\theta_{ij}$  é o valor do conteúdo de água no solo na posição i e no tempo j;  $\bar{\theta}_j$  é a média do conteúdo de água no solo, em todas as posições, no tempo j. Conforme VACHAUD et al. (1985), um valor constante ou uma pequena variação de  $\bar{\delta}_{ij}$  ao longo do tempo, para cada posição j, é indicação de estabilidade temporal.

Posteriormente, as diferenças relativas médias foram plotadas com seus respectivos desvios-padrão para cada estação do ano, visando a identificação de pontos de maior precisão para estimativa da média geral do conteúdo de água no solo nas diferentes estações do ano (inverno, primavera, verão, outono). Neste contexto, valores próximos de zero da diferença relativa média indicam maior estabilidade temporal do processo, enquanto menor desvio padrão representa menor variabilidade ou dispersão do conteúdo de água no solo em torno da média e, conseqüentemente, maior confiabilidade da medição do ponto escolhido para estimativa da média geral do conteúdo de água no solo. Neste sentido, o ponto a ser escolhido como representativo foi aquele que apresentou, simultaneamente, valores próximos de zero da diferença relativa média e menor desvio-padrão (VACHAUD et al., 1985; GONÇALVES et al., 1999).

Em seqüência se aplicou o teste de Spearman, com o intuito de analisar a existência de tendências temporais na série histórica dos dados do conteúdo de água no solo. As tendências temporais podem ocorrer devido a possíveis mudanças graduais do uso do solo, bem como à própria alteração de seu comportamento, ocasionados eventualmente pelo manejo do solo, podendo produzir

alterações de estacionaridade da série histórica. A estatística do teste de Spearman (T) pode ser obtida por:

$$T = \frac{cs}{\sqrt{\text{var}(cs)}} \quad (2)$$

onde cs é o coeficiente de correlação de Spearman e var (cs) é a variância do coeficiente de correlação de Spearman. Considerando um nível de significância de 5% ( $\alpha=0,05$ ), pela Tabela de Z obtém-se  $Z_{0,975}=1,96$ . Assim, se  $|T| > Z_{1-\frac{\alpha}{2}}$ , rejeita-se a hipótese  $H_0$  de que as observações não

apresentam tendência temporal. O coeficiente de correlação de Spearman (cs) e a variância do coeficiente de correlação são obtidos, respectivamente, por:

$$cs = 1 - \frac{6 \times \sum_{i=1}^N (F_i - f_i)^2}{N^3 - N} \quad (3)$$

em que  $f_i$  corresponde à posição temporal da série histórica e  $F_i$  à posição em que as observações associadas a  $f_i$  ocupam com a série histórica ordenada em ordem crescente e N corresponde ao número de dados da série.

$$\text{var}(cs) = \frac{1}{N-1} \quad (4)$$

O coeficiente de correlação de Spearman (cs) foi empregado para avaliar o grau de correlação da variável espacial conteúdo de água no solo nos diferentes tempos de amostragem. Um valor de cs igual à unidade corresponderá à posições idênticas em todos os pontos de medição, ou seja, estabilidade perfeita entre dois tempos. Neste sentido, quando mais próximo de 1 for cs, mais estável será o processo (Campos, 1983; Vachaud et al., 1985).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1 são apresentados os valores da estatística do teste de Spearman, coeficiente de correlação de Spearman e lâmina de precipitação acumulada durante o período de monitoramento na bacia hidrográfica do Ribeirão Marcela. Considerando o nível de significância de 5%, observa-se que as séries de dados do conteúdo de água no solo para o período de verão (26/01/08 a 09/03/08) não apresentaram significância pelo Teste de Spearman ( $|T| < Z_{0,975}$ ), ou seja, deve-se aceitar a hipótese  $H_0$  de que os dados não apresentam tendência temporal. Por outro lado, na primavera (13/10/07 a 21/12/07) apresentou significância estatística do teste em todo período, ou seja, a este nível de probabilidade, deve-se rejeitar a hipótese  $H_0$ , uma vez que os dados, neste período, apresentam tendência temporal. No inverno (24/06/07), foi constatada quatro eventos nos quais a hipótese de nulidade pôde ser rejeitada, ou seja, com os dados apresentando consideravelmente tendência temporal. No outono (23/03/08) apresentou apenas um evento com significância estatística do teste. Com base nestas considerações, se verifica tendência temporal na série compreendida entre o período seco e o de reumidecimento do solo.

Analisando-se os coeficientes de correlação de Spearman (cs) calculados para período monitorado, observa-se uma variação significativa dos valores de cs em relação ao tempo, com maiores valores de cs para verão e outono, indicando maior estabilidade do processo neste período. Por outro lado, se verificou que os menores valores de cs (valores negativos), para inverno e primavera, indicando baixa correlação do conteúdo de água no solo na escala temporal. Com base nisto, constata-se que no período chuvoso, ou seja, período em que o solo se encontra com o teor de água mais elevado, apresenta maior estabilidade temporal na escala espacial, comparável ao período seco.

**XIX CONGRESSO DE PÓS-GRADUAÇÃO DA UFLA**  
**27 de setembro a 01 de outubro de 2010**

---

Tabela 1- Estatística do teste de Spearman (T), coeficiente de correlação de Spearman (cs) em diferentes datas de amostragem e lâmina de precipitação acumulada (P) durante o respectivo período de monitoramento da umidade do solo

Data	P	T	cs
24/06/07		-1,58 <sup>ns</sup>	-0,25
25/07/07	21	-0,71 <sup>ns</sup>	-0,09
12/08/07	7	-2,76*	-0,36
26/08/07	0	-3,84*	-0,49
15/09/07	0	-4,03*	-0,51
20/09/07	19	-2,87*	-0,36
13/10/07	0	-4,17*	-0,53
27/10/07	87	-4,60*	-0,58
09/11/07	46	-4,32*	-0,55
22/11/07	66	-2,61*	-0,33
08/12/07	47	-3,46*	-0,44
21/12/07	118	-1,75*	-0,22
26/01/08	257	0,34 <sup>ns</sup>	0,05
09/02/08	193	0,62 <sup>ns</sup>	0,09
24/02/08	92	0,41 <sup>ns</sup>	0,06
09/03/08	94	-1,41 <sup>ns</sup>	-0,21
23/03/08	186	-0,16 <sup>ns</sup>	-0,02
04/04/08	55	2,44*	0,38
20/04/08	120	1,60 <sup>ns</sup>	0,22
02/05/08	14	-0,51 <sup>ns</sup>	-0,08

ns= não significativo; \* significativo a 5% de probabilidade

Na Figura 1 está apresentado as diferenças relativas médias associadas aos respectivos desvio padrão para as diferentes estações do ano. Verificam-se percentuais menores que 30% para inverno e primavera. No verão, a diferença relativa média foi de aproximadamente 80%, enquanto que no outono, este percentual foi de 60%. Para inverno, primavera e outono, os valores encontrados foram semelhantes aos encontrados por GÓMEZ-PLAZA et al. (2000), que obtiveram diferenças relativas superiores a 60% em ambiente semi-árido com alta participação da evapotranspiração no comportamento do conteúdo de água no solo. Já no período de verão, os valores foram ligeiramente superiores aos encontrados pelos mesmos autores.

Neste aspecto, constata-se variabilidade das diferenças relativas médias ao longo das estações do ano, concluindo-se que para escolha dos pontos, deve-se ser considerado o período de monitoramento para melhor representatividade da área. Analisando-se os valores do desvio padrão, observa-se diminuição significativa da variabilidade da diferença relativa média no verão, e valores ligeiramente superiores no outono. No entanto, no inverno e primavera, nota-se aumento da variabilidade da diferença relativa média na área. Este fato mostra que o período de estiagem apresentar tendência de menor variabilidade da diferença relativa.

**XIX CONGRESSO DE PÓS-GRADUAÇÃO DA UFLA**  
27 de setembro a 01 de outubro de 2010

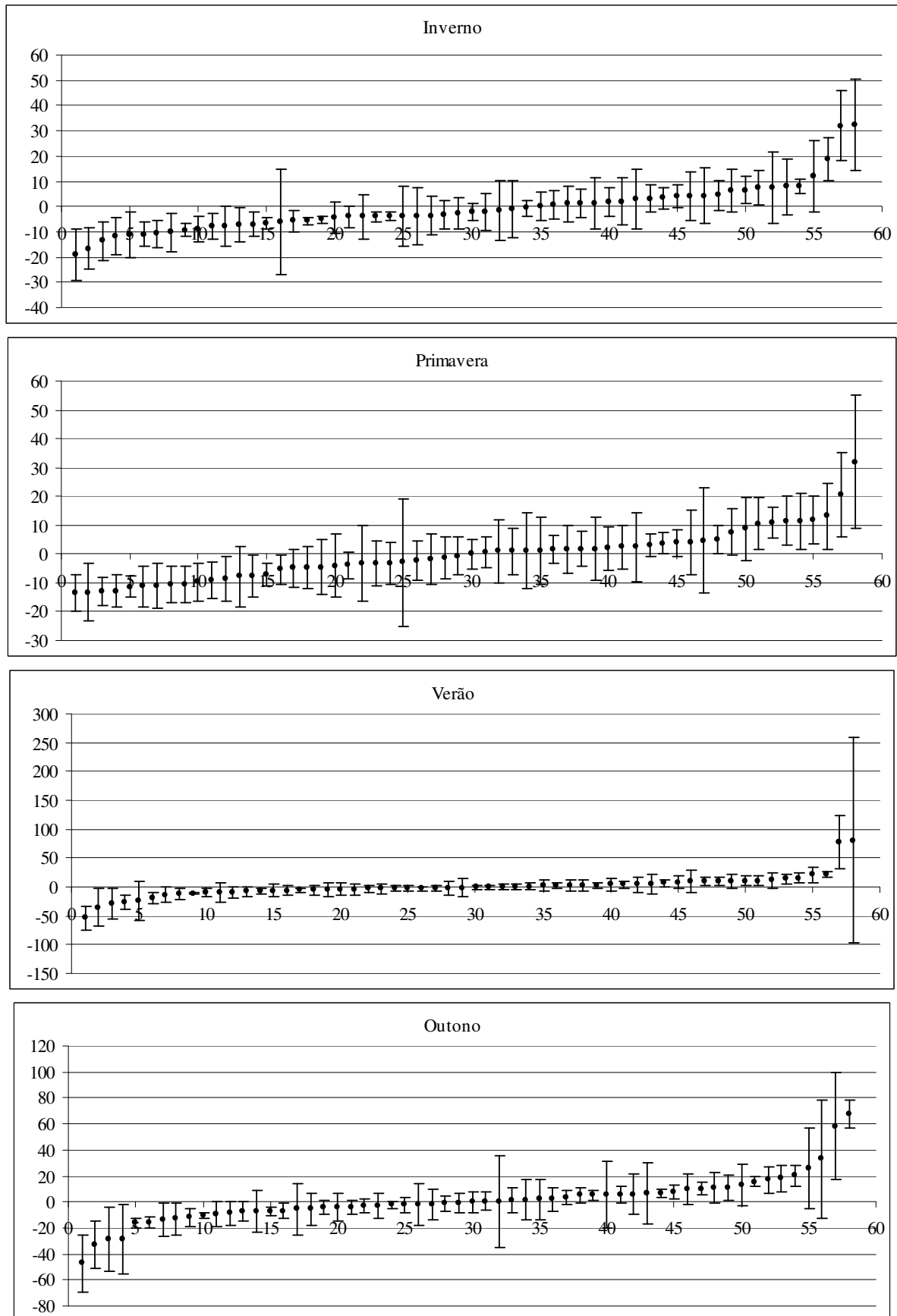


Figura 1- Diferença relativa média e respectivo desvio padrão do conteúdo de água no solo (%) para as diferentes estações do ano (inverno, primavera, verão e outono)

Para as áreas de pastagem e Mata Atlântica os valores foram semelhantes aos encontrados por Comegna & Basile (1997) e Gonçalves et al. (1999), com percentuais menores que 15%. No caso da área de vegetação de várzea e Mata Atlântica, apesar dos valores serem relativamente maiores em ambos os períodos, estes foram inferiores aos encontrados por Gómez-Plaza et al. (2000), que obtiveram diferenças relativas superiores a 60% em ambiente semi-árido com alta participação da evapotranspiração no comportamento do conteúdo de água no solo.

Para o período de inverno foi escolhido o ponto 9 como o mais representativo, o qual apresentou a menor diferença relativa média associada ao menor desvio padrão, com valores da diferença relativa em torno de 3,0 e do desvio padrão em torno de -0,55%. Na primavera, o ponto 5 apresentou maior precisão, com valores da diferença relativa de -0,01 e do desvio padrão próximo de 5%. Já no verão, o ponto 28 foi o mais preciso, com diferença relativa igual a -0,13 e desvio padrão próximo a 5%. Finalmente, no outono, o ponto 31 se sobressaiu, com diferença relativa próximo de 0 e desvio padrão em torno de 7%.

### **CONCLUSÃO**

A estabilidade temporal do conteúdo de água no solo é maior no verão e outono e menor no inverno e na primavera.

O período de estiagem apresentou tendência de menor variabilidade de diferença relativa, comparável ao período chuvoso.

### **REFERÊNCIAL BIBLIOGRÁFICO**

CAMPOS, H. Estatística experimental não-paramétrica. 4.ed. Piracicaba, ESALQ/FEALQ, 1983. 349p.

ELSEN, E. van den; XIE, Y.; LIU, B.; STOLT, J.; WU, Y.; TROUWBORST, K.; RITZEMA, C. J. Intensive water content and discharge measurement system in a hillslope gully in China. *Catena*, v. 54, p. 93-115, 2003.

VACHAUD, G.; PASSERAT DE SILANS, A.; BALABANIS, P. & VAUCLIN, M. Temporal stability of spatially measured soil water probability density function. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 49:822-827, 1985.

GONÇALVES, A. C. A.; FOLEGATTI, M.V. & SILVA, A.P. Estabilidade temporal da distribuição espacial da umidade do solo em área irrigada por pivô-central. *R. Bras. Ci. Solo*, 23:155-164, 1999.

GÓMEZ-PLAZA, A.; ALVAREZ-ROGEL, J. & ALBALADEJO, J. Spatial patterns and temporal stability of soil moisture across a range of scales in a semi-arid environment. *Hydrol.Process*, 14: 1261-1277, 2000.

GRAYSON, R.B. & WESTERN, A.W. Towards areal estimation of soil water content from point measurements: time and space persistence of mean response. *J. Hydrol.*, 207: 68-82, 1998.

SCHNEIDER, K.; HUISMAN, J.A.; BREUER, L.; ZHAO, Y. & FREDE, H. G. Temporal stability of soil moisture in various semi-arid steppe ecosystems and its application in remote sensing. *J. Hydrol.*, 359:16-29, 2008.

van den ELSEN, E.; XIE, Y.; LIU, B.; STOLT, J. WU, Y; TROUWBORST, K. & RITZEMA, C.J. Intensive water content and discharge measurement system in a hillslope gully in China. *Catena*, 54: 93-115, 2003.