

ROGÉRIO OLIVEIRA DE MELO

ESTABILIDADE TEMPORAL E VARIABILIDADE DA UMIDADE DO SOLO EM
UMA BACIA EXPERIMENTAL NO SEMIÁRIDO PERNAMBUCANO

2013



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO – UFRPE
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO – PRPPG
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA – PPGEA

ESTABILIDADE TEMPORAL E VARIABILIDADE DA UMIDADE DO SOLO EM
UMA BACIA EXPERIMENTAL NO SEMIÁRIDO PERNAMBUCANO

Tese apresentada à Universidade Federal Rural de Pernambuco como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola, para a obtenção do título de “Doutor”.

Orientador

Prof. Dr. Abelardo Antônio de Assunção Montenegro.

RECIFE

2013

Ficha catalográfica

M528e Melo, Rogério Oliveira de
Estabilidade temporal e variabilidade da umidade do solo
em uma bacia experimental no semiárido pernambucano /
Rogério Oliveira de Melo. – Recife, 2013.
89 f. : il.

Orientador: Abelardo Antônio de Assunção Montenegro.
Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade
Federal Rural de Pernambuco, Departamento de Tecnologia Rural,
Recife, 2013.

Referências.

1. Caatinga 2. Sonda capacitiva 3. Bacia experimental
4. Variabilidade da umidade 5. Sonda de nêutrons
I. Montenegro, Abelardo Antônio de Assunção, orientador
II. Título

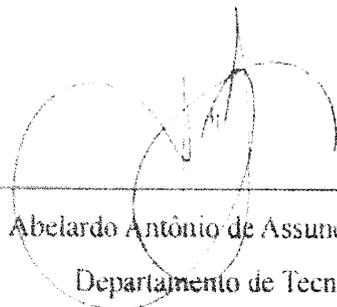
CDD 630

ESTABILIDADE TEMPORAL E VARIABILIDADE DA UMIDADE DO SOLO EM UMA
BACIA EXPERIMENTAL NO SEMIÁRIDO PERNAMBUCANO

ROGÉRIO OLIVEIRA DE MELO

Tese defendida e aprovada em 28 de fevereiro de 2013 pela banca examinadora:

Orientador:

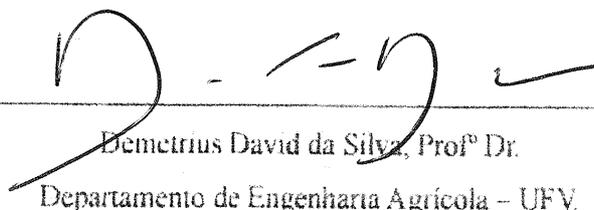


Abelardo Antônio de Assunção Montenegro, Prof^o PhD.
Departamento de Tecnologia Rural - UFRPE

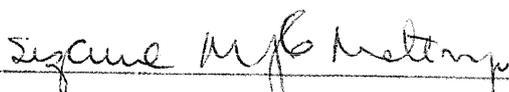
Examinadores:



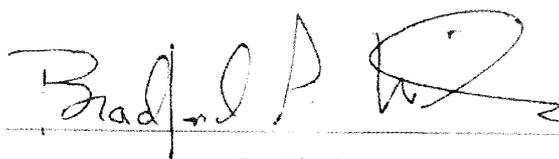
Edivan Rodrigues de Souza, Prof^o Dr
Departamento de Solos - UFRPE.



Demetrius David da Silva, Prof^o Dr.
Departamento de Engenharia Agrícola - UFV.



Suzana Maria Gico Lima Montenegro, Prof^o PhD.
Departamento de Engenharia Civil - UFPE.



Bradford Wilcox, Prof^o Dr

Department of ecosystem science and management - Texas A&M University.

“A alegria não chega apenas no encontro do achado, mas faz parte do processo da busca. E ensinar e aprender não pode dar-se fora da procura, fora da boniteza e da alegria.”

Paulo Freire

"Perdido seja para nós aquele dia em que não se dançou nem uma vez! E falsa seja para nós toda a verdade que não tenha sido acompanhada por uma gargalhada!"

Friedrich Nietzsche

“A provação vem, não só para testar o nosso valor, mas para aumentá-lo; o carvalho não é apenas testado, mas enrijecido pelas tempestades.”

Lettie Cowman

“Não temas, porque eu sou contigo; não te assombres, porque eu sou o teu Deus; eu te fortaleço, e te ajudo, e te sustento com a minha destra fiel.”

Isaías 41:10

Aos meus pais Amaro e Marta,
ao meu irmão Eduardo, a minha esposa e filho
Lucicleide e Guilherme, pelo amor.

DEDICO.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar a Deus, por tudo que me permite acontecer.

Aos meus queridos pais, Amaro Braz de Oliveira e Marta Melo de Oliveira, que sempre se dedicaram e me ensinaram os valores da vida.

Ao meu irmão e companheiro Eduardo Oliveira de Melo, que sempre confiou no meu sucesso.

A minha esposa Lucicleide Pereira, pelo amor, amizade e incentivo em todos os momentos.

Ao meu filho Guilherme de Souza Melo, benção maior de minha vida, pela sua alegria, ternura, carinho e afeto.

A Universidade Federal Rural de Pernambuco e ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola, pela oportunidade em realizar o Doutorado.

Ao Professor Dr. Abelardo Montenegro pela dedicação em orientar este trabalho.

Aos amigos do Laboratório de Água e Solo do DTR-UFRPE, Júlio, Valdemir, Tatyana, Adriana Figueiredo, Thaís, Adriano, Eduardo, José Roberto, Glécio, Cleene, Thalita, Rafaele, Paula, Yuri e Hugo pela amizade construída e trabalho em conjunto, empenho, disponibilidade e alegria que demonstraram durante todo o período de coleta de dados e análise das informações.

Ao amigo companheiro Edivaldo, pelo apoio no desenvolvimento das atividades de campo, e todos moradores da bacia do Jatobá, Dona Guida, Paulo Zeca, Adelmo, José Roberto, Francisca, Reginaldo, pela receptividade nordestina típica.

Aos companheiros de curso Albert Einstein, Adriana Guedes, José Aécio, José Francisco e Carmem Cristina, pelas colaborações.

Aos amigos funcionários da UFRPE, José Luiz (Lulinha) e Antônio Jr. (Granjinha) pelos momentos de descontração e amizade.

Aos professores que comigo formam a República de Professores do IFPE – Garanhuns: Francisco Germano, Márcio Carneiro, Tiago Barros, Wilker Victor, Elmano Ramalho, Wellinsílvio Costa, Elmer Xavier, Caio Henrique, pelo incentivo e votos de confiança.

Ao demais amigos que constroem o IFPE – Campus Garanhuns. Todos os professores, técnicos administrativos e demais funcionários, pela companhia e colaboração. Em especial ao Diretor Geral José Carlos de Sá, pela compreensão durante todo o processo.

A todos que colaboraram, meus sinceros agradecimentos.

SUMÁRIO

	Página
RESUMO GERAL	10
GENERAL ABSTRACT	12
INTRODUÇÃO GERAL	14
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	19
CONSIDERAÇÕES FINAIS	89
CAPÍTULO 1: ESTABILIDADE TEMPORAL DA UMIDADE DO SOLO EM UMA BACIA HIDROGRÁFICA NO SEMIÁRIDO PERNAMBUCANO.	
Resumo	23
Abstract	25
Introdução	26
Material e métodos	29
Resultados e discussão	37
Conclusões	50
Referências	51
CAPÍTULO 2: DINÂMICA TEMPORAL DA UMIDADE DO SOLO EM UMA BACIA HIDROGRÁFICA NO SEMIÁRIDO PERNAMBUCANO	
Resumo	56
Abstract	57
Introdução	58
Material e métodos	61
Resultados e discussão	69
Conclusões	83
Referências	84

Lista de Tabelas	Página
Capítulo I	
Tabela 1. Características físicas do solo nos pontos de monitoramento da área experimental.	31
Tabela 2. Parâmetros obtidos nas Equações de calibração da sonda de nêutrons e da sonda capacitiva Diviner 2000 [®] para as profundidades avaliadas.	33
Tabela 3. Estatística descritiva da umidade do solo ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$), durante o período de monitoramento utilizando a sonda de nêutrons, nas profundidade 0,0 – 0,2 m e 0,2 – 0,4m.	38
Tabela 4. Estatística descritiva da umidade do solo ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$), durante o período de monitoramento utilizando a sonda capacitiva Diviner 2000 [®] , nas profundidade 0 – 0,1 m e 0,1 – 0,2 m.	39
Tabela 5. Diferença Relativa Média (DRM) e Desvio Padrão (DP) dos pontos representativos da umidade volumétrica na área da bacia hidrográfica do Jatobá, medida com sonda de nêutrons.	40
Tabela 6. Diferença Relativa Média (DRM) e Desvio Padrão (DP) dos pontos representativos da umidade volumétrica na área da bacia hidrográfica do Jatobá, medida com sonda capacitiva Diviner 2000 [®] .	42
Tabela 7. Coeficientes de determinação das equações de correlação entre os pontos considerados estáveis e a média dos locais de monitoramento para cada área estudada, e Erro Quadrático Médio entre os valores de umidade dos pontos estáveis e as médias, para o monitoramento realizado com a SN e SCD.	44
Tabela 8. Valores de extremos de Diferença Relativa Média da umidade do solo e seus Desvio-padrão para o monitoramento realizado com a sonda de nêutrons.	45
Tabela 9. Valores de extremos de Diferença Relativa Média da umidade do solo e seus Desvio-padrão para o monitoramento realizado com a sonda capacitiva Diviner 2000 [®] .	45
Tabela 10. Coeficientes de correlação de Spearman, e média da umidade do solo para os dados obtidos com sonda de nêutrons, nas áreas de caatinga e pasto, para as profundidades 0,0 – 0,2 m e 0,2 – 0,4 m.	48
Tabelas 11. Coeficientes de correlação de Spearman, para os dados de umidade volumétrica obtidos com sonda capacitiva Diviner 2000 [®] , nas áreas de caatinga e pasto, para as profundidades 0,0 – 0,1 m e 0,1 – 0,2 m.	49
Capítulo II	
Tabela 1. Parâmetros obtidos nas Equações de calibração da sonda de nêutrons para as profundidades avaliadas, e diferentes locações.	65
Tabela 2. Características físicas do solo nos pontos de monitoramento da área experimental, com distinção dos tratamentos ao qual cada um pertence.	66
Tabela 3. Critério para avaliação da efetividade da água no solo.	69
Tabela 4. Valores médios da umidade volumétrica do solo na bacia do Jatobá, nas diferentes condições de superfície avaliadas, durante o período de monitoramento nas profundidades 0,0 – 0,2 m e 0,2 – 0,4 m.	73

Tabela 5. Faixa de valores dos ângulos para confecção da rosa dos ventos referente as disposições diferenciadas do terreno; porção da área da bacia exposta a cada direção e pontos localizados em cada vertente.	80
Tabela 6. Umidade volumétrica média nas áreas da bacia hidrográfica do Jatobá, sob mesma condição de cobertura vegetal e diferentes posições de vertente	81
Tabela 7. Efetividade relativa percentual da água no solo para os diferentes tratamentos e profundidades avaliadas.	82

Lista de Figuras	Página
Capítulo I	
Figura 1. Bacia experimental do riacho Jatobá, localizada no município de Pesqueira.	29
Figura 2. Distribuição das unidades de solo na bacia hidrográfica do Jatobá, e localização dos pontos de monitoramento. Fonte: EMBRAPA – 2000.	30
Figura 3. Monitoramento da umidade do solo na bacia hidrográfica do riacho Jatobá utilizando sonda de nêutrons (A) e a sonda capacitiva Diviner 2000® (B).	32
Figura 4. Diferença relativa média e respectivo desvio padrão da umidade do solo, medida com a SN, nas áreas de caatinga da bacia hidrográfica experimental do Jatobá durante o período chuvoso nas profundidades de 0 – 0,20m (a) e de 0,20 – 0,40m (b), e durante o período de estiagem, nas camadas 0 – 0,20m (c) e de 0,20 – 0,40m (d).	41
Figura 5. Diferença relativa média e respectivo desvio-padrão da umidade do solo, medida com a SN, nas áreas de pasto da bacia hidrográfica experimental do Jatobá durante o período chuvoso nas profundidades de 0 – 0,20m (a) e de 0,20 – 0,40m (b), e durante o período de estiagem, nas camadas 0 – 0,20m (c) e de 0,20 – 0,40m (d).	41
Figura 6. Diferença relativa média e respectivo desvio-padrão da umidade do solo, medida com a SCD, nas áreas de caatinga da bacia hidrográfica experimental do Jatobá durante o período chuvoso nas profundidades de 0 – 0,1 m (a) e de 0,1 – 0,2 m (b), e durante o período de estiagem, nas camadas 0 – 0,1 m (c) e de 0,1 – 0,2 m (d).	42
Figura 7. Diferença relativa média e respectivo desvio-padrão da umidade do solo, medida com a SCD, nas áreas de pasto da bacia hidrográfica experimental do Jatobá durante o período chuvoso nas profundidades de 0 – 0,1 m (a) e de 0,1 – 0,2 m (b), e durante o período de estiagem, nas camadas 0 – 0,1 m (c) e de 0,1 – 0,2 m (d).	43
Capítulo II	
Figura 1. Bacia experimental do riacho Jatobá, localizada no município de Pesqueira.	61
Figura 2. Pluviômetro automático instalado na área da bacia do Jatobá.	62
Figura 3. Tubos de acesso para sonda de Nêutrons instalado em um ponto de monitoramento da Bacia Hidrográfica do Jatobá (A); Monitoramento da umidade do solo na bacia hidrográfica do riacho Jatobá utilizando sonda de nêutrons (B).	63
Figura 4. Área com Caatinga Natural (A) e Pasto (B) monitoradas na bacia hidrográfica do riacho Jabobá.	63
Figura 5. Mapa de solos da bacia hidrográfica do Jatobá com a localização dos pontos de monitoramento	64
Figura 6. Calibração local da sonda de nêutrons: Retirada de amostra indeformada (A); Avaliação da profundidade de amostragem (B); Detalhe do furo após retirada da amostra (C); Tratamento da amostra para evitar perda de umidade (D).	65

Figura 7. Representação da cobertura vegetal em pontos da bacia experimental do Jatobá.	67
Figura 8. Padrão utilizado para determinar a porcentagem de cobertura do solo, com a projeção fotográfica. Fonte: Santos, 2010.	67
Figura 9. Distribuição temporal da precipitação na bacia do Jatobá no período de outubro/2010 a dezembro/2011, considerando a ocorrência na porção à montante e jusante ao ponto médio da bacia.	70
Figura 10. Variação temporal da umidade do solo para as condições de PJ e CNJ nas profundidades 0,0 – 0,2 m (a) e 0,2 – 0,4 m (b) e nas áreas PJ e CNM nas profundidades 0,0 – 0,2 m (c) e 0,2 – 0,4 m (d).	71
Figura 11. Variação percentual da umidade do solo entre os monitoramentos consecutivos, nas profundidades 0,0 – 0,2 m (a) e 0,2 – 0,4 m (b).	75
Figura 12. Umidade do solo na bacia do Jatobá, nos diferentes condições monitoradas para as profundidades 0,0 – 0,2 m (a) e 0,2 – 0,4 m (b).	76
Figura 13. Índice de cobertura vegetal em parcelas experimentais na área da bacia do Jatobá. PousioJ e PousioM – Parcelas em Pousio localizada à Jusante e Montante; BarrJ e BarrM – Parcelas com Barramentos de pedras e cobertura morta, localizadas à Jusante e Montante.	77
Figura 14. Frequência acumulada para os dados de umidade do solo na bacia do Jatobá, nas profundidades 0,0 – 0,2 m (a) e 0,2 – 0,4 m (b).	78
Figura 15. Evolução dos coeficientes de variação do valores da umidade média do solo para as diferentes condições de cobertura e localização monitoradas.	79
Figura 16. Mapa de orientação de vertentes da bacia hidrográfica do Jatobá com discretização da rede de drenagem e localização dos pontos de monitoramento da umidade do solo.	79

RESUMO GERAL

A umidade do solo apresenta importância reconhecida para diversos processos agrícolas. Do domínio de informações referentes ao seu comportamento depende a solução de problemas relacionados à sua disponibilidade para utilização pelas plantas; ao manejo de irrigação; determinação da época mais adequada ao plantio; implantação de sistemas de drenagem, bem como sua influência em fenômenos associados aos processos erosivos. Em áreas de clima semiárido, onde a disponibilidade torna-se menor em função do comportamento específico das precipitações nessa região, a análise da dinâmica de umidade do solo apresenta expressão ainda maior. O objetivo desse estudo foi avaliar o comportamento temporal da umidade do solo sob diferentes condições de cobertura vegetal e tipos de solo, em uma bacia hidrográfica experimental localizada na região de Pesqueira, semiárido do Estado de Pernambuco. Para isso foi instalada uma rede de monitoramento com 18 locais de medição, utilizando sondas do tipo atenuação de nêutrons e capacitiva, ambas possuindo calibração local. No primeiro capítulo, os dados de umidade registrados para ambas sondas foram separados de acordo com o tipo de cobertura vegetal presente nos locais de medição, permitindo agrupá-los em áreas com cobertura do tipo Caatinga Natural e em áreas de pasto, com leituras na camada superficial e subsuperficial. Os conjuntos de dados formados foram ainda separados em períodos distintos relacionados à ocorrência de chuvas ou de estiagem na região. Posteriormente, de acordo com o conceito de estabilidade temporal, foi aplicada a técnica de diferenças relativas médias e desvios padrão, com a finalidade de encontrar pontos que fossem capazes de representar o comportamento temporal da média dos demais locais de monitoramento, sob as mesmas condições avaliadas. Para o segundo capítulo, os pontos de monitoramento ainda foram divididos de acordo com sua localização na área da bacia, possibilitando a divisão em locais de Caatinga Natural e pasto situados a montante e a jusante do ponto médio da bacia, considerado a partir do seu comprimento axial. Essa distribuição também agrupa os pontos de acordo com os tipos de solos presentes na bacia, havendo predominância de Argissolo Amarelo na porção acima do ponto médio e Neossolos Regolítico e Litólico abaixo. Com a finalidade de descrever a dinâmica temporal da umidade foi feita uma análise estatística descritiva dos dados registrados com a sonda de nêutrons, além da avaliação das respostas à ocorrência das precipitações antecedentes aos monitoramentos. Com base nas análises, foi possível identificar pontos representativos do comportamento médio daqueles sob condições semelhantes, e uma análise de validação desse método apresentou resposta compatível com casos citados pela literatura. A avaliação da dinâmica da umidade

permitiu verificar que esta apresentou elevada variabilidade no tempo durante o período experimental, e que os diferentes tipos de solos da bacia condicionam aspectos distintos quanto aos registros de umidade, sendo a umidade do solo a montante na bacia maior que na porção mais a jusante. Verificou, também, que os tipos de solo associados ao fator cobertura vegetal determinam o padrão de variação da umidade. Aliado a isso, constatou-se que a variação temporal da umidade, sob as diferentes condições avaliadas, está diretamente relacionada com o padrão de distribuição temporal das precipitações na área monitorada.

GENERAL ABSTRACT

Soil moisture has recognized importance for various agricultural processes. Domain of information concerning the performance depends the solution of problems related to their availability for use by plants, the irrigation management; determining the most appropriate time for planting, implementation of drainage systems as well as their influence on phenomena associated with processes erosion. In semi-arid climate areas, where availability becomes smaller due to the specific behavior of rainfall in this region, the analysis of the dynamics of soil moisture presents even greater expression. The objective of this study was to evaluate the temporal behavior of soil moisture under different vegetation cover and soil types in an experimental watershed located in the region of Pesqueira, semiarid region of Pernambuco state. For it was installed a monitoring network with 18 measurement sites, using probes the type of neutron attenuation and capacitive, both with local calibration. In the first chapter, the moisture data recorded for both probes were separated according to the type of vegetation present in the local measurement, allowing group them in areas with coverage type of pasture and native caatinga, with readings at the surface and subsurface positions. The data sets were also formed separated by distinct periods related to rainfall or drought in the region. Subsequently, according to the concept of temporal stability it was applied the technique of mean relatives differences and standard deviations aiming to find points that were able to represent the mean temporal behavior of the remaining monitoring locations under the same conditions evaluated. In the second chapter, the monitoring points were also divided according to their location in the basin, allowing the division sites in scrub and native pasture located upstream and downstream of the midpoint of the basin, considered from its axial length. This distribution also groups the points according to the soil types present in the basin, and the predominance of Yellow Argisol in the portion above the midpoint and Regolithic and Litholic Neosol below. In order to describe the moisture temporal dynamics it was carried out a descriptive statistical analysis of the data recorded with the neutron probe, as well as the evaluation of responses to the occurrence of the antecedent precipitation monitoring. Based on the analyzes, it was possible to identify points representing the average behavior of those under similar conditions, and that the validation of this method showed response consistent to the cases cited in the literature. Although it was possible to check the behavior of the variation of moisture levels for each of the points over time. The evaluation of the moisture dynamics showed high variability in time during the experimental period, and that different soil types affect the basin moisture distribution, with the soil moisture upstream in the basin higher than

the portion downstream. There also, soil types associated to the vegetation cover factor determined the pattern of moisture variation. Allied to this, was found that the temporal moisture variation under different conditions evaluated is directly related to the temporal distribution pattern of rainfall in the monitored area.

INTRODUÇÃO GERAL

De acordo com Pereira Júnior (2007), a última delimitação do semiárido brasileiro, realizada em 10 de março de 2005, adotou como critérios técnicos: I - precipitação pluviométrica média anual inferior a 800 milímetros (isoieta de 800mm); II - Índice de aridez de até 0,5 calculado pelo balanço hídrico que relaciona as precipitações e a evapotranspiração potencial, no período entre 1961 e 1990; e III - risco de seca maior que 60%, tomando-se por base o período entre 1970 e 1990. Nessa atualização, a área classificada oficialmente como semiárido brasileiro teve um acréscimo de 8,66% em relação a classificação anterior, aumentando de 892.309 km² para 982.563 km². O semiárido brasileiro é um dos mais úmidos do planeta, com média anual de 700 mm ano⁻¹, enquanto na maioria das zonas áridas de outros países a média anual é de 80 a 250 mm ano⁻¹ (Melo Filho & Souza, 2006). Segundo Melo (2008), por se tratar de uma região com características naturais complexas e altamente heterogêneas em relação à chuva, solo e vegetação, a região semiárida representa um enorme desafio para o uso e o manejo do solo e dos recursos hídricos em sistemas agrícolas sustentáveis.

A caatinga é o bioma característico do semiárido brasileiro, constituindo-se no quarto maior bioma do Brasil (IBGE, 2004). Barbosa et al. (2006) destacam que a caatinga tem um grande número de associações de plantas, com complexa mistura de espécies florestais de diferentes densidades. Varias classificações foram desenvolvidas, dentre as quais destaca-se a proposta por Araújo (2001) que adotou a seguinte classificação aplicada na sub-bacia do Rio Ipanema, no semi-árido: Caatinga arbórea aberta, caatinga arbórea fechada, caatinga arbustiva aberta, caatinga arbustiva fechada e mata de galeria. Além da variabilidade espacial, tais espécies apresentam elevada sazonalidade (Figura 1), produzindo distintos impactos hidrológicos, conforme a estação do ano.

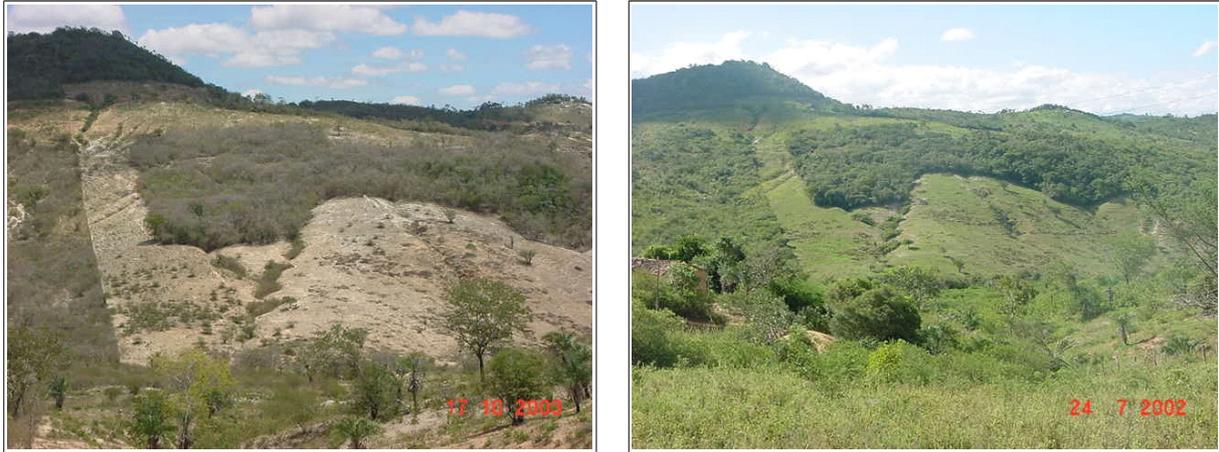


Figura 1. Sazonalidade da caatinga na Bacia Experimental do Jatobá, Pernambuco. Fonte: Montenegro & Montenegro (2009).

A investigação dos processos hidrológicos da região é de grande interesse não só para o planejamento de estratégias de uso dos recursos hídricos, mas também para abordar o possível impacto do clima futuro e mudanças no uso do solo sobre os recursos hídricos (Montenegro & Ragab, 2010). Estudos do comportamento hidrológico nessa região são especialmente desafiadores em razão das características específicas de solo, clima, vegetação e suas relações. A descontinuidade dos processos, tanto no espaço como no tempo produz uma relação chuva-vazão altamente complexa (Maneta et al., 2008).

De acordo com Schumann et al. (2010), as pesquisas em pequenas bacias podem contribuir para estudos de uso do solo e mudanças climáticas; nos estudos interdisciplinares; estudos de incertezas e no desenvolvimento de novas técnicas de medição, além da compreensão dos processos hidrológicos. Em países em desenvolvimento, a avaliação qualitativa e quantitativa do aproveitamento e da exploração dos recursos hídricos numa bacia hidrográfica tem grande importância no contexto ambiental. Seu conhecimento permite inferir sobre as ocorrências de processos hidrológicos, possibilitando correlacioná-los com as diferentes variáveis relacionadas à quantidade e à qualidade de água, bem como sua dinâmica no espaço e no tempo (Ávila, 2008).

Para Silva et al. (2001), o conteúdo de água do solo na parte superior do perfil, ou zona de cultivo, tem um grande efeito sobre processos tais como a infiltração, formação de crostas, erosão e no movimento de produtos agrícolas químicos móveis. Logo, é de capital importância o conhecimento da umidade para estudos de movimento da água no solo

(Bernardo et al., 2005), bem como para adoção de determinadas práticas de manejo culturais e irrigação.

Reynolds (1970) classificou os fatores que afetam o conteúdo de água no solo em estáticos e dinâmicos. Os fatores estáticos incluem o grau de homogeneidade do solo, incorporando a textura e estrutura, e os fatores topográficos tais como declividade, elevação, e aspecto. Os fatores dinâmicos incluem a quantidade e variabilidade da precipitação e da insolação, tempo desde o último evento, profundidade do lençol freático e quantidade e tipo da vegetação.

A umidade das camadas do solo apresenta uma variabilidade importante nos domínios espacial e temporal, que pode levar a incertezas críticas para o manejo agrícola da água (Guariz et al., 2009). Para Timm et al. (2006), uma melhor compreensão da distribuição espacial da umidade do solo é, portanto, útil para uma série de fatores hidrológicos que afetam a produção das culturas. A dinâmica da umidade no perfil é fortemente condicionada à distribuição vertical da zona radicular e do porte da vegetação, estando condicionada à evapotranspiração real (Wilcox et al., 2012).

As variabilidades temporal e espacial da umidade do solo relacionam-se com o estudo e modelagem de diferentes processos agronômicos, hidrológicos e ambientais (Tsegaye et al., 2004), de modo que sua quantificação requer técnicas que permitam medidas rápidas, exatas, passíveis de automação e de repetição no mesmo local, com o mínimo de perturbação do solo (Gonçalves et al., 2011). O monitoramento da água no solo pode realizar-se através de diversos métodos, onde cada um apresenta uma série de vantagens e inconvenientes. A eleição do método mais adequado está relacionado com aspectos como precisão do instrumento, seu comportamento em distintos tipos de solo e seu custo (Vauclin, 1984).

Atualmente, as medições em escala pontual da umidade do solo são normalmente obtidas utilizando amostragens gravimétricas periódicas, atenuação de nêutrons, reflectometria no domínio do tempo (TDR) ou reflectometria no domínio da frequência (FDR). Sousa & Matura (2002) citam que dentre os métodos existentes para quantificar a umidade do solo de maneira direta, o método gravimétrico é considerado o padrão por ser mais preciso. Entre os métodos indiretos, podem ser citados o da sonda de nêutrons, blocos de resistência elétrica e reflectometria no domínio do tempo (TDR). Além destes, o uso de equipamentos como a reflectometria no domínio da frequência (FDR) tem aumentado ao longo dos anos.

Gao et al. (2011) comentam que embora uma variedade de métodos de escalonamento, incluindo a análise geostatística (Western et al., 2004), análise fractal (Rodríguez-Iturbe et

al., 1995) e análise da probabilidade de funções de densidade (Avisar & Pielke, 1989), sejam usados para estimar o conteúdo médio de água do solo da área a partir de observações pontuais. Cada um deles requer medições da umidade do solo *in situ*, que normalmente são demoradas e trabalhosas, e exigem altas resoluções, tanto no espaço quanto no tempo.

Mello Filho & Libardi (2005) relatam então que, percebendo a dificuldade prática para a obtenção de médias representativas de propriedades do solo com elevado grau de variabilidade, Vachaud et al. (1985) propuseram uma metodologia capaz de reduzir o número de observações requeridas para caracterizar uma propriedade física do solo. Trabalhando com os dados de conteúdo de água no solo, esses autores introduziram o conceito de estabilidade temporal. Esse conceito, de acordo com van Wesenbeek et al. (1988), pode ser definido como a associação, constante com o tempo, entre a localização espacial e as medidas estatísticas que caracterizam determinada propriedade do solo.

Os esforços de identificação da umidade do solo em locais estáveis no tempo têm sido expressivos em diferentes usos do solo como em áreas de pastagens, grama, arbustos e floresta; incluindo áreas de diferentes climas como semiárido (Williams et al., 2009; Zhao et al., 2010), temperado (Heathman et al., 2009) e úmido (Jacobs et al., 2004; Brocca et al., 2012, 2010, 2009); em locais com vários atributos topográficos, incluindo encostas (Starks et al., 2006; Zhao et al., 2010); declives suaves (Cosh et al., 2008) e terrenos complexos (Hu et al., 2010).

Souza et al. (2011), em uma área cultivada no semiárido brasileiro, destacam que essa análise indicou com sucesso a localização do ponto em que a variação no tempo reflete o comportamento da média, reduzindo o número de observações necessárias para um manejo adequado da água de irrigação em uma zona de escassez em solo aluvial.

Deve-se notar que a existência e localização de pontos com estabilidade temporal no comportamento do conteúdo de água no solo, assim como a possibilidade de se determinar sua posição em função da textura e profundidade do solo e da posição topográfica, é fundamental no planejamento de qualquer programa de monitoramento. Por outro lado, este conceito precisa ser analisado em um número maior de ambientes e escalas, para testar: (i) se a existência destes locais é geral; e (ii) se é possível definir a localização destes pontos, identificando fatores do terreno e do solo que possam ser utilizados como referência inicial (Gómez-Plaza et al., 2000).

Percebendo a importância desse método como forma de estimativa do conteúdo de água do solo e diante da escassez de informações sobre sua aplicação em regiões semiáridas brasileiras na escala de bacia hidrográfica, objetivou-se determinar a estabilidade temporal da

umidade do solo condições de cobertura vegetal tipo caatinga e em áreas de pasto, observando o comportamento em períodos separados de ocorrência de chuvas e estiagem na região utilizando na determinação do conteúdo de água do solo uma sonda de nêutrons e , testando a hipótese de que o tipo de cobertura está relacionado com a determinação do ponto representativo e que essa sofre influência da dinâmica temporal da precipitação. Adicionalmente, buscou-se avaliar a variabilidade temporal da umidade do solo em distintas condições de cobertura vegetal, solo e topografia sob a ideia de que a variação temporal da umidade do solo apresentam características específicas para cada tipo de condição investigada.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAÚJO, J. A.C. Análise do escoamento superficial na bacia hidrográfica de contribuição do perímetro irrigado da faz. Nossa Senhora do Rosário. 2001, 65f Dissertação (Mestrado). Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2001.

ÁVILA, L. F. Comportamento espacial e temporal da umidade do solo numa bacia hidrográfica na Serra da Mantiqueira, Minas Gerais. 2008, 110 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). Universidade Federal de Lavras.

AVISSAR, R.; PIELKE, R. A. A parameterization of hetero-geneous land surfaces for atmospheric numerical models and its impact on regional meteorology. **Monthly Weather Review**, v. 117, p. 2113 – 2136, 1989.

BARBOSA, H. A.; HUETE, A. R. ; BEATHGEN, W. E. A 20-year study of NVDI variability over the Northeast Region of Brazil. **Journal of Arid Environment**, Amsterdam, v.67, p.288 – 307, 2006.

BERNARDO, S.; SOARES, A. A; MANTOVANI, E. C. (2005). Manual de Irrigação. 7ª ed. Viçosa: UFV, 17p.

BROCCA, L.; MELONE, F.; MORAMARCO, T.; MORBIDELLI, R. Soil moisture temporal stability over experimental areas in Central Italy. **Geoderma**, v.148, p.364 – 374, 2009.

BROCCA, L.; MELONE, F.; MORAMARCO, T.; MORBIDELLI, R. Spatial-temporal variability of soil water and its estimation across scales. **Water Resources Research**, v.46, W02516, doi:10.1029/2009WR008016, 2010.

BROCCA, L.; TULLO, T.; MELONE, F.; MORAMARCO, T.; MORBIDELLI, R. Catchment Scale Soil Moisture Spatial-Temporal Variability. **Journal of Hydrology**, v.422 – 423, p. 63–75, 2012.

COSH, M. H.; JACKSON, T. J.; MORAN, S.; BINDLISH, R. Temporal persistence and stability of surface soil moisture in a semi-arid watershed. **Remote Sensing of Environment** v.112, p. 304 – 313, 2008.

GAO, X.; WU, P.; ZHAO, X.; SHI, Y.; WANG, J. Estimating spatial mean soil water contents of sloping jujube orchards using temporal stability. **Agricultural Water Management**, v.102, p.66 – 73, 2011.

GÓMEZ-PLAZA, A.; ALVAREZ-ROGEL, J.; ALBALADEJO, J.; CASTILLO, V. M. 'Spatial patterns and temporal stability of soil moisture across a range of scales in semi-arid environment', **Hydrological Processes**, vol. 14, p. 1261-1277, 2000.

GONÇALVES, A. C. A.; TRINTINALHA, M. A.; TORMENA, C. A.; FOLEGATTI, M. V. Influência da Densidade do Solo na Estimativa da Umidade em um Nitossolo Vermelho Distroférico, por Meio da Técnica de TDR. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.35, p.1551 – 1559, 2011.

GUARIZ, H. R.; PICOLI, M. H. S.; CAMPANHARO, W. A.; CECÍLIO, R. A. Variação da Umidade e da Densidade do Solo sob Diferentes Coberturas Vegetais. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v.4, n. 2, p. 3293 – 3296, 2009.

HEATHMAN, G. C.; LAROSE, M.; COSH, M. H.; BINDLISH, R. Surface and profile soil moisture spatio-temporal analysis during an excessive rainfall period in the Southern Great Plains, USA. **Catena**, v.78, p.159 – 169, 2009.

IBGE – Mapa de Biomas do Brasil. Primeira aproximação, 2004.

HU, W.; SHAO, M.A.; HAN, F. P.; REICHARDT, K.; TAN, J. Watershed scale temporal stability of soil water content. **Geoderma**, v.158, p.181–198, 2010.

JACOBS, J. M.; MOHANTY, B. P.; HSU, E. C.; MILLER, D. SMEX02: field scale variability, time stability and similarity of soil water. **Remote Sensing of Environment**, v.92, p. 436 – 446, 2004.

MANETA, M.; SCHNABEL, S.; JETTEN, V. Continuous spatially distributed simulation of surface and subsurface hydrological processes in a small semiarid catchment. **Hydrological Processes**, v.22, p.2196 – 2214, 2008.

MELO, R. O. Caracterização da Produção de Sedimentos de uma Microbacia no Semi-Árido Pernambucano. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo). Universidade Federal Rural de Pernambuco. 2008, 94p.

MELO FILHO, J. F.; SOUZA A. L. V. O manejo e a conservação do solo no Semi-árido baiano: desafios para a sustentabilidade. *Bahia Agrícola*. v.7, n.3, 11p, 2006.

MELO FILHO, J. F. & LIBARDI, P. L. Estabilidade temporal de medidas do teor e do potencial mátrico da água no solo em uma transeção. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.29, p.497 – 506, 2005.

MONTENEGRO, A. A.; MONTENEGRO, S. M. G. L. Modelagem hidrológica em regiões semiáridas. In: PAZ, V.; OLIVEIRA, A. S.; PEREIRA, F. A.; GHEYI, H. R. Manejo e Sustentabilidade da Irrigação em Regiões Áridas e Semiáridas, UFRB, p. 96 - 113, 2009.

MONTENEGRO, A. A. A.; RAGAB, R. Hydrological response of a Brazilian semi-arid catchment to different land use and climate change scenarios: a modelling study. **Hydrological Processes**, v.24, p.2705 – 2723, 2010.

PEREIRA JÚNIOR, J. DE S. . NOVA DELIMITAÇÃO DO SEMI-ÁRIDO BRASILEIRO. Biblioteca Digital da Câmara dos Deputados. Centro de Documentação e Informação Coordenação de Biblioteca. <http://bd.camara.gov.br>. 24p. 2007.

REYNOLDS, S.G. The gravimetric method of soil moisture determination. Parte III: An examination of factors influencing soil moisture variability. **Journal of Hydrology**, v.11, p. 288 – 300, 1970.

RODRIGUEZ-ITURBE, I.; VOGEL, G. K.; RIGON, R.; ENTEKHABI, D.; CASTELLI, F.; RINALDO, A. On the spatial organization of soil moisture fields. **Geophysical Research Letters** v.22, p.2757–2760, 1995.

SCHUMANN, S.; SCHMALZ, B.; MEESENBURG, H.; SCHRÖDER, U. Status and Perspectives of Hydrology in Small Basins. Results and recommendations of the International Workshop in Goslar-Hahnenklee, Germany, 2009 and Inventory of Small Hydrological Research Basins. IHP – HWRP, Germany, 2010.

SILVA, A. P.; NADLER, A.; KAY, B. D. Factors contributing to temporal stability in spatial patterns of water content in the tillage zone. **Soil & Tillage Research**, v. 58, pp. 207 – 218, 2001.

SOUZA, E. R.; MONTENEGRO, A. A. A.; MONTENEGRO, S. M. G.; MATOS, J. A. Temporal stability of soil moisture in irrigated carrot crops in Northeast Brazil. **Agricultural Water Management**, v.99, p.26 – 32, 2011.

SOUZA, C. F. & MATSURA, E. E. Avaliação de sondas de TDR multi-haste segmentadas para estimativa da umidade do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.6, n.1, p.63 – 68, 2002.

STARKS, P. J.; HEATHMAN, G. C.; JACKSON, T. J.; COSH, M. Temporal stability of soil moisture profile. **Journal of Hydrology**, v.342, p.400 – 411, 2006.

TIMM, L. C.; PIRES, L. F.; ROVERATTI, R.; ARTHUR, R. C. J.; REICHARDT, K.; OLIVEIRA, J. C. M.; BACCHI, O. O. S. Field spatial and temporal patterns of soil water content and bulk density changes. **Scientia Agrícola**, v.6, p.55 – 64, 2006.

TSEGAYE, T.D.; TEDESSE, W.; COLEMAN, T.L.; JACKSON, T.J.; TEWOLDE, H. Calibration and modification of impedance probe for near surface soil moisture measurements. **Canadian Journal of Soil Science**, v.84, p.237 – 243, 2004.

VACHAUD, G.; PASSERAT DE SILANS, A.; BALABANIS, P.; AUCLIN, M. Temporal stability of spatially measured soil water probability density function. **Soil Science Society of America Journal**, v.49, p.822 – 827, 1985.

VAN WESENBEEK, I. J.; KACHANOSKI, R. G.; ROLSTON, D. E. Temporal persistence of spatial patterns of soil water content in the tilled layer under a corn crop. **Soil Science Society of America Journal**, v.52, p.934 – 941, 1988.

VAUCLIN, M.; HAVERKAMP, R.; VACHAUD, G. Error analysis in estimating soil water content from neutron probe measurements: 2. Spatial standpoint. **Soil Science**, v.137, p.141 – 148, 1984.

WESTERN, A. W.; ZHOU, S.; GRAYSON, R. B.; MCMAHON, T. A.; BLÖSCHL, G.; WILSON, D. J. Spatial correlation of soil moisture in small catchments and its relationship to dominant spatial hydrological processes. **Journal of Hydrology**, v.286, p.113 – 134, 2004.

WILCOX, B P. et al. Invasion of shrublands by exotic grasses: ecohydrological consequences in cold versus warm deserts. **Ecohydrology**, v.5, p.160 – 173, 2012.

WILLIAMS, C. J.; MCNAMARA, J. P.; CHANDLER, D. G. Controls on the temporal and spatial variability of soil water in a mountainous landscape: the signature of snow and complex terrain. **Hydrology and Earth System Sciences**, v.13, p.1325 – 1336, 2009.

ZHAO, Y.; PETH, S.; WANG, X.Y.; LIN, H.; HORN, R. Controls of surface soil water spatial patterns and their temporal stability in a semi-arid steppe. **Hydrological Processes**, v.24, p.2507 – 2519, 2010.

ZHOU, X.; LIN, H.; ZHU, Q. Temporal stability of soil moisture spatial variability at two scales and its implication for optimal field monitoring. **Hydrology and Earth System Sciences Discussions**. v.4, p.1185 – 1214, 2007.

CAPÍTULO I

RESUMO

MELO, R. O. **Estabilidade temporal da umidade do solo em uma bacia hidrográfica do semiárido Pernambucano**. 2013. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal Rural de Pernambuco.

A análise da variação da umidade do solo é de fundamental importância para o planejamento estratégico de uma série de ações, assumindo importância ainda maior em áreas de semiárido devido à escassez e má distribuição das precipitações pluviométricas. Devido à complexidade de fatores que controlam sua dinâmica e das dificuldades associadas ao processo de medição dessa variável, é que se introduziu o conceito de estabilidade temporal para umidade do solo, com o objetivo de se encontrar um local capaz de representar o comportamento médio da área investigada através da observação de uma diferença relativa média (DRM) da umidade próximo de zero associado a um reduzido valor de desvio padrão (DP). O objetivo desse trabalho foi avaliar a estabilidade temporal da umidade do solo em uma bacia hidrográfica na região do semiárido pernambucano, investigando seu comportamento em áreas sob condição de cobertura vegetal do tipo Caatinga Natural e Pasto dividido durante os períodos chuvoso e de estiagem. Para determinação da umidade foi utilizada uma sonda Nêutrons (SN) e uma sonda capacitiva modelo Diviner 2000® (SCD). Foram monitorados 18 pontos na área da bacia hidrográfica, sendo sete distribuídos na área de caatinga e onze em área de pasto, nas profundidades 0,0 – 0,2 m e 0,2 – 0,4 m para a SN, e 0,0 – 0,1 m e 0,1 – 0,2 m para a SCD, entre outubro de 2010 e setembro de 2012. Para determinação da estabilidade temporal foram utilizadas as técnicas de diferença relativa média e o teste não paramétrico de Spearman. A análise das DRM permitiu identificar os pontos representativos do conteúdo médio, porém sem coincidência desses pontos para cada situação avaliada e método de determinação de umidade utilizado, o que requer uma estruturação no plano de monitoramento mediante a utilização do método de estabilidade temporal. Também foi possível verificar que os pontos que mais se afastam da média possuem relação com os maiores teores de areia do solo. A validade da utilização do ponto estável como representativo da média, mediante análise de correlação do ponto representativo com a média da área, apresentou coeficientes de determinação altos para a maioria dos casos avaliados, o que assegura a eficiência do método. Pela análise da persistência temporal, através do coeficiente de correlação de Spearman, foi possível verificar que há uma tendência dos pontos manterem as posições mais úmidas e mais secas durante os períodos distintos de chuvas e estiagem, sendo essa condição afetada pela

ocorrência de chuvas no período entre dois monitoramentos consecutivos, e também a persistência temporal sendo maior para a camada subsuperficial.

Termos de Indexação: Caatinga, sonda capacitiva, bacia experimental.

CHAPTER I

ABSTRACT

MELO, R. O. Temporal stability of soil moisture in a watershed in the Pernambuco state semiarid. 2013. Thesis (Thesis-Doctorate in Agricultural Engineer) – Universidade Federal Rural de Pernambuco.

The determination of the soil moisture variation is critical for the strategic planning of a series of actions, assuming even greater importance in semiarid areas due to the shortage and poor rainfall distribution. Due to the complexity of factors that control its dynamics and the difficulties associated to the measurement of hydrological processes, the concept of temporal stability for soil moisture is highly useful, with the objective of finding a location able to represent the average behavior of the investigated area by observation of an average relative difference (DRM) of moisture near zero value associated to a reduced standard deviation (SD). The aim of this study was to assess the temporal stability of soil moisture in a watershed in the semiarid region of Pernambuco state, investigating their behavior in areas under condition of vegetation type and Caatinga Natural Pasture divided during the rainy and dry seasons. To determine the soil moisture a Neutron probe (SN) and a capacitive probe model Diviner 2000® (SCD) were used, and 18 points were monitored in the catchment area. Seven distributed at caatinga vegetation and 11 in pasture areas at depths from 0.0 – 0.2 m and 0.2 - 0.4 m (using SN), and 0.0 – 0.1 m and 0.1 - 0.2 m (using SC), between October 2010 and September 2012. To investigate the temporal stability techniques were used to compute the, average relative difference and the nonparametric Spearman coefficient. Analysis of allowed DRM identify points representing the average content, but without coincidence of these points for each condition and assessed moisture determination method used, which requires a structure in plan monitoring method utilizing temporal stability. Was also possible that the more points that deviate from average are related to the higher content of sand the soil. The validity of the use of stable point as representative of the average through correlation analysis of the representative point with the average of the area showed high correlation coefficients for most cases evaluated, which ensures the efficiency of the method. By analyzing the temporal persistence through the Spearman correlation coefficient, it was found that there is a trend to maintain the positions of points wetter and drier during the different periods of rain and drought, and this condition affected the rainfall during between two consecutive monitoring events, and also the persistence time being higher for the top layer.

Index Terms: Caatinga, capacitive probe, experimental catchment.

INTRODUÇÃO

A umidade do solo apresenta importância reconhecida para diversos processos agrícolas. Para Brocca et al. (2012), do domínio de informações referentes ao seu comportamento, depende a solução de problemas relacionados à sua disponibilidade para utilização pelas plantas; ao manejo de irrigação; determinação da época mais adequada ao plantio; implantação de sistemas de drenagem, bem como sua influência em fenômenos associados aos processos erosivos. Em áreas de clima semiárido, onde a disponibilidade torna-se menor em função do comportamento específico das precipitações nessa região, a análise da dinâmica de umidade do solo apresenta expressão ainda maior.

Assim, a capacidade de caracterizar a dinâmica da umidade do solo em termos espaço-temporais em múltiplas escalas seria extremamente benéfico para otimizar a produção agrícola, gestão do solo e dos recursos hídricos, tecnologia de sensoriamento remoto, bem como em vários aspectos da modelagem hidrológica, em particular na calibração e validação (Montenegro & Ragab, 2010; Montenegro & Ragab, 2012; Han et al., 2012). Segundo Gao et al. (2011), a umidade do solo na rizosfera desempenha um papel essencial na agricultura praticada em áreas áridas e semiáridas. A determinação correta do conteúdo de água no solo é de grande importância econômica, pois proporciona aumento na eficiência de irrigação e contribui para reduzir gastos de energia, água e mão-de-obra (Detomini, 2007). Porém, em condições de campo, a variação no espaço e no tempo da umidade do solo torna complexa a descrição e avaliação dos processos hidrológicos (Ávila, 2008; Montenegro & Montenegro, 2009; Timm et al., 2011).

Atualmente, as medições em escala pontual da umidade do solo são normalmente obtidas utilizando amostragens gravimétricas periódicas, atenuação de nêutrons, reflectometria no domínio do tempo (TDR) ou reflectometria no domínio da frequência (FDR). Com base na experiência de grupos na área de medição de água no solo e uso de água pelas culturas, concluiu-se que a sonda de nêutrons não deve ser substituída, por ser um dispositivo prático para medição de campo do conteúdo de água em um perfil solo, e não ser afetado pela presença de sais no solo. A FDR é uma metodologia utilizada para registrar dados de umidade do solo, mediante a resposta de mudança da constante dielétrica, usando uma técnica de reflectometria no domínio da frequência, conhecida como capacitância (SENTEK PTY, 1999). Essas sondas estão sendo utilizadas para auxiliar no monitoramento da água do solo e/ou manejo de irrigação e apresentam, como principais vantagens, segurança ao operador em virtude de não estar próximo à fonte radioativa; o fornecimento de leituras rápidas e precisas em profundidade; o detalhamento do conteúdo de água no perfil do solo e

facilidade de operação. Permitem, ainda, o acoplamento em sistemas automáticos de coleta de dados (Souza, 2006; Petillo & Castel, 2007; Araújo et al., 2009).

Contudo, a medição ou estimativa do conteúdo de água do solo em condições de campo é difícil, devido a uma série de fatores, particularmente devido ao seu comportamento dinâmico de redistribuição no perfil do solo (Bragança et al., 2005). Heathman et al. (2012) comentam que as observações da umidade do solo realizadas in situ são normalmente feitas em um ponto, ocorrendo problema de representatividade das medições pontuais em relação a escala de interesse.

A estabilidade temporal sugere que a estimativa da umidade média do solo na área pode ser determinada a partir de medições de poucos pontos estáveis. Isso tem sido sugerido pelo fato de, embora a umidade da superfície do solo ser altamente variável, se as medições de umidade do solo em campo ou escala de microbacia são observadas repetidamente, certos locais podem ser identificados como sendo temporalmente estáveis e representativos da média de uma área (Vachaud et al., 1985). O conceito é realístico para umidade, à medida em que existe alta probabilidade de que uma posição mais úmida em um instante permaneça assim em outros momentos (Gonçalves et al., 1999). Considerando que o processo de drenagem no perfil do solo está diretamente relacionado com as características geométricas do meio poroso, que são relativamente estáveis no tempo, principalmente em solos não cultivados ou em camadas abaixo da profundidade do cultivo, Comegna & Basile (1994) lembram que, teoricamente, é de se esperar que a estabilidade temporal exista. Entretanto, no caso de áreas semiáridas, sujeitas a elevadas amplitudes térmicas e de umidade do solo, a existência de pontos estáveis é uma hipótese a ser testada e validada. Adicionalmente, a sua existência tem uma destacada relevância, à medida que possibilita o detalhamento do monitoramento hidrológico e ambiental.

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 deles é fundamental no planejamento de programas de monitoramento de variáveis hidrológicas, pois permite a redução de custos relacionados à mensuração de dados de campo (Ávila et al., 2010). Para muitos autores, a estabilidade temporal do padrão espacial da água no solo tem sido investigada para selecionar locais representantes de monitoramento com o objetivo de otimizar ou minimizar o número de locais de acompanhamento necessários em uma área de estudo (Grayson & Western, 1998; Cosh et al., 2004; Martinez-Fernandez & Ceballos, 2005). A existência de estabilidade temporal no padrão espacial do conteúdo de água no solo, observada por diversos pesquisadores (Melo

Filho e Libardi, 2005; Starks et al., 2006; Ávila et al., 2010; Lemos Filho, 2010; Souza et al., 2011), permite identificar, no campo, pontos que refletem o comportamento médio e extremo desta variável. Estes são, portanto, pontos potenciais de amostragem.

Atributos topográficos, propriedades do solo e as características da vegetação têm sido sugeridos para indicar localizações estáveis no tempo da umidade do solo. Grayson & Western (1998) identificaram que nas posições de topografia moderada situaram-se os melhores locais para representar o conteúdo de umidade médio na bacia, baseando-se em conjuntos de dados de umidade do solo em três bacias. Verificaram, ainda, que a localização destes pontos na bacia era função da textura e profundidade do solo, assim como da posição topográfica, sugerindo ser possível identificar a posição destes locais. Jacobs et al. (2004) constataram que os melhores locais de umidade do solo, estáveis no tempo, foram nas encostas suaves comparando áreas com teor de argila moderado a moderadamente elevado. Além disso, Joshi et al. (2011) observaram que as propriedades texturais do solo (silte e areia) e a topografia (elevação e inclinação) controlaram o comportamento da estabilidade temporal da umidade do solo, na bacia hidrográfica de Walnut Creek, em Iowa, e na microbacia de Washita, em Oklahoma.

Medeiros et al. (2007), avaliando estabilidade temporal da umidade em uma bacia, comentam que, alternativamente, é possível desenvolver um rápido protocolo de amostragem que possa ser usado na identificação de pontos de estabilidade temporal ou para determinar a relação entre pontos de estabilidade temporal e a média espacial do conteúdo de água no solo, diminuindo desta forma os custos envolvidos. No seu trabalho, o uso de pontos de estabilidade temporal permitiu estimar a média espacial do conteúdo de água no solo com erros inferiores a 5% na superfície e a 1% na profundidade de 30 cm.

O objetivo desse trabalho foi investigar a existência de estabilidade temporal da umidade do solo em uma bacia hidrográfica experimental, na região do Semiárido Pernambucano, nas camadas superficial e subsuperficial do solo, utilizando para determinação da umidade uma sonda de nêutrons (SN) e uma Sonda Capacitiva Diviner 2000[®] (SCD), nas condições de cobertura vegetal do tipo caatinga e pasto, durante períodos separados de chuva e de estiagem.

MATERIAL E MÉTODOS

Localização e características da área de estudo

A área de estudo é a Bacia Experimental do Jatobá, localizada no município de Pesqueira, na região do Agreste do Estado de Pernambuco, situada entre as coordenadas 8° 34' 17" e 8° 18' 11" de Latitude Sul e 37° 1' 35" e 36° 47' 20" de Longitude Oeste (Figura 1). Inserida na Bacia Representativa do Riacho Mimoso, pertencente ao sistema do rio Ipanema, a microbacia possui uma área de 12,44 km² e um perímetro de 16 km, resultando em um coeficiente de compacidade igual a 1,27. O rio principal que percorre a bacia possui 6,5 km de extensão.

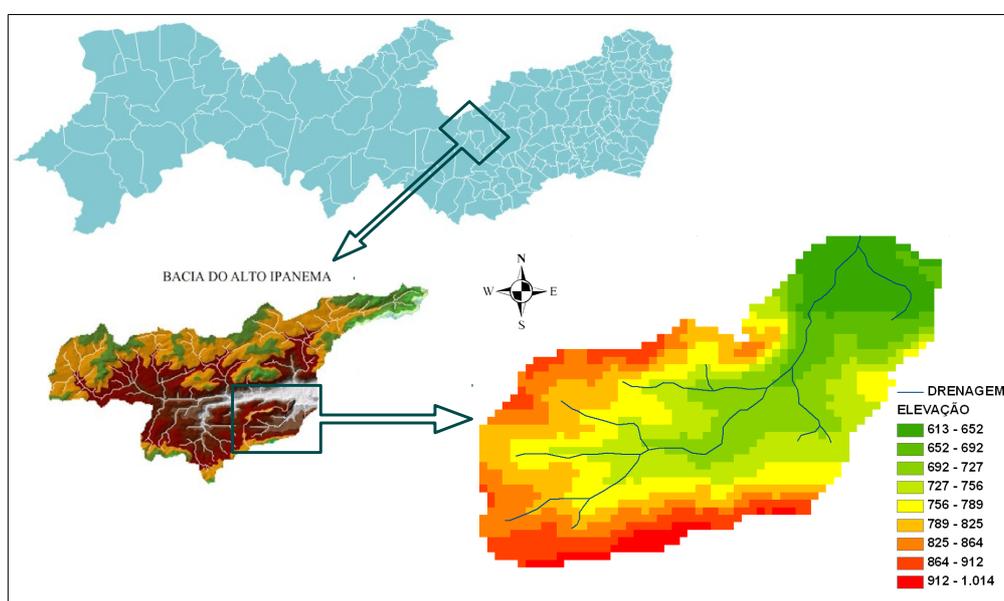


Figura 1. Bacia experimental do riacho Jatobá, localizada no município de Pesqueira.

A precipitação média anual na região é de 607 mm, com temperatura média de 23°C e evapotranspiração potencial anual de cerca de 2000 mm (Santos et al., 2008). A vegetação predominante é a caatinga hipoxerófila, cactáceas e bromeliáceas. As unidades pedológicas encontradas na área da bacia são: Argissolo Amarelo na porção mais a montante, com presença de impedimento; Neossolo Litólico nas encostas circundantes e Neossolo Regolítico na porção a jusante (Corrêa & Ribeiro, 2001) da bacia (Figura 2).

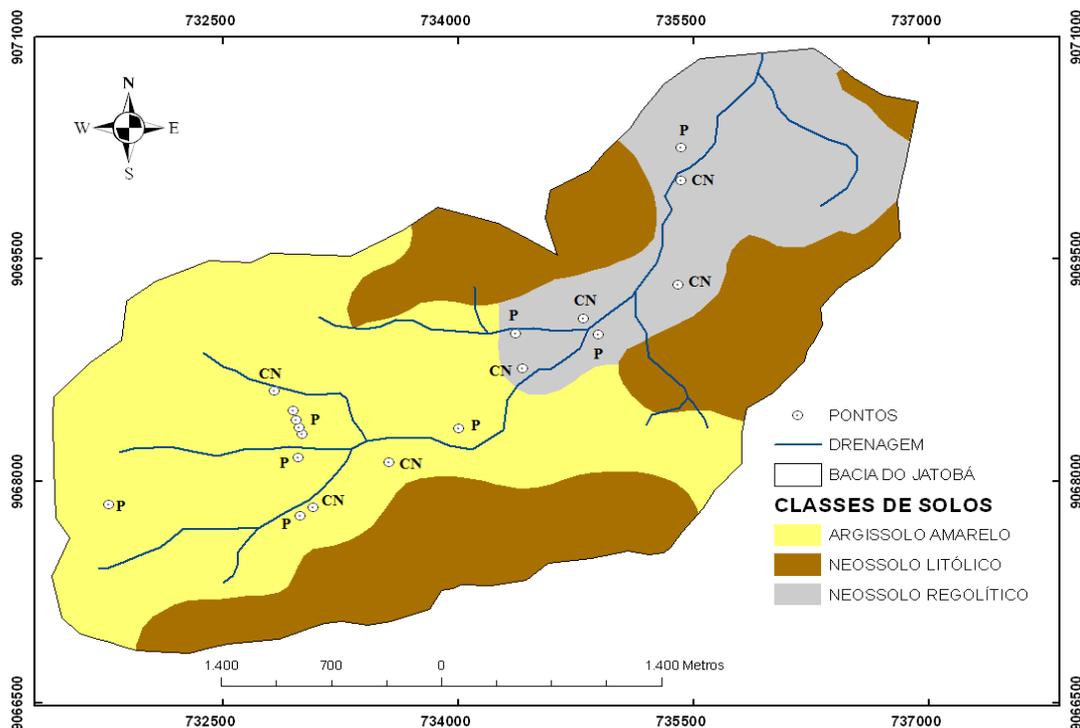


Figura 2. Distribuição das unidades de solo na bacia hidrográfica do Jatobá e localização dos pontos de monitoramento (CN – Caatinga Natural e P - Pasto). Fonte: EMBRAPA – 2000.

A ocupação na bacia do Jatobá apresenta distribuição bem espacializada, sem a presença de grandes aglomerados habitacionais e livre de empreendimentos industriais. É uma bacia tipicamente rural. A vegetação natural tem cedido lugar a diferentes tipos de usos de solos, alterando a paisagem. O uso da bacia limita-se, além da extração de madeira nativa, à presença de pastagem nas regiões de total supressão da caatinga, feita com a utilização do capim Braquiária (*Brachiaria decumbens*), Búffel (*Cenchrus ciliaris L.*), Pangola (*Digitaria decumbens*), além do Mombaça (*Panicum maximum cv. Mombaça*) e Elefante (*Pennisetum purpureum*) nas áreas da várzea do riacho Jatobá. Há também presença de agricultura de subsistência com feijão e milho, no regime de sequeiro, sendo difundido em fragmentos desmatados por toda área da bacia, sem considerar condição de relevo como fator limitante. Ainda é possível encontrar áreas com cultivo de palma, utilizada para complemento da alimentação animal, principalmente nos períodos de estiagem. As atividades agropecuárias se restringem a criação de bovinos e caprinos no sistema extensivo e a bovinocultura de leite através do sistema consorciado.

Os atributos físicos dos pontos de monitoramento, determinados segundo os métodos descritos pela EMBRAPA (1997), para as camadas de 0,0 – 0,2 m e 0,2 – 0,4 m são apresentados na Tabela 1. A análise textural dos solos nos pontos de monitoramento da bacia

mostra teores de areia variando de 784,0 a 495,8 g Kg⁻¹, e argila entre 292,0 e 88,8 g Kg⁻¹ para a camada de 0,0 – 0,2 m de profundidade. Para a profundidade de 0,2 – 0,4 m foi verificado teores de areia entre 834,0 a 436,2 g Kg⁻¹, e argila de 392,0 e 82,4 g Kg⁻¹.

Tabela 1. Características físicas do solo nos pontos de monitoramento da área experimental

Ponto	Prof.	Ds	Areia	Argila	Silte	Ponto	Prof.	Ds	Areia	Argila	Silte
	(cm)	Kg dm ⁻³					(cm)	Kg dm ⁻³			
P1	0 - 10	1,49	728,0	152,0	120,0	P10	0 - 10	1,54	724,0	116,0	160,0
	10 - 20	1,54					10 - 20	1,59			
	20 - 30	1,43					20 - 30	1,54			
	30 - 40	1,61					30 - 40	1,63			
P2	0 - 10	1,48	648,0	217,6	134,4	P11	0 - 10	1,63	495,8	292,0	212,2
	10 - 20	1,52					10 - 20	1,62			
	20 - 30	1,47					20 - 30	1,65			
	30 - 40	1,52					30 - 40	1,62			
P3	0 - 10	1,43	628,0	232,0	140,0	P12	0 - 10	1,51	569,8	212,0	218,2
	10 - 20	1,53					10 - 20	1,55			
	20 - 30	1,46					20 - 30	1,57			
	30 - 40	1,50					30 - 40	1,59			
P4	0 - 10	1,30	708,0	172,0	120,0	P13	0 - 10	1,68	623,2	182,0	194,8
	10 - 20	1,50					10 - 20	1,66			
	20 - 30	1,54					20 - 30	1,63			
	30 - 40	1,51					30 - 40	1,64			
P5	0 - 10	1,51	608,0	232,0	160,0	P14	0 - 10	1,63	647,8	172,0	180,2
	10 - 20	1,55					10 - 20	1,64			
	20 - 30	1,58					20 - 30	1,63			
	30 - 40	1,53					30 - 40	1,62			
P6	0 - 10	1,46	708,0	217,6	74,4	P15	0 - 10	1,37	724,2	112,0	163,8
	10 - 20	1,45					10 - 20	1,36			
	20 - 30	1,43					20 - 30	1,37			
	30 - 40	1,47					30 - 40	1,38			
P7	0 - 10	1,45	628,0	197,6	174,4	P16	0 - 10	1,45	654,4	142,0	203,6
	10 - 20	1,50					10 - 20	1,46			
	20 - 30	1,48					20 - 30	1,49			
	30 - 40	1,54					30 - 40	1,50			
P8	0 - 10	1,46	688,0	177,6	134,4	P17	0 - 10	1,57	713,0	132,0	155,0
	10 - 20	1,54					10 - 20	1,55			
	20 - 30	*					20 - 30	1,55			
	30 - 40	*					30 - 40	1,57			
P9	0 - 10	1,30	784,0	88,8	127,2	P18	0 - 10	1,56	735,2	112,0	152,8
	10 - 20	1,36					10 - 20	1,59			
	20 - 30	1,35					20 - 30	1,61			
	30 - 40	1,25					30 - 40	1,62			

* Profundidades não amostradas

A rede de monitoramento da unidade foi estabelecida no período de abril/2010 a outubro/2010, como parte dessa pesquisa, financiada pelo Projeto “Bacias Experimentais e Representativas – BEER” com recursos da Finep.

Monitoramento da umidade do solo

A umidade do solo foi determinada utilizando uma sonda de nêutrons – SN, tipo 503 DR HYDROPROBE[®], e uma sonda capacitiva modelo Diviner 2000[®] Sentek – SCD (Figura 3). Os tubos de acesso para as sondas foram instalados aos pares, distantes 0,4 m entre si, compondo uma rede de monitoramento que atualmente conta com 18 locais de medição, sendo distribuídos em duas condições de cobertura vegetal: sete em área com vegetação do tipo Caatinga Natural – CN e 11 pontos em áreas ocupadas com Pasto – P.



Figura 3. Monitoramento da umidade do solo na bacia hidrográfica do riacho Jatobá utilizando sonda de nêutrons (A) e sonda capacitiva Diviner 2000[®] (B).

As profundidades totais no locais de monitoramento foram variáveis, obedecendo ao limite máximo de instalação dos tubos de acesso (devido ao impedimento rochoso raso). O intervalo entre leituras no perfil do solo foi de 0,2 m para os registros feitos com a SN, e 0,1 m para aqueles feitos com a SCD. Durante o monitoramento, o tempo de contagem utilizado nas medições com a SN foi de 30 segundos, de acordo com o proposto por Andrade et al. (2001) e adotado por Souza et al. (2011).

Ambas sondas foram calibradas para cada ponto de monitoramento e nas diferentes profundidades. Para gerar as curvas de calibração, amostras de solo foram coletadas a cada 0,1 m de profundidade (próximo aos tubos, observando uma distância que evitasse alterações nas propriedades do solo e uma consequente interferência nas leituras) para determinação da umidade gravimétrica (EMBRAPA, 1997), imediatamente após a realização das leituras. Algumas das campanhas para coleta de amostras utilizadas na calibração foram realizadas por

ocasião dos eventos de chuva na região, com a intenção de amostrar situações distintas de conteúdo de umidade, contemplando para os pontos de calibração condição de alta e baixa umidade, de acordo com o recomendado pelo fabricante, citado em Andrade Júnior et al. (2007) e Silva et al. (2007). A umidade volumétrica ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$) em cada camada de solo foi determinada multiplicando-se a umidade gravimétrica pela densidade do solo (g cm^{-3}). Para determinar a densidade do solo, foram coletadas amostras em anéis volumétricos, utilizando um Trado de Amostra Indeformada SONDATERRA®.

Com as informações de umidade volumétrica, foram geradas curvas de calibração (Tabela 2). A calibração para a sonda de nêutrons foi obtida pela plotagem dos valores de umidade volumétrica em função da contagem normatizada de nêutrons atenuados (CN) e ajuste ao modelo linear; já para a sonda capacitiva, as umidades foram correlacionados com a Frequência Relativa (FR) e o modelo utilizado foi o exponencial, segundo orientação do fabricante. Melo et al. (2011) detalharam as calibrações, bem como os equacionamentos obtidos.

Tabela 2. Resumo dos parâmetros das equações de calibração da sonda de nêutrons e da sonda capacitiva Diviner 2000®, obtidas para as profundidades avaliadas e em todos os pontos de monitoramento da bacia do Jatobá

Sonda	Equação	Prof. (cm)	-----a-----		-----b-----		-----R ² -----	
			Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx
Diviner 2000	$\theta_v = aFR^b$	0 - 10	0,216	19,094	1,087	4,027	0,91	0,99
		10 - 20	0,360	2,573	0,997	4,140	0,91	0,99
Nêutrons	$\theta_v = aCR+b$	0 - 20	0,404	1,395	-0,526	0,007	0,94	0,99
		20 - 40	0,296	1,151	-0,218	-0,001	0,93	0,99

Os coeficientes a e b são da calibração: $\theta_v = aCR+b$ e $\theta_v = aFR^b$, em que CR, FR e θ_v são a Contagem Relativa, Frequência Relativa e Umidade Volumétrica ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$), respectivamente.

O intervalo de tempo para o monitoramento da umidade do solo foi quinzenal durante o período de ocorrência de chuvas na região (com vistas a obter um monitoramento mais detalhado no período das chuvas, época em que tenda haver uma maior dificuldade na obtenção do ponto representativo da estabilidade temporal) (Ávila et al., 2010) e mensal para os períodos de estiagem. Os resultados obtidos nesse trabalho são baseados na análise dos dados de monitoramento realizados entre outubro de 2010 à dezembro de 2011 (total de 16 medições) utilizando a SN, e de outubro de 2010 à setembro de 2012 (total de 24 medições) utilizando a SCD.

Análises estatísticas

– Estatística descritiva

Foi realizada a estatística descritiva e análise de aderência à distribuição normal dos dados de umidade, adotando o teste de Kolmogorov-Smirnov. A fim de caracterizar o grau de variabilidade, os valores de coeficiente de variação (CV) foram analisados como sugerido por Costa et al. (2002), o qual se baseia na mediana (Md) e nos pseudo-sigmas (PS) (Quadro 1), definidos por: $Md = (Q1 + Q3)/2$ é a mediana dos coeficientes de variação, Q1 e Q3 são o primeiro e terceiro quartis, respectivamente, os quais delimitam 25% de cada extremidade da distribuição dos CV e $PS = IQR/1,35$ é o pseudo-sigma, sendo IQR a amplitude interquartilica ($Q3 - Q1$), que é uma medida resistente que indica o quanto os dados estão distanciados da mediana.

O coeficiente de variação que recebe a classificação de alto ou baixo, para determinada variável, não necessariamente receberá a classificação de alto ou baixo para outra variável ou conjunto analisado.

Quadro 1. Limites de classificação dos Coeficientes de Variação de acordo com a proposta de Costa et al. (2002).

Classificação	Intervalo
Baixo	$CV \leq (Md - PS)$
Médio	$(Md - PS) < CV \leq (Md + PS)$
Alto	$(Md + PS) < CV \leq (Md + 2PS)$
Muito Alto	$CV > (Md + 2PS)$

Fonte: Costa et al. (2002)

– Estabilidade Temporal

Para análise da estabilidade temporal foram aplicadas duas técnicas propostas por Vachaud et al. (1985): a primeira é o cálculo da diferença relativa, baseada em uma análise dos desvios entre os valores observados individualmente no espaço e a média destes; a segunda é 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 diferença relativa pode ser calculada pela equação 1:

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

em que δ_{ij} é a diferença relativa na posição i no tempo j ; θ_{ij} é o valor do conteúdo de água no solo na posição i e no tempo j ; e $\bar{\theta}_j$ é a média do conteúdo de água no solo, em todas as posições, no tempo j , determinado pela equação 2.

$$\bar{\theta}_j = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \theta_{ij} \quad (2)$$

As diferenças relativas médias, expressas em termos percentuais, associadas ao respectivo desvio-padrão no tempo e ordenadas em ordem crescente, permitem detectar as posições que representam a média geral do conteúdo de água no solo com determinado nível de confiabilidade. A diferença relativa média para cada ponto pode ser definida de acordo com a equação 3.

$$\bar{\delta}_i = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m \delta_{ij} \quad (3)$$

onde $\bar{\delta}_i$ é a diferença relativa média; δ_{ij} é a diferença relativa na posição i no tempo j , e m número de dias amostrados, ou campanhas de monitoramento.

As diferenças relativas médias foram plotadas com seus respectivos desvios-padrão para cada densidade de cobertura vegetal do solo (Caatinga Natural e área de Pasto) (Quadro 2), a fim de identificar os pontos de maior precisão para estimativa da média geral do conteúdo de água no solo no período chuvoso (monitoramentos realizados entre janeiro e julho de 2011) e de estiagem (demais monitoramentos), em cada uma das profundidades analisadas (0,0 – 0,2 m e 0,2 – 0,4 m para a SN e 0,0 – 0,1 m e 0,1 – 0,2 m para a SCD).

O desvio padrão da diferença relativa de cada ponto é calculado pela equação 4.

$$\sigma(\delta_i) = \sum_{j=1}^m \left(\frac{\delta_{ij} - \bar{\delta}_i}{m-1} \right)^{1/2} \quad (4)$$

onde m é o número de pontos de monitoramento

Quadro 2. Esquema de análise dos dados de umidade para determinação da estabilidade temporal na bacia do riacho Jatobá, utilizando sonda de nêutrons e sonda capacitiva modelo Diviner 2000®

Método	Profundidade	Vegetação	Período	Monitoramentos	
				SCD	SN
Diferença Relativa Média + Desvio Padrão	Profundidade 1	Caatinga	Chuvoso	10	8
			Estiagem	14	8
		Pasto	Chuvoso	10	8
			Estiagem	14	8
	Profundidade 2	Caatinga	Chuvoso	10	8
			Estiagem	14	8
		Pasto	Chuvoso	10	8
			Estiagem	14	8

SCD – Sonda Capacitiva Diviner 2000® e SN – Sonda de Nêutrons.

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. Nesse 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).

O coeficiente de correlação de Spearman (C_s) foi empregado para avaliar o grau de correlação da variável espacial do conteúdo de água no solo nos diferentes tempos de amostragem. De acordo com Melo Filho & Libardi (2005), o coeficiente de correlação de Spearman possibilita verificar a existência da estabilidade temporal, mas não identifica os locais em que as medidas representam a média da variável em estudo para qualquer tempo.

O coeficiente de correlação de Spearman foi calculado de acordo com a equação 5.

$$C_s = 1 - \frac{6 \times \sum_{i=1}^N (R_{ij} - R_{ij}')^2}{N^3 - N} \quad (5)$$

em que C_s é o coeficiente de correlação de Spearman; N é o número de locais de monitoramento; R_{ij} é o posto (posição que o registro ocupa nos dados agrupados em ordem crescente) da variável observada no local i na data j e R_{ij}' é o posto da mesma variável no mesmo local, mas no dia j'

O coeficiente C_s de Spearman varia entre -1 e 1. Quanto mais próximo estiver destes extremos, maior será a associação entre as variáveis. O sinal negativo da correlação significa que as variáveis variam em sentido contrário, isto é, as categorias mais elevadas de uma variável estão associadas a categorias mais baixas da outra variável. Um valor de C_s positivamente igual à unidade corresponderá a posições idênticas em todos os pontos de medição, ou seja, estabilidade perfeita entre dois tempos. Nesse sentido, quanto mais próximo de 1 for C_s , maior estabilidade apresentará o processo (Campos, 1983; Vachaud et al., 1985).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Umidade do solo

Os valores do conteúdo médio de umidade na profundidade 0,0 – 0,2 m foram maiores para a área de pasto em comparação com a área de vegetação do tipo caatinga, no período de monitoramento realizado com a sonda de nêutrons – SN, exceto nos dias 5/11/2010 e 3/11/11 (Tabela 3). Na profundidade 0,2 – 0,4 m, percebe-se um incremento médio nos valores de umidade em torno de 19,9% em CN e 28,9% em P, e ainda a área de P com valores superiores ao registrados na CN, menos nos dias 5/11/10 e 28/07/11.

Santos (2010), estudando o comportamento da umidade do solo sob diferentes condições de cobertura vegetal, encontrou uma predominância de maiores valores de umidade em condições de cobertura com menor densidade quando comparados com áreas de cobertura natural, também do tipo caatinga. Ambos casos se explicam pela fato da maior demanda que esse tipo de vegetação requer para a transpiração. De acordo com Ampofo (2006), a perda de umidade do solo através da evapotranspiração representa cerca de 30% do total da perda de precipitação no semiárido.

Para o conjunto de dados obtidos com a SN, de acordo com a metodologia proposta por Costa et al. (2002), os coeficientes de variação foram classificados como médios para todos os monitoramentos realizados nas áreas de CN para a profundidade 0,0 – 0,2 m, exceto em 28/12/2011. Nas áreas de P, para essa mesma profundidade, os CV foram classificados de baixo a médio para a maioria dos monitoramentos a muito alto para aqueles correspondentes aos dias 6 e 28/12/2011.

Na profundidade 0,2 – 0,4 m, na área de CN, os coeficientes de variação foram classificados de baixo a médio, com exceção dos dias 28/07/2011 e 25/08/2011, quando foram muito altos, e para as áreas de pasto, classificados como baixo e médio, exceto no monitoramento de 28/12/2011, quando foi alto.

Tabela 3. Estatística descritiva da umidade do solo ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$), durante o período de monitoramento utilizando a sonda de nêutrons, nas profundidade 0,0 – 0,2 m e 0,2 – 0,4m

Data	Prof. (m)															
	0,0 – 0,2								0,2 – 0,4							
	Média ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$)		CV %		Mediana		Distrib.		Média ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$)		CV %		Mediana		Distrib.	
CN	P	CN	P	CN	P	CN	P	CN	P	CN	P	CN	P	CN	P	
07/10/10	0,052	0,056	41,8	43,9	0,050	0,059	N	N	0,056	0,075	34,7	51,3	0,054	0,073	N	N
05/11/10	0,103	0,092	14,3	15,0	0,094	0,088	N	N	0,143	0,131	35,9	28,0	0,134	0,129	N	N
17/12/10	0,050	0,060	36,5	40,3	0,047	0,051	N	N	0,064	0,075	35,7	42,3	0,061	0,069	N	N
24/01/11	0,149	0,173	15,9	18,5	0,147	0,177	N	N	0,125	0,170	30,3	34,9	0,111	0,164	N	N
04/02/11	0,100	0,120	40,5	27,5	0,090	0,128	N	N	0,111	0,152	33,6	32,3	0,103	0,154	N	N
22/02/11	0,094	0,114	22,7	39,2	0,103	0,097	N	N	0,087	0,115	23,6	39,0	0,084	0,107	N	N
28/03/11	0,044	0,045	38,1	57,0	0,045	0,055	N	N	0,059	0,082	25,9	40,4	0,058	0,084	N	N
25/04/11	0,062	0,083	35,2	34,2	0,060	0,081	N	N	0,065	0,093	35,0	37,1	0,061	0,095	N	N
15/05/11	0,143	0,154	20,3	20,0	0,134	0,140	N	N	0,140	0,167	30,1	22,8	0,135	0,166	N	N
02/07/11	0,153	0,164	21,7	15,4	0,139	0,174	N	N	0,147	0,176	29,6	23,7	0,141	0,172	N	N
28/07/11	0,134	0,181	60,5	32,2	0,110	0,173	N	N	0,167	0,166	59,9	22,6	0,117	0,168	N	N
25/08/11	0,073	0,104	62,6	26,5	0,057	0,114	N	N	0,080	0,113	69,6	32,1	0,060	0,117	N	N
06/10/11	0,038	0,048	58,2	39,9	0,040	0,055	N	N	0,053	0,073	32,2	47,9	0,053	0,069	N	N
03/11/11	0,052	0,041	36,6	39,9	0,045	0,046	N	N	0,060	0,063	27,5	52,4	0,061	0,057	N	N
06/12/11	0,032	0,032	62,9	62,6	0,028	0,031	N	N	0,051	0,056	30,0	51,4	0,047	0,059	N	N
28/12/11	0,026	0,036	68,9	62,1	0,027	0,037	N	N	0,046	0,053	35,4	63,0	0,042	0,051	N	N

N – Distribuição Normal.

Para o monitoramento realizado com a SCD, comparando os valores médios de umidade por cobertura, o comportamento foi semelhante, também sendo possível perceber uma predominância por registros maiores nas áreas de P frente aqueles encontrados em CN. Na camada superficial de 0,0 – 0,10 m, percebe-se valores de umidade superiores para as áreas de P diante dos encontrados em CN, sendo verificado em 14 dos 24 monitoramentos realizados. Já na camada 0,10 – 0,20 m todos os registros de umidade média foram maiores para a área de P. Observa-se que entre as camadas houve aumento nos valores médios, sendo registrado um incremento médio de 14,7% para CN e 55,2% para P em 0,1 – 0,2m. Chen et al. (2007) estudaram o efeito de diferentes condições de superfície na umidade do solo e geração de escoamento superficial, em região árida da China, verificando que a vegetação formada por gramíneas e plantas herbáceas foram as de melhor comportamento para a conservação da umidade.

Analisando os CV das umidades médias, na camada superficial para a área de CN, esses foram classificados como baixo e médio para a maioria dos monitoramentos, sendo considerados altos para aqueles realizados em 04/02, 06/10/2011 e 04/04/2012 e muito alto para o dia 26/07/2012. Na área de P, os CV's foram considerados baixo e médio, entretando, nos dias 07/10/10, 27/04 e 01/05/2012 foram classificados como altos. Para a camada 0,10 – 0,20 m na área de CN foram considerados altos para os dias 02/07/2011, 28/07/2011, 06/10/2011 e 26/07/2012 e muito alto no dia 04/04/2012, sendo baixo e médio para os demais

dias de monitoramento. E na área de P, classificados como altos para os dias 25/08 e 06/10/2011, além de 04/04/2012, com predominância de CV's médios e baixos.

Tabela 4. Estatística descritiva da umidade do solo ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$), durante o período de monitoramento utilizando a sonda capacitiva Diviner 2000®, nas profundidade 0 – 0,1 m e 0,1 – 0,2 m

Data	Prof. (m)															
	0,0 – 0,1								0,1 – 0,2							
	Média ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$)		CV %		Mediana		Distrib.		Média ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$)		CV %		Mediana		Distrib.	
CN	P	CN	P	CN	P	CN	P	CN	P	CN	P	CN	P	CN	P	
07/10/10	0,041	0,059	52,3	80,6	0,032	0,052	N	N	0,055	0,076	37,5	70,8	0,057	0,061	N	N
05/11/10	0,064	0,064	46,7	23,5	0,062	0,064	N	N	0,090	0,104	19,6	55,6	0,089	0,090	N	N
17/12/10	0,042	0,054	42,4	38,8	0,033	0,054	N	N	0,051	0,074	25,9	71,5	0,052	0,062	N	N
24/01/11	0,161	0,164	25,3	37,7	0,169	0,144	N	N	0,147	0,176	25,2	43,4	0,159	0,170	N	N
04/02/11	0,082	0,102	63,3	36,9	0,060	0,085	N	N	0,097	0,130	40,2	50,4	0,094	0,121	N	N
22/02/11	0,114	0,150	35,0	47,0	0,116	0,132	N	N	0,094	0,131	18,1	42,8	0,098	0,120	N	N
28/03/11	0,046	0,053	48,1	59,6	0,041	0,045	N	N	0,049	0,076	25,4	70,1	0,043	0,060	N	N
25/04/11	0,070	0,097	29,5	42,6	0,078	0,086	N	N	0,062	0,095	31,8	50,0	0,054	0,086	N	N
15/05/11	0,133	0,127	24,4	36,6	0,129	0,117	N	N	0,142	0,172	18,5	36,4	0,144	0,153	N	N
02/07/11	0,179	0,159	39,8	41,3	0,149	0,166	N	N	0,159	0,174	42,4	75,8	0,138	0,171	N	N
28/07/11	0,174	0,159	44,9	50,8	0,149	0,171	N	N	0,164	0,194	44,0	78,6	0,149	0,213	N	N
25/08/11	0,093	0,115	49,7	56,1	0,077	0,110	N	N	0,087	0,134	35,0	89,3	0,072	0,128	N	N
06/10/11	0,036	0,047	64,2	58,3	0,038	0,044	N	N	0,053	0,102	49,2	93,2	0,053	0,072	N	N
03/11/11	0,084	0,063	41,5	52,3	0,071	0,073	N	N	0,075	0,091	19,3	48,2	0,077	0,075	N	N
06/12/11	0,037	0,035	43,8	75,3	0,032	0,031	N	N	0,055	0,066	25,7	65,4	0,053	0,054	N	N
28/12/11	0,031	0,031	40,8	79,5	0,030	0,027	N	N	0,045	0,064	27,5	76,4	0,040	0,049	N	N
29/02/12	0,053	0,048	39,1	75,9	0,053	0,049	N	N	0,066	0,094	28,3	80,0	0,067	0,077	N	N
04/04/12	0,152	0,130	61,8	60,6	0,156	0,111	N	N	0,081	0,149	62,4	97,6	0,060	0,127	N	N
27/04/12	0,037	0,039	24,6	92,5	0,039	0,030	N	N	0,060	0,077	36,8	82,5	0,052	0,056	N	N
01/05/12	0,046	0,049	30,2	81,2	0,045	0,047	N	N	0,057	0,085	19,9	82,0	0,061	0,058	N	N
26/07/12	0,123	0,099	71,6	60,9	0,097	0,083	N	N	0,102	0,145	51,5	59,3	0,095	0,121	N	N
17/08/12	0,070	0,079	29,6	60,6	0,077	0,068	N	N	0,072	0,116	29,0	83,3	0,066	0,087	N	N
30/08/12	0,048	0,054	37,1	67,0	0,045	0,048	N	N	0,070	0,101	30,1	72,7	0,064	0,073	N	N
13/09/12	0,037	0,039	31,9	71,9	0,037	0,036	N	N	0,060	0,085	21,2	76,5	0,061	0,060	N	N

N – Distribuição Normal.

É possível ainda verificar que os menores coeficientes de variação estão associados aos maiores valores de umidade. Esse mesmo comportamento é observado em Souza et al. (2011), estudando a estabilidade temporal em aluvião, na mesma bacia representativa desse estudo, e Timm et al. (2011) ao avaliar a variação da umidade do solo em experimentos com café em um Argissolo. A distribuição normal ajustou-se em todos os conjuntos de dados formados pelas umidades em diferentes áreas para cada período de monitoramento. Mello Filho e Libardi (2005) comentam que para estudo da estabilidade temporal, além de uma quantidade suficiente de observações para obtenção dos parâmetros estatísticos clássicos, deve ser possível associar a cada posição ou local o seu valor estatístico de densidade de probabilidade de distribuição normal.

Estabilidade temporal

Nesse trabalho, os pontos identificados como estáveis foram aqueles que apresentaram a menor Diferença Relativa Média – DRM, associados a um reduzido Desvio Padrão – DP. Essa análise permite identificar aqueles pontos nos quais o comportamento seja representativo da média da área sob mesmas condições. Martínez-Fernández & Cebalos (2005) comentam sobre a dificuldade de definição de valores de referência que possam ser utilizados para escolha do ponto representativo em uma rede de estações. Em seu trabalho, os autores utilizam valores de DRM próximos de zero e que adicionalmente tivessem um reduzido DP. Grayson & Western (1998) comentam que as estações consideradas representativas podem ser aquelas que simplesmente apresentam DRM próximo de zero. Van Pelt & Wierenga (2001) definiram 5% de DRM como critério para alta estabilidade temporal, porém, neste caso o local do estudo foi muito pequeno (1 ha).

Os gráficos dos valores de diferença relativa média, associados ao seus desvios padrão, permitem a verificação visual dos pontos com maior estabilidade temporal. Com os dados de umidade obtidos com a SN, para as áreas de CN na camada superficial, durante o período das chuvas, o ponto que mais se aproximou do valor médio foi P10, e P6 na profundidade 0,2 – 0,4 m. Durante o período de estiagem, P6 e P10 foram os pontos representativos da média nas respectivas profundidades avaliadas (Figura 4).

Para as áreas de P durante o período das chuvas, o ponto P4 foi o escolhido para ambas profundidades avaliadas. Durante o período de estiagem, P3 e P1 foram os que apresentaram parâmetros mais adequados para representar a umidade média nas respectivas profundidades avaliadas (Figura 5). Os parâmetros indicativos de estabilidade temporal para cada ponto escolhido nas diferentes condições analisadas, utilizando a SN, são apresentados na Tabela 5.

Tabela 5. Diferença Relativa Média (DRM) e Desvio Padrão (DP) dos pontos representativos da umidade volumétrica na área da bacia hidrográfica do Jatobá, medida com sonda de nêutrons

	CN				P			
	Chuvoso		Estiagem		Chuvoso		Estiagem	
	0,0 – 0,2	0,2 – 0,4	0,0 – 0,2	0,2 – 0,4	0,0 – 0,2	0,2 – 0,4	0,0 – 0,2	0,2 – 0,4
Pontos	P10	P6	P6	P10	P4	P4	P3	P1
<i>DRM</i>	-5,7	-0,3	5,4	10,3	4,3	-0,6	8,5	2,8
<i>DP</i>	±21,6	±23,4	±15,6	±28,6	±14,3	±22,4	±17,2	±12,2

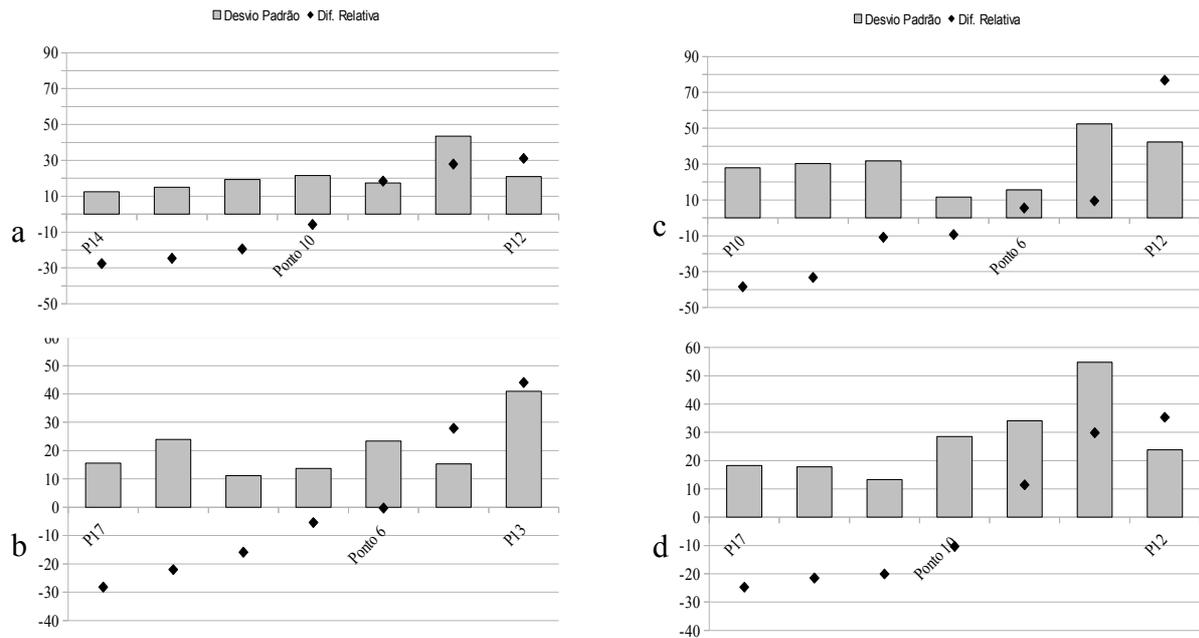


Figura 4. Diferença relativa média e respectivo desvio padrão da umidade do solo, medida com a Sonda de Nêutrons, nas áreas de Caatinga da bacia hidrográfica experimental do Jatobá durante o período chuvoso nas profundidades de 0,0 – 0,2 m (a) e de 0,2 – 0,4 m (b), e durante o período de estiagem, nas camadas 0,0 – 0,2 m (c) e de 0,2 – 0,4 m (d).

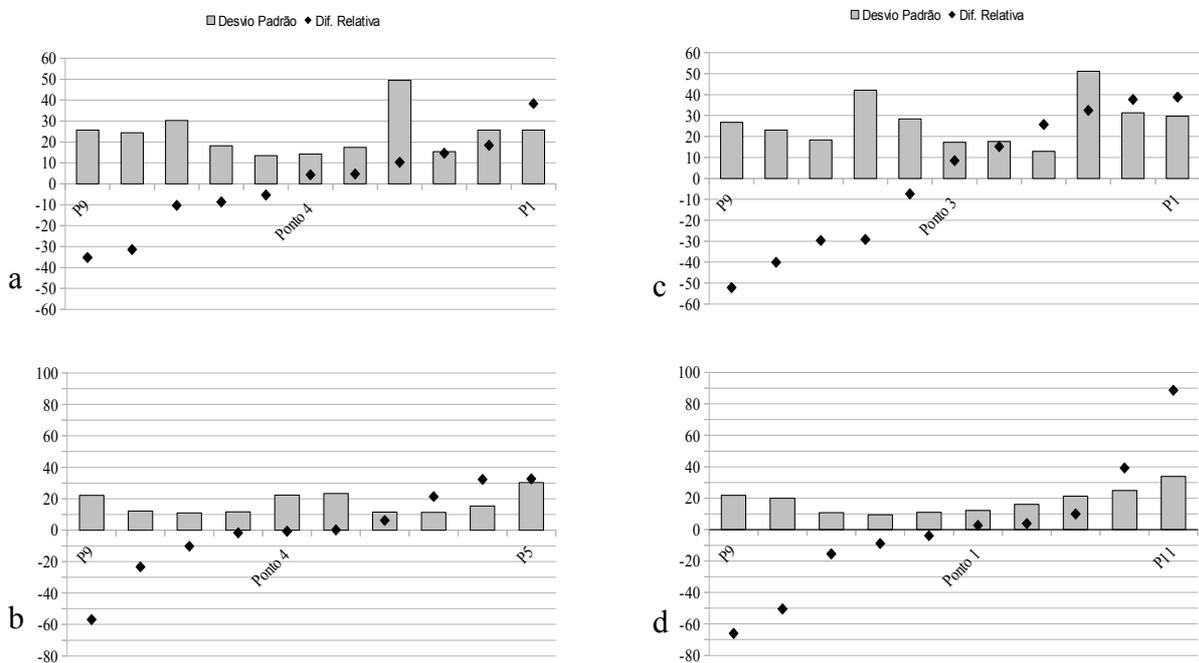


Figura 5. Diferença relativa média e respectivo desvio-padrão da umidade do solo, medida com a Sonda de Nêutrons, nas áreas de Pasto da bacia hidrográfica experimental do Jatobá durante o período chuvoso nas profundidades de 0,0 – 0,2 m (a) e de 0,2 – 0,4 m (b), e durante o período de estiagem, nas camadas 0,0 – 0,2 m (c) e de 0,2 – 0,4 m (d).

Para o monitoramento realizado com a SCD, para as áreas de CN na camada superficial, durante o período das chuvas, o ponto que mais se aproximou do valor médio foi P16, e P10 na profundidade 0,1 – 0,2 m. Durante o período de estiagem, P13 e P14 foram os pontos representativos da média nas respectivas profundidades avaliadas (Figura 6).

Para as áreas de P, durante o período das chuvas, o ponto P3 foi o representativo do comportamento médio na camada superficial e o P1 em 0,1 – 0,2 m. Durante o período de estiagem, P3 e P4 foram os que apresentaram DRM e DP mais adequados para representar a umidade média nas respectivas profundidades avaliadas (Figura 7). Os parâmetros indicativos de estabilidade temporal para cada ponto escolhido nas diferentes condições analisadas, utilizando a SCD, são apresentados na Tabela 6.

Tabela 6. Diferença Relativa Média (DRM) e Desvio Padrão (DP) dos pontos representativos da umidade volumétrica na área da bacia hidrográfica do Jatobá, medida com sonda capacitiva Diviner 2000®

Pontos	CN				P			
	Chuvoso		Estiagem		Chuvoso		Estiagem	
	0,0 – 0,1	0,1 – 0,2	0,0 – 0,1	0,1 – 0,2	0,0 – 0,1	0,1 – 0,2	0,0 – 0,1	0,1 – 0,2
	P16	P10	P13	P14	P3	P1	P3	P4
DRM	-8,5	6,8	-6,0	0,6	-4,4	-0,7	-0,7	7,7
DP	±22,4	±25,9	±23,7	±11,5	±10,5	±22,2	±9,7	±18,5

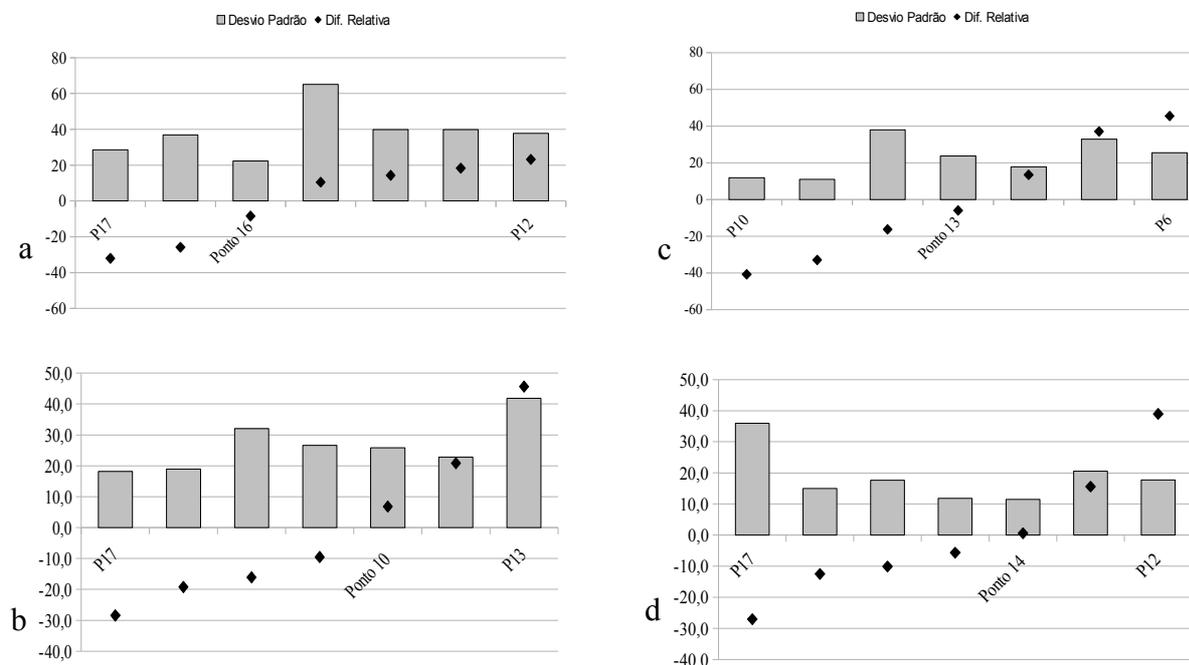


Figura 6. Diferença relativa média e respectivo desvio-padrão da umidade do solo, medida com a Sonda Capacitiva Diviner, nas áreas de caatinga da bacia hidrográfica experimental do Jatobá durante o período chuvoso nas profundidades de 0,0 – 0,1 m (a) e de 0,1 – 0,2 m (b), e durante o período de estiagem, nas camadas 0,0 – 0,1 m (c) e de 0,1 – 0,2 m (d).

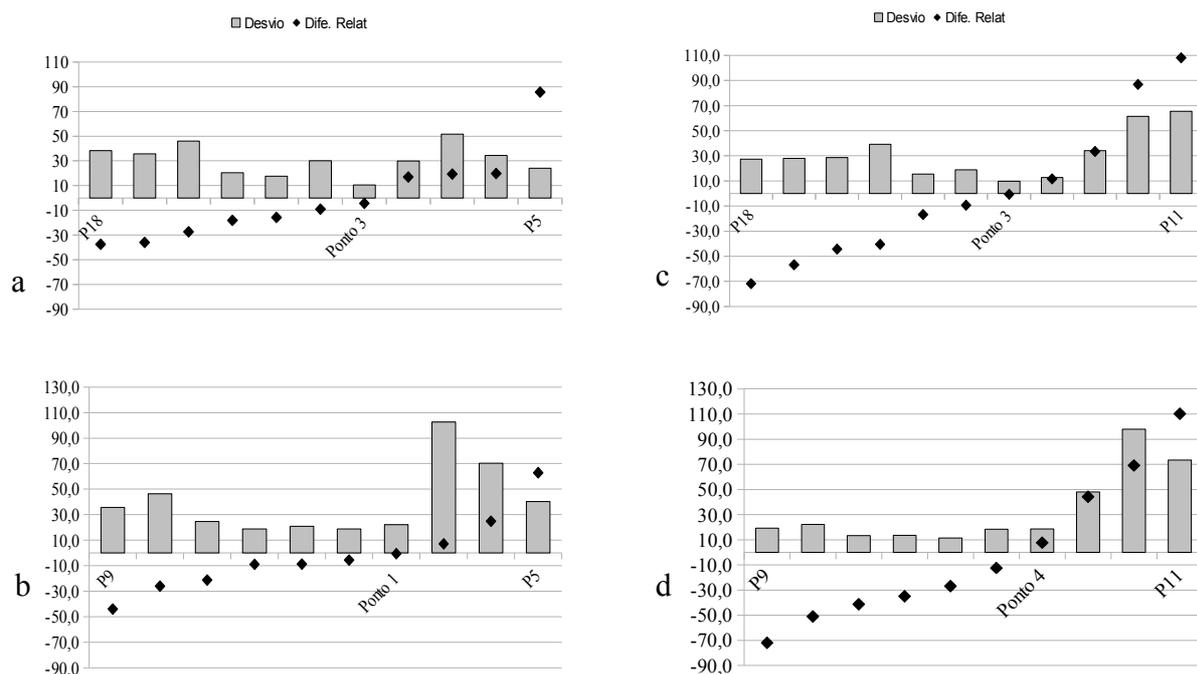


Figura 7. Diferença relativa média e respectivo desvio-padrão da umidade do solo, medida com a Sonda Capacitiva Diviner, nas áreas de pasto da bacia hidrográfica experimental do Jatobá durante o período chuvoso nas profundidades de 0,0 – 0,1 m (a) e de 0,1 – 0,2 m (b), e durante o período de estiagem, nas camadas 0,0 – 0,1 m (c) e de 0,1 – 0,2 m (d).

Para ambos os casos, percebe-se que não houve coincidência de posições representativas para a estimativa das médias nas profundidades estudadas (com exceção da situação de P no período chuvoso e monitoramento com a SN). Este é um aspecto importante para o planejamento da amostragem, tendo em vista que revela uma dependência entre a estabilidade temporal e a profundidade da amostragem, resultando em maior número de posições para execução de um plano de monitoramento da água no solo (Melo Filho e Libardi, 2005).

De acordo com o conceito de estabilidade temporal, o ponto escolhido como estável é aquele no qual se espera representar o comportamento médio da umidade no solo nos demais pontos. Para confirmar a adequação do ponto escolhido como representante para a estimativa de umidade média do solo em campo, também foi realizada análise sobre os erros possíveis de serem cometidos. Na Tabela 7 é apresentada a relação entre os valores medidos nos locais representativos e os correspondentes valores médios calculados para toda a área com a análise de regressão. Melo Filho & Libardi (2005) comentam que essa análise pode melhorar a escolha das posições com estabilidade temporal, já que é possível ocorrer de uma posição

apresentar DRM próxima de zero, mas não reproduzir a mesma tendência da média. Conforme destacado por Fontes Jr. et al. (2012), a comparação entre os valores medidos nos pontos representativos e as médias nos demais pontos é uma etapa essencial para validar o estabelecimento de pontos estáveis no domínio.

Tabela 7. Coeficientes de determinação da análise de regressão entre os pontos considerados estáveis e a média dos locais de monitoramento para cada área estudada e Erro Quadrático Médio entre os valores de umidade dos pontos estáveis e as médias, para os monitoramentos realizados com a Sonda de Nêutrons e Sonda Capacitiva Diviner

Metodologia	Cobertura	Período	Prof. (m)	Ponto	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>R</i> ²	EQM
SN	Caatinga	Chuvoso	0,0 – 0,2	P10	0,88	0,01	0,90	1,65
			0,2 – 0,4	P6	1,16	-0,02	0,78	6,33
		Estiagem	0,0 – 0,2	P6	1,02	0,00	0,93	0,47
			0,2 – 0,4	P10	0,60	0,02	0,99	1,75
	Pasto	Chuvoso	0,0 – 0,2	P4	1,30	-0,03	0,99	3,46
			0,2 – 0,4	P4	1,63	-0,08	0,95	5,02
		Estiagem	0,0 – 0,2	P3	0,96	0,01	0,87	0,97
			0,2 – 0,4	P1	0,86	0,01	0,94	0,40
SCD	Caatinga	Chuvoso	0,0 – 0,1	P16	0,76	0,01	0,76	7,97
			0,1 – 0,2	P10	1,49	-0,04	0,92	9,69
		Estiagem	0,0 – 0,1	P13	1,24	-0,01	0,71	2,40
			0,1 – 0,2	P14	0,78	0,02	0,77	0,40
	Pasto	Chuvoso	0,0 – 0,1	P3	0,91	0,01	0,86	1,91
			0,1 – 0,2	P1	1,20	-0,03	0,80	5,9
		Estiagem	0,0 – 0,1	P3	0,79	0,01	0,94	0,37
			0,1 – 0,2	P4	0,82	0,02	0,80	1,78

Em que *a* e *b* são parâmetros da equação $\theta v_{\text{ponto estável}} = a\theta v_{\text{média}} + b$, *R*² é o Coeficiente de Determinação e EQM = Erro Quadrático Médio

É possível observar o bom ajuste entre os valores médios medidos e os estimados, com coeficientes de determinação elevados, entre *R*² = 0,78 e *R*² = 0,99 para as medições com a SN, e de *R*² = 0,71 a *R*² = 0,94 para aquelas com a SCD. O Erro Quadrático Médio é uma forma de avaliar a diferença entre um estimador e o verdadeiro valor da variável estimada, sendo aqui considerados como a indicação de umidade no ponto com estabilidade e o valor médio da área. Observa-se que o EQM foi menor nas camadas superficiais do solo, e que esses foram sempre menores para o período de estiagem. Isso indica a necessidade de diferenciação entre períodos na análise de estabilidade temporal da umidade do solo, e que o método é mais eficiente nos períodos de estiagem. Brocca et al. (2009) investigando a eficiência da utilização de pontos representativos para três áreas, em um estudo em escala de parcela, encontraram valores de coeficiente de determinação entre os valores medidos e

aqueles do ponto representativo de 0,89 a 0,99, e valores de EQM de 1,81%. Martínez-Fernandez & Cebalos (2005), em análise com a mesma finalidade, investigando duas áreas na escala de bacia, encontraram valores semelhantes, com coeficientes de determinação iguais a 0,84 e 0,92 e EQM de 1,4% e 2% para as duas áreas estudadas. A análise de correlação entre a umidade do ponto estável e a média da área também apresentou um bom ajuste no trabalho de She et al. (2012), com coeficientes de determinação iguais a 0,97 e 0,94 para duas profundidades avaliadas.

Da mesma forma que são encontrados os pontos representativos para cada área, mediante a observação das DRM é possível determinar as localizações que subestimaram ou superestimaram a média de umidade do solo durante os RM e seus DP para esses pontos são apresentados na Tabela 8, para o monitoramento utilizando a SN e Tabela 9 para aquele com a SCD.

Tabela 8. Valores extremos de Diferença Relativa Média da umidade do solo e seus Desvio-padrão para o monitoramento realizado com a sonda de nêutrons

Período	Parâmetros	Caatinga				Pasto			
		0,0 – 0,2 m		0,2 – 0,4 m		0,0 – 0,2 m		0,2 – 0,4 m	
		DRM	DP	DRM	DP	DRM	DP	DRM	DP
		-----%-----							
Chuvoso	Máx	31,1	±20,9	44,0	±40,9	38,3	±25,7	32,7	±30,2
	Mín	-27,5	±12,5	-28,2	±15,6	-35,2	±25,7	-56,9	±22,1
	Amplitude	58,6		72,2		73,5		89,6	
Estiagem	Máx	76,8	±42,3	35,3	±23,8	38,8	±29,6	88,7	±33,9
	Mín	-38,4	±27,8	-24,7	±18,3	-52,1	±26,7	-66,1	±21,8
	Amplitude	116,1		60,0		90,9		154,8	

Tabela 9. Valores extremos de Diferença Relativa Média da umidade do solo e seus Desvio-padrão para o monitoramento realizado com a sonda capacitiva Diviner 2000®

Período	Parâmetros	Caatinga				Pasto			
		0,0 – 0,1 m		0,1 – 0,2 m		0,0 – 0,1 m		0,1 – 0,2 m	
		DRM	DP	DRM	DP	DRM	DP	DRM	DP
		-----%-----							
Chuvoso	Máx	23,2	±37,8	45,6	±41,9	85,7	±24,0	62,9	±40,4
	Mín	-32,0	±28,5	-28,4	±18,2	-37,6	±38,3	-44,0	±35,8
	Amplitude	55,2		74,0		123,3		106,9	
Estiagem	Máx	45,5	±25,5	39,0	±17,8	108,0	±65,4	110,3	±73,3
	Mín	-40,8	±11,8	-27,0	±35,9	-71,8	±27,4	-71,9	±19,2
	Amplitude	86,3		66,0		179,8		182,2	

Observa-se que para ambas as áreas ocorre um aumento nas faixas de valores de DRM nos períodos de estiagem, o que pode ser explicado por uma maior heterogeneidade espacial nos valores de umidade nesse período. Ainda, os valores absolutos das DRM mínimas tendem a ser menores que as máximas. Esses resultados estão de acordo com os encontrados nos trabalhos de Cosh et al. (2008), Hu et al. (2010) e Gao & Shao (2012).

É importante destacar que embora tenha havido a preocupação de agrupar pontos que apresentem algumas condições em comum (situações de cobertura vegetal e períodos de ocorrência das chuvas e estiagem), para esses conjuntos de dados formados, os pontos que apresentaram maiores valores de DRM são aqueles que se associam a uma condição distinta do ponto estável, havendo uma associação entre aumento dos valores de DRM (locais que superestimaram e subestimaram o valor médio da umidade do solo) em função do aumento no teor de argila nesses pontos (Tabela 1). Brocca et al. (2009), estudando estabilidade temporal da umidade do solo em três áreas com texturas diferentes na Itália, descobriram que o aumento da DRM e do DP estavam associados com a redução no teor de argila e também ao aumento da declividade, como também encontrado por Brocca et al. (2007) e Jacobs et al. (2004). Diferentemente desses autores, Souza et al. (2011) encontraram em seu trabalho, menor variabilidade na área com maior teor de areia, e justificaram esse comportamento pela presença de cobertura morta no tratamento, o que reforça a importância do estudo detalhado da associação de fatores textura e cobertura vegetal no comportamento da umidade e investigação da estabilidade temporal.

Os elevados valores de DRM e DP podem estar associados à heterogeneidade das demais condições de localização de cada ponto de monitoramento, onde locais de mesma condição de cobertura vegetal estão expostos a influência das características distintas dos tipos de solos presentes na área da bacia além da elevação, orientação de vertentes (que determina a intensidade de insolação que o ponto fica exposto) e condição de declividade em cada local de monitoramento. Estudando a importância de alguns desses fatores no comportamento da estabilidade temporal, Joshi et al. (2011) verificaram que textura e topografia controlaram o comportamento de estabilidade temporal da umidade do solo, como já mencionado. Gómez-Plaza et al. (2001) observaram que em regiões semiáridas a influência da orientação de vertentes está relacionada com a magnitude do conteúdo de água na bacia, sendo predominante sob condições úmidas, explicando mais de 40% da variabilidade do conteúdo de água no solo, e praticamente insignificante sob condições secas.

O aumento da variabilidade (aumento na DRM dos locais que superestimam e subestimam os valores médios) encontrada para os períodos de estiagem, frente àqueles de

ocorrência das chuvas, pode ser explicado pelo fato de que, embora no período chuvoso haja uma tendência a ser mais difícil encontrar o ponto com estabilidade temporal, pela frequência da recarga por ocorrência das chuvas, esse fato contribui menos para a variabilidade da umidade frente aquela imposta pela demanda da vegetação e pela evaporação durante o período de estiagem, tendo por consequência uma variação maior nos valores da diferença relativa média e seus desvios-padrão. Gómez-Plaza et al. (2000), estudando os fatores que controlam a estabilidade temporal do conteúdo de água no solo, relataram que alterações da cobertura vegetal durante o período vegetativo influenciam no padrão de estabilidade temporal, sendo essa característica típica das pastagens de cada região.

Isso reforça o fato que a região de semiárido apresenta comportamento distinto quanto aos padrões de variáveis hidrológicas. Ávila et al. (2010) encontraram um aumento nos desvios-padrão durante o período de estiagem em uma área de várzea de uma bacia na região da Serra da Mantiqueira – Minas Gerais, associando a esse comportamento a possível influência de características ambientais da área estudada, especialmente condições de uso e cobertura do solo, além de aspectos ligados à topografia local. Gómez-Plaza et al. (2000) obtiveram valores de diferença relativa superiores a 60%, numa região de semiárido no sudeste da Espanha, com trabalho em escala de bacia, e alta participação da evapotranspiração influenciando no comportamento da umidade do solo. Souza et al. (2011), em um estudo em escala de parcelas, também desenvolvido na região semiárida de Pernambuco, encontraram valor de diferença relativa superior à 45%. Isso indica que, para uma análise mais detalhada da estabilidade temporal da umidade do solo na bacia hidrográfica do Jatobá, é preciso que haja um agrupamento de pontos mediante a observância de demais aspectos, o que atualmente requer uma expansão da rede de monitoramento da área em estudo, que está além do escopo dessa pesquisa.

Correlação de Spearman

A persistência temporal foi investigada usando o coeficiente de correlação de Spearman entre as campanhas de monitoramento realizadas em momentos diferentes. A análise permite verificar se a distribuição espacial da umidade do solo se mantém estável no tempo, ou seja, se locais mais úmidos e mais secos mantêm o mesmo padrão. Os coeficientes de correlação de Spearman calculados para as diferentes condições de cobertura, entre uma leitura da umidade do solo e o monitoramento imediatamente anterior, estão apresentados na Tabela 10 para os valores registrados com SN e na Tabela 11 para aqueles determinados com a SCD.

Tabela 10. Coeficientes de correlação de Spearman e média da umidade do solo para os dados obtidos com sonda de nêutrons, nas áreas de caatinga e pasto, para as profundidades 0,0 – 0,2 m e 0,2 – 0,4 m

Data	Caatinga				Pasto			
	$\bar{\theta}_v$ (cm ³ cm ⁻³)	C_S 0,0 – 0,2	$\bar{\theta}_v$ (cm ³ cm ⁻³)	C_S 0,2 – 0,4	$\bar{\theta}_v$ (cm ³ cm ⁻³)	C_S 0,0 – 0,2	$\bar{\theta}_v$ (cm ³ cm ⁻³)	C_S 0,2 – 0,4
05/11/2010	0,103	0,71	0,143	0,11	0,092	0,61	0,131	0,72
17/12/2010	0,050	0,86	0,064	0,25	0,060	0,54	0,075	0,72
24/01/2011	0,149	0,18	0,125	-0,07	0,173	0,35	0,170	0,41
04/02/2011	0,100	0,64	0,111	0,54	0,120	0,31	0,152	0,96
22/02/2011	0,094	0,71	0,087	0,61	0,114	0,78	0,115	0,93
28/03/2011	0,044	0,71	0,059	0,82	0,045	0,86	0,082	0,66
25/04/2011	0,062	0,89	0,065	0,96	0,083	0,44	0,093	0,93
15/05/2011	0,143	0,57	0,140	0,89	0,154	0,38	0,167	0,48
02/07/2011	0,153	1,00	0,147	1,00	0,164	0,93	0,176	0,96
28/07/2011	0,134	0,96	0,167	0,61	0,181	0,74	0,166	0,58
25/08/2011	0,073	0,82	0,080	0,75	0,104	0,55	0,113	0,90
06/10/2011	0,036	0,82	0,053	0,68	0,048	0,45	0,073	0,89
03/11/2011	0,052	0,18	0,060	0,54	0,041	0,65	0,063	0,95
06/12/2011	0,032	0,46	0,051	0,50	0,032	0,94	0,056	0,81
28/12/2011	0,026	0,93	0,046	0,93	0,036	0,75	0,053	0,90

Para a área de CN há uma predominância por valores maiores na camada superficial do solo, indicando maior estabilidade nessa região. Este fato pode ser explicado pela influência desse tipo de vegetação no comportamento da umidade do solo, sendo mais acentuado nas camadas subsuperficiais devido à demanda de consumo das plantas. Nas áreas de P, os valores de C_S apresentam tendência de serem mais elevados na camada 0,2 – 0,4 m, o que indica que para essas profundidades os locais mais úmidos e mais secos mantiveram o mesmo padrão durante o período experimental. Esse comportamento corrobora com o esperado também por She et al. (2012), em que o aumento da estabilidade é esperado em profundidade, devido à redução da dependência do clima, fatores biológicos e hidrológicos que determinam a dinâmica da umidade do solo.

Analisando os dados obtidos com a SCD, na área de CN a estabilidade pelo coeficiente de Spearman foi maior para a profundidade 0,1 – 0,2 m. Embora se espere que o consumo por esse tipo de vegetação seja maior nas camadas subsuperficiais, o que explica o comportamento distinto dos C_S nos dados da SN, os intervalos de profundidade monitorados pela SCD são menores, justificando assim a maior variabilidade dos registros na camada 0,0 – 0,1 m, por estar mais exposta e passível de sofrer influência da evaporação, fenômeno que

pode estar se sobressaindo ao consumo pela vegetação. Nas áreas de P, a estabilidade pelo C_S foi maior em 0,1 – 0,2 m, semelhante ao comportamento encontrado pelo monitoramento com a SN.

Tabela 11. Coeficientes de correlação de Spearman, para os dados de umidade volumétrica obtidos com a sonda capacitiva Diviner 2000®, nas áreas de caatinga e pasto, para as profundidades 0,0 – 0,1 m e 0,1 – 0,2 m

Data	Caatinga				Pasto			
	$\bar{\theta}_v$	C_S	$\bar{\theta}_v$	C_S	$\bar{\theta}_v$	C_S	$\bar{\theta}_v$	C_S
	($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$)	0,0 – 0,1	($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$)	0,1 – 0,2	($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$)	0,0 – 0,1	($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$)	0,1 – 0,2
05/11/2010	0,064	0,86	0,090	0,89	0,064	0,85	0,104	0,90
17/12/2010	0,042	0,96	0,051	0,46	0,054	0,87	0,074	0,94
24/01/2011	0,161	0,79	0,147	0,57	0,164	0,12	0,176	0,52
04/02/2011	0,082	0,86	0,097	0,71	0,102	0,62	0,130	0,89
22/02/2011	0,114	0,57	0,094	0,64	0,150	0,75	0,131	0,66
28/03/2011	0,046	0,57	0,049	0,79	0,053	0,55	0,076	0,78
25/04/2011	0,070	0,39	0,062	0,93	0,097	0,70	0,095	0,98
15/05/2011	0,133	0,07	0,142	0,50	0,127	0,50	0,172	0,64
02/07/2011	0,179	0,21	0,159	0,89	0,159	0,07	0,227	0,76
28/07/2011	0,174	0,86	0,164	0,93	0,159	0,93	0,256	0,96
25/08/2011	0,093	0,71	0,087	0,93	0,115	0,97	0,182	0,75
06/10/2011	0,036	0,89	0,053	0,93	0,047	0,81	0,102	0,88
03/11/2011	0,084	-0,18	0,075	-0,21	0,063	0,54	0,091	0,88
06/12/2011	0,037	0,14	0,055	0,00	0,035	0,78	0,066	0,71
28/12/2011	0,031	0,93	0,045	0,93	0,031	0,98	0,064	0,85
29/02/2012	0,053	0,43	0,066	0,18	0,048	0,92	0,094	0,92
04/04/2012	0,152	-0,82	0,081	0,86	0,130	0,76	0,149	0,92
27/04/2012	0,037	-0,43	0,060	0,00	0,039	0,78	0,077	0,84
01/05/2012	0,046	0,86	0,057	0,29	0,049	0,97	0,085	0,99
26/07/2012	0,123	-0,04	0,102	0,82	0,099	0,87	0,145	0,93
17/08/2012	0,070	0,21	0,072	1,00	0,079	0,98	0,116	0,99
30/08/2012	0,048	0,79	0,070	1,00	0,054	0,95	0,101	0,99
13/09/2012	0,037	0,93	0,060	0,89	0,039	0,97	0,085	0,99

Os resultados do padrão temporal também indicam haver uma tendência em que a estabilidade diminui com o aumento da umidade associado à ocorrência de chuvas, sendo os menores coeficientes de Spearman encontrados na análise entre períodos que houve uma elevação da umidade média da área, o que tende a se manter estável entre os períodos de chuva ou estiagem, comportamento semelhante ao encontrado por She et al. (2012) e Famiglietti et al. (1998). Gao et al. (2011) concluíram que as análises estatísticas revelaram que os perfis de água no solo tendem a ser mais estáveis temporalmente na estação seca ou na estação chuvosa, do que os resultados incluindo ambos os períodos. Além disso, a estabilidade temporal da umidade do solo tornou-se muito baixa durante o período de transição da estação seca para molhada.

CONCLUSÕES

1. Os pontos estáveis diferiram nos períodos de chuva e estiagem, bem como para as profundidades avaliadas, tanto para os locais com condições de cobertura vegetal do tipo Caatinga Natural como para os locais de Pasto.
2. As maiores variabilidades da diferença relativa média foram encontradas no período de estiagem.
3. As análises de validação indicaram eficiência no método de estabilidade temporal, sendo maior para o período de estiagem.
4. O coeficiente de correlação de Spearman indica maior persistência temporal durante períodos consecutivos de chuva e estiagem, alterando-se expressivamente por ocasião dos momentos de transição entre eles.

REFERÊNCIAS

AMPOFO, E. A. Soil moisture dynamics in Coastal Savanna soils in the tropics under different soil management practices. **Hydrology Sciences**, 51: 1194-1202, 2006.

ANDRADE JÚNIOR, A. S.; SILVA, C. R.; DANIEL, R. Calibração de um sensor capacitivo de umidade em Latossolo Amarelo na microrregião do Litoral Piauiense, **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.2, n.4, p.303-307, 2007.

ANDRADE, A. R. S.; JADOSKI, S. O.; GUERRA, H. C.; GUERRINI, I. A. Influência do tempo de contagem na determinação da densidade de nêutrons **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.5, n.3, p.411-415, 2001.

ARAÚJO, D. L.; CHAVES, L. H. G.; MESQUITA, E. F.; FRANÇA, C. P. Crescimento da Mamoneira Cultivar BRS-149 Nordestina Adubada com Nitrogênio, Fósforo e Potássio. **Engenharia Ambiental**, v.6, n.3, p.685 – 702, 2009.

ÁVILA, L. F.; MELLO, C. R.; SILVA, A. M. Estabilidade Temporal do Conteúdo de Água em três condições de uso do solo, em uma bacia hidrográfica da região da Serra da Mantiqueira, MG. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.34, p.2001 – 2009, 2010.

ÁVILA, L. F. Comportamento espacial e temporal da umidade do solo numa bacia hidrográfica na Serra da Mantiqueira, Minas Gerais. 2008, 110 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). Universidade Federal de Lavras.

BRAGANÇA, R.; BRUM, V. J.; SILVA, J. M. DA; ZINI JÚNIOR, A.; BREGONCI, I. DOS S.; REIS, E. F. DOS; PASSOS, R. R. Avaliação da Umidade de um Latossolo da Região Sul do Estado do Espírito Santo por Diferentes Métodos de Determinação. IX Encontro Latino Americano de Iniciação Científica e V Encontro Latino Americano de Pós-Graduação – Universidade do Vale do Paraíba, 2005.

BROCCA, L.; TULLO, T.; MELONE, F.; MORAMARCO, T.; MORBIDELLI, R. Catchment Scale Soil Moisture Spatial-Temporal Variability. **Journal of Hydrology**, v.422–423, p.63–75, 2012.

BROCCA, L.; MELONE, F.; MORAMARCO, T.; MORBIDELLI, R. Soil moisture temporal stability over experimental areas in Central Italy. **Geoderma**, v.148, p. 364–374, 2009.

BROCCA, L.; MORBIDELLI, R.; MELONE, F.; MORAMARCO, T. Soil moisture spatial variability in experimental areas of central Italy. **Journal of Hydrology** v.333, p.356–373, 2007.

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

CHEN, L.; HUANG, Z.; GONG, J.; FU, B.; HUANG, Y. The effect of land cover/vegetation on soil water dynamic in the hilly area of the Loess Plateau, China. **Catena**, v.70, p.200 – 208, 2007.

COMEGNA, V.; BASILE, A. Temporal stability of spatial patterns of soil water storage in a cultivated Vesuvian Soil. **Geoderma**, v.62, p. 299 – 310, 1994.

CORREA, M. M.; RIBEIRO, M. R. Levantamento detalhado de solos da fazenda Nossa Senhora do Rosario (Pesqueira – PE). Recife: UFRPE/UFPE/CNPq/BNB. 35p. Relatório Técnico, 2001.

COSH, M. H.; JACKSON, T. J.; MORAN, S.; BINDLISH, R. Temporal persistence and stability of surface soil moisture in a semi-arid watershed. **Remote Sensing of Environment** v.112, p. 304 – 313, 2008.

COSH, M. H.; JACKSON, T. J.; BINDLISH, R.; PRUEGER, J. H. Watershed scale temporal and spatial stability of soil moisture and its role in validating satellite estimates, **Remote Sensing of Environment** v. 92, p. 427–435, 2004.

COSTA, N. H. A. D.; SERAPHIN, J. C.; ZIMMERMANN, F. J. P. Novo método de classificação de coeficientes de variação para a cultura do arroz de terras altas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.37, n.3, p.243-249, 2002.

DETOMINI, E. R. Técnicas de avaliação de água no solo baseadas no uso de refletômetro no domínio de frequência - FDR. Relatório Técnico, Piracicaba: 49p, 2007.

SHE, D.; LIU, Y.; SHAO, M.; TIMM, L. C.; YU, S. Temporal stability of soil water content for a shallow and deep soil profile at a small catchment scale. **Australian Journal of Crop Science**. v. 6, n. 7, p. 1192-1198, 2012.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA — EMBRAPA. **Manual de métodos de análises de solo**. 2.edição. Rio de Janeiro, Ministério da Agricultura e do Abastecimento, 212p, 1997.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA — EMBRAPA. **Levantamento de Reconhecimento de Baixa e Média Intensidade dos Solos do Estado de Pernambuco**, 2000. Escala: 1:100.000.

FAMIGLIETTI, J. S.; RUDNICKI, J. W.; RODELL, M. Variability in surface moisture content along a hillslope transect: Rattlesnake Hill, Texas. **Journal of Hydrology**, v.210, p.259 – 281, 1998.

GAO, L.; SHAO, M. Temporal stability of soil water storage in diverse soil layers. **Catena**, v.95 p.24–32, 2012.

GAO, X.; WU, P.; ZHAO, X.; SHI, Y.; WANG, J. Estimating spatial mean soil water contents of sloping jujube orchards using temporal stability. **Agricultural Water Management**, v.102, p.66 – 73, 2011.

GÓMEZ-PLAZA, A., et all. Factors regulating spatial distribution of soil water in small semiarid catchments. **Journal of Hydrology**, v.253, p.211 – 226, 2001.

GÓMEZ-PLAZA, A.; ALVAREZ-ROGEL, J.; ALBALADEJO, J.; CASTILLO, V. M. Spatial patterns and temporal stability of soil moisture across a range of scales in semi-arid environment, **Hydrological Processes**, v.14, p.1261 – 1277, 2000.

GONÇALVES, A. C. A.; FOLEGATTI, M. A. & SILVA, A. P. Estabilidade temporal da distribuição espacial da umidade do solo em área irrigada por pivô central. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.23, p.155 – 164, 1999.

GRAYSON, R. B.; WESTERN, A. W. Towards areal estimation of soil water content from point measurements: time and space stability of mean response, **Journal of Hydrology**, v.207, p.68 – 82, 1998.

HAN, E.; VENKATESH, M.; HEATHMAN, G. C. Implementation of surface soil moisture data assimilation with watershed scale distributed hydrological model. **Journal of Hydrology** p.416 – 417, p.98 – 117, 2012.

HEATHMAN, G. C.; COSH, M. H.; MERWADE, V.; HAN, E. Multi-scale temporal stability analysis of surface and subsurface soil moisture within the Upper Cedar Creek Watershed, Indiana. **Catena**, v.95, p.91 – 103, 2012.

HU, W.; SHAO, M. A.; HAN, F. P.; REICHARDT, K.; TAN, J. Watershed scale temporal stability of soil water content. **Geoderma**, v.158, p.181 – 198, 2010.

JACOBS, J. M.; MOHANTY, B. P.; HSU, E. C.; MILLER, D. SMEX02: field scale variability, time stability and similarity of soil water. **Remote Sensing of Environment**, v.92, p. 436 – 446, 2004.

JOSHI, C.; MOHANTY, B. P.; JACOBS, J. M.; INES, A. V. M. Spatio temporal analyses of soil moisture from point to footprint scale in two different hydroclimatic regions, 2011. **Water Resources Research**, v.47, W01508, doi:10.1029/2009WR009002.

LEMOS FILHO, L. C. A. Estabilidade Temporal e Análise Espacial do Armazenamento de Água em Solo Arenoso da Região de Petrolina-PE, 2010, 151p. Tese (doutorado em Engenharia de Água e Solo). Universidade Federal Lavras. Departamento de Engenharia Agrícola.

MARTINEZ-FERNANDEZ, J.; CEBALLOS, A. Mean soil moisture estimation using temporal stability analysis, **Journal of Hydrology** v.312, p. 28 – 38, 2005.

MEDEIROS, J. D. F.; GOLDENFUM, J. A.; CLARKE, R. T. Variabilidade Espacial do Conteúdo de Água no Solo numa Pequena Bacia Rural: 3. Análise da estabilidade Temporal do Padrão Espacial do Conteúdo de Água no Solo. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.12, p.53 – 63, 2007.

MELO, R. O.; MONTENEGRO, A. A. A.; ARAÚJO, P. R. Aplicação de sonda capacitiva Diviner e de Nêutrons para monitoramento da umidade do solo na Bacia Experimental do Riacho Jatobá – PE. In: XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2011, Maceió. Anais do XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Porto Alegre: ABRH.

MELO FILHO, J. F.; LIBARDI, P. L. Estabilidade temporal de medidas do teor e do potencial mátrico da água no solo em uma transeção. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.29, p.497 – 506, 2005.

MONTE-MOR, R. C. DE A.; PALMIER, L. R.; ANDRADE PINTO, E. J.; LIMA, J. DO E. S. Estabilidade Temporal da Distribuição Espacial da Umidade do Solo em uma Bacia Intermitente no Semiárido de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos** v.17, n.3, 101 – 113, Jul/Set 2012.

PETILLO, M. G.; CASTEL. J. R. Water balance and crop coefficient estimation of a citrus orchard in Uruguay. **Spanish Journal of Agricultural Research**, v.5, n.2, p.232 – 243, 2007.

ROBINSON, D. A.; CAMPBELL, C. S.; HOPMANS, J.W.; HORNBUCKLE, B.K.; JONES, S.B.; KNIGHT, R.; OGDEN, F.; SELKER, J.; WENDROTH, O. Soil moisture measurement for ecological and hydrological watershed-scale observatories: A review. **Vadose Zone Journal** v.7, p.358 – 389, 2008.

SANTOS, T. E. M. Dinâmica Espacial e Temporal da Umidade do Solo em Bacia Experimental do Semiárido Pernambucano, 2010, 68p. Tese (doutorado em ciência do solo). Universidade Federal Rural de Pernambuco. Departamento de Agronomia.

SANTOS, T. E. M.; MONTENEGRO, A. A.; SILVA, V. P.; MONTENEGRO, S. M. G. L. Erosão hídrica e perda de carbono orgânico em diferentes tipos de cobertura de solo no semi-árido, em condições de chuva simulada, **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.12, p.1 – 15, 2008.

SENTEK PTY. (1999). Diviner 2000. Guia del usuário. Versión 1.0.

SILVA, C. R.; ANDRADE JUNIOR, A. S.; ALVES JUNIOR, J.; SOUZA, A. B.; MELO, F.B.; COELHO FILHO, M. A. Calibration of a Capacitance Probe in a Paleudult. **Scientia Agricola** v.64, n.6, p.636 – 640, 2007.

SOUZA, E. R.; MONTENEGRO, A. A. DE A.; MONTENEGRO, S. M. G.; DE MATOS, J. DE A. Temporal stability of soil moisture in irrigated carrot crops in Northeast Brazil. **Agricultural Water Management**, v.99, p.26 – 32, 2011.

SOUZA, W. G. Modelagem da Evapotranspiração em Plantios de Eucalipto em Fase Inicial de Desenvolvimento com Cobertura Parcial do Solo. 2006, 56p, Dissertação (Mestrado em Meteorologia Agrícola). Universidade Federal de Viçosa – MG.

STARKS, P. J.; HEATHMAN, G. C.; JACKSON, T. J.; COSH, M. Temporal stability of soil moisture profile. **Journal of Hydrology**, v.342, p.400 – 411, 2006.

TIMM, L. C.; DOURADO-NETO, D.; BACCHI, O. O. S.; HU, W.; BORTOLOTTI, R. P.; SILVA, A. L.; BRUNO, I. P.; REICHARDT, K. Temporal variability of soil water storage evaluated for a coffee field. **Soil Research** v.49, p. 77 – 86, 2011.

VACHAUD, G.; PASSERAT DE SILANS, A.; BALABANIS, P.; VAUCLIN, M. Temporal stability of spatially measured soil water probability density function. **Soil Science Society of America Journal**, v.49, p.822 – 827, 1985.

VAN PELT, R. S. & WIERENGA, P. J. Temporal stability of spatially measured soil matrix potential probability density function. **Soil Science Society of America Journal** v.65, p.668 – 677, 2001.

CAPÍTULO II

RESUMO

MELO, R. O. **Dinâmica temporal da umidade do solo em uma bacia hidrográfica no semiárido Pernambucano.** 2013. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal Rural de Pernambuco.

O conhecimento da dinâmica espaço-temporal da umidade do solo torna-se ainda mais importante em regiões onde sua disponibilidade é menor, como ocorre nas regiões de semiárido. A sua descrição, com o conhecimento dos fatores controladores torna-se importante para o melhor aproveitamento desse recurso. Baseado nessa consideração, o objetivo desse trabalho foi avaliar o comportamento temporal da umidade do solo em uma bacia hidrográfica experimental localizada no município de Pesqueira, região do semiárido Pernambucano. Os registros de umidade foram obtidos utilizando uma sonda de nêutrons, nas profundidades 0,0 – 0,2 m e 0,2 – 0,4 m, no período entre outubro de 2010 e dezembro de 2011. O monitoramento foi realizado em 18 pontos da bacia, distribuídos em locais com presença de Caatinga Natural e áreas de Pasto na condição de sequeiro. Os pontos de monitoramento foram ainda separados em relação a sua localização ao ponto médio da bacia, considerando seu comprimento axial, compondo quatro tratamentos descritos por Caatinga Natural a Montante – CNM e a Jusante – CNJ e Pasto a Montante – PM e a Jusante – PJ. Os dados foram submetidos à análise estatística descritiva, considerando também a precipitação antecedente a cada monitoramento realizado. Foi possível verificar que áreas localizadas no Argissolo Amarelo (CNM e PM) apresentam valores de umidade maiores em função da sua maior capacidade de retenção. Porém, CNJ e PJ, situados em solos do tipo Neossolo Regolítico e Litólico, apresentam maiores incrementos de umidade por ocorrência dos eventos de chuva. Constata-se uma elevada variabilidade temporal, pouco influenciada pelos diferentes tratamentos, e diretamente dependente da variabilidade sazonal das chuvas.

Termos de indexação: variabilidade da umidade, sonda de nêutrons, Caatinga.

CHAPTER II

ABSTRACT

MELO, R. O. Temporal Dynamics of Soil Moisture in a watershed in the semiarid Pernambucano. 2013. Thesis (Thesis – Doctorate in Agricultural Engineer) – Universidade Federal Rural de Pernambuco.

The knowledge of the moisture spatio-temporal dynamics becomes even more important in areas where its availability is lower, as in semiarid regions. Its description considering of the controlling factors is important for the best use of such resource. Based on this consideration, the aim of this study was to evaluate the temporal behavior of soil moisture in an experimental watershed located in Pesqueira, semiarid region of Pernambuco. The moisture records were obtained using a neutron probe at depths from 0.0 to 0.2 m and 0.2 - 0.4 m, in the period between October 2010 and December 2011. Monitoring was conducted at 18 points in the watershed, distributed at locations with Natural Caatinga and in areas of upland pasture. The monitoring points were further separated according to its location with respect to the midpoint of the basin, considering its axial length, comprising four treatments described as the Caatinga upstream – CNM and Downstream – CNJ, and Pasture upstream – PM and Downstream – PJ. The data were submitted to descriptive statistical analysis, considering also the antecedent rainfall for each monitoring event conducted. It has been noticed that areas located at the Yellow Argisol (CNM and PM) have higher moisture values due to its higher retention capacity. However, PJ and CNJ, located in Regolitic Neosol and Litholic soil types, showed higher moisture increments due to rainfall events. There is a trend that the PM treatment presenting the higher moisture. It has been verified a high temporal variability, with little influence of the different treatments, and being directly dependent on the seasonal variability of rainfall.

Index terms: variability of moisture, neutron probe, Caatinga.

INTRODUÇÃO

O entendimento do comportamento hidrológico de bacias depende da disponibilidade de dados, e a manutenção de redes de monitoramento demanda elevados recursos econômicos, principalmente no caso de medições das variáveis umidade do solo, escoamento superficial em encostas, vazão sólida etc, além das variáveis de precipitação, evaporação e vazão. Em regiões semiáridas a situação é agravada pela necessidade de medições contínuas de forma a representar eventos climatológicos não frequentes (Monte-Mor et al., 2012).

A umidade no solo constitui-se numa das variáveis mais importantes nos processos de troca entre o solo e a atmosfera, bem como para estudos de infiltração, drenagem, condutividade hidráulica e irrigação (Rossato et al., 2004). Além disso, é uma variável indispensável para o entendimento de muitos processos hidrológicos que estão envolvidos em uma grande variedade de processos naturais (geomorfológicos, climáticos, ecológicos, etc.) que atuam em diferentes escalas espaço-temporal (Entin et al. 2000). Logo, é de capital importância o conhecimento da umidade do solo para estudos de seu comportamento bem como para adoção de determinadas práticas de manejo culturais e irrigação (Bernardo et al., 2005).

O solo tem a capacidade de reter água armazenando-a por um determinado tempo. A sua manutenção depende de alguns fatores já que ela pode ser absorvida pelas plantas, ou então ser perdida para a atmosfera ou ainda infiltrar-se. A presença da umidade é favorecida em locais onde há argila, agregados e matéria orgânica em abundância, e também pelo tipo de cobertura que é oferecido, seja ela morta, como a serrapilheira, restos de colheitas e geotêxteis, ou culturas que propiciem a conservação da umidade do solo ou qualquer outro tipo de proteção que não permita que as condições atmosféricas como o vento, a temperatura ou a insolação ajam diretamente sobre o solo (Garbin et al., 2006).

No entanto, a umidade do solo possui alta variabilidade no espaço e no tempo, em face da influência de diversos processos estáticos e dinâmicos no solo, além da interferência das mudanças sazonais no regime de chuvas. Nesse aspecto, é relativamente complexo descrever os processos ou fatores dominantes que podem influenciar na variabilidade espaço-temporal da umidade do solo, devido à heterogeneidade e à diversidade das condições ambientais envolvidas (Ávila et al., 2011).

O conteúdo de água em um determinado ponto é influenciado por um conjunto de fatores, entre os quais se destacam a precipitação e a temperatura antecedente, a textura do

solo, a qual determina a capacidade em armazenar água, o declive, por afetar o escoamento superficial e a infiltração, e ainda o tipo e a densidade da cobertura vegetal, os quais interferem no volume de água, através de mecanismos de evapotranspiração, radiação solar e outros fatores meteorológicos (Medeiros & Clarke, 2007; Gómez-Plaza et al., 2000; Illston et al., 2004; Medeiros 2004; Qiu et al., 2001). Para Robinson et al. (2008), a topografia e a posição do declive são dominantes durante os períodos úmidos, enquanto os aspectos da vegetação, da textura do solo e da sua estrutura vertical são mais importantes nos períodos secos. Para Santos (2010), é difícil identificar a importância relativa destes fatores devido a suas mútuas e múltiplas influências na umidade do solo. Consequentemente, a relação entre umidade do solo e os fatores mencionados acima necessitam ser estudados em vários locais e em diferentes escalas, em particular em bacias experimentais.

Muitos estudos têm relatado os principais fatores que governam a variabilidade temporal e espacial do conteúdo de água no solo, na camada superficial, sob diferentes tipos de vegetação (Ramos & Martínez-Casasnovas, 2006). O uso do solo pode afetar significativamente suas propriedades, como densidade, taxa de infiltração e o conteúdo de água disponível (Haghighi et al., 2010). Como as propriedades do solo são os principais fatores que controlam variações de água no solo (Vachaud et al, 1985; Hu et al, 2010), o seu uso pode influenciar as variações da umidade por alterar as propriedades deste (Gao et al., 2011). Nesse sentido, estudos têm demonstrado o uso do solo como um dos principais fatores que controlam a variabilidade da umidade (Qiu et al., 2010; Pan e Wang, 2009; Chen et al., 2007; Gross et al, 2008). Li et al. (2009) mostraram que a mudança do uso do solo de floresta para pastagem diminuiu em 188% os níveis de umidade do solo durante o período de 1981-2000 em uma bacia agrícola na China. Santos et al. (2010), em estudo realizado na bacia representativa do Alto Ipanema, localizada na região Agreste do Estado de Pernambuco, observaram que a umidade do solo apresentou elevada variabilidade no tempo, estando relacionada aos diferentes tipos de cobertura e propriedades do solo, sendo mais dependente da intensidade de precipitação do que do total precipitado, bem como da umidade antecedente. As relações entre a umidade do solo e as características da superfície devem ser estudadas em uma variedade de locais, devido ao fato de que os fatores que controlam a umidade do solo em regiões úmidas serem diferentes daqueles em regiões áridas e semiáridas (Cantón et al., 2004).

Heterogeneidade nas características do solo, tais como textura, conteúdo de matéria orgânica, estrutura e existência de macroporosidade, afetam a transmissividade do fluido e as propriedades de retenção da água no solo; consequentemente, afetam a distribuição do

conteúdo de água. Adicionalmente, a cor do solo afeta seu albedo e a taxa de evaporação (Medeiros 2004). A inclinação do eixo da Terra em relação ao Sol determina o ângulo da incidência da radiação solar na crosta terrestre (Mello, 2009). Diferenças no aporte de energia são determinantes para aspectos como composição e diversidade de espécies, fisionomia e produtividade (Bale & Charley, 1994; Chen et al., 1997; Bale et al., 1998). Da variedade de feições topográficas de um terreno resultam diferenças no recebimento de energia solar que fazem da topografia e da orientação de vertentes fatores importantes na determinação de características ec hidrológicas (Takyu & Aiba, 2002).

Chen et al. (2007) estudaram o efeito de diferentes condições de superfície na umidade do solo e geração de escoamento superficial, em região árida da China. Estes autores verificaram que para a conservação da água, a vegetação formada por gramíneas e plantas herbáceas foram as que apresentaram melhor resultado, enquanto que o cultivo morro abaixo foi o de menor conservação dessa variável. Abordando a questão da invasão de pastos não nativos, Wilcox et al. (2012) discutem que em áreas de desertos quentes, a substituição da vegetação nativa por gramíneas não nativas usualmente provoca redução no escoamento superficial e tem pequeno efeito na evapotranspiração. Montenegro & Ragab (2010), trabalhando com simulação de cenários futuros e avaliação do risco à desertificação em uma região de semiárido brasileiro, concluíram que elevadas perdas nas vazões e recarga da água subterrânea são esperadas para 2099, com comprometimento da disponibilidade dos recursos hídricos e possibilidade de consolidação de um cenário de clima seco no futuro. Concluíram, ainda, que a substituição de 1.000 hectares de áreas de pasto por mamona aumentaria as taxas de escoamento e recarga, sendo esse incremento ainda maior para a substituição prevista nas áreas de caatinga. Essa conclusão pode contribuir para as políticas ambientais do nordeste brasileiro e às perspectivas de produção de biodiesel na região.

Diante do que foi exposto, o objetivo desse trabalho é investigar a variabilidade temporal da umidade do solo na superfície e subsuperfície, sob condições de cobertura vegetal de caatinga e pasto, em uma bacia experimental na região do semiárido pernambucano, utilizando na determinação uma sonda de nêutrons.

MATERIAL E MÉTODOS

Localização e características da área de estudo

A área de estudo é a Bacia Experimental do Jatobá, localizada no município de Pesqueira, na região de Agreste do estado de Pernambuco, situada entre as coordenadas 8° 34' 17" e 8° 18' 11" de Latitude Sul, e 37° 1' 35" e 36° 47' 20" de Longitude Oeste (Figura 1). Inserida na Bacia Representativa do Riacho Mimoso, pertencente ao sistema do rio Ipanema, a microbacia possui uma área de 12,44 km² e um perímetro de 16 km. O rio principal que percorre a bacia possui 6,5 km de extensão.

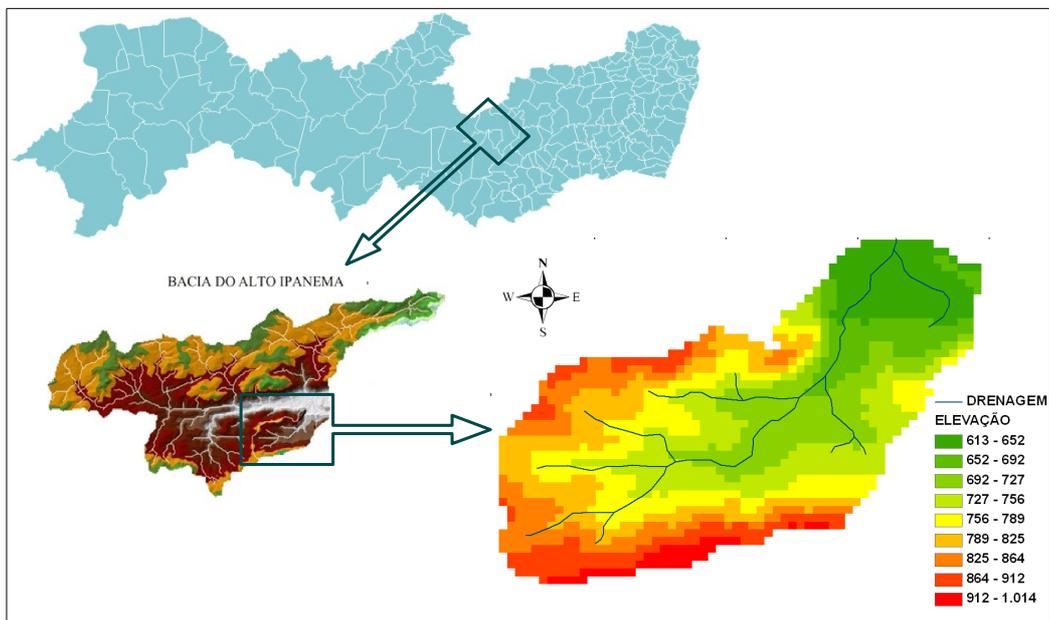


Figura 1. Bacia experimental do riacho Jatobá, localizada no município de Pesqueira.

A precipitação média anual na região é de 607 mm, com temperatura média de 23°C e evapotranspiração potencial anual de cerca de 2.000 mm (Santos et al., 2008). A vegetação predominante é a caatinga hipoxerófila, cactáceas e bromeliáceas. As unidades pedológicas encontradas na área da bacia são Argissolo Amarelo na porção mais à montante; Neossolo Litólico nas encostas circundantes, e Neossolo Regolítico na porção à jusante da bacia (Corrêa & Ribeiro, 2001). A bacia faz parte da Rede de Hidrologia do Semiárido (REHISA).

Monitoramento

– Precipitação

Na área da bacia experimental há três pluviômetros automáticos instalados, modelo TB4-L Rain Gauge da Campbell Scientific (Figura 2), com precisão de 0,254 mm. Os

aparelhos automáticos são equipados com um datalogger, programado para registrar a precipitação a cada 5 minutos durante o evento de chuva. A rede de monitoramento também dispõe de um pluviômetro Ville de Paris. Considerando a variabilidade espacial da distribuição das chuvas, as informações de precipitação para cada porção da bacia hidrográfica foram obtidas através dos registros de dois pluviômetros, formando um agrupamento de dois pares de aparelhos que se distribuem à montante e jusante a partir do ponto médio do comprimento axial da bacia. A análise das precipitações foram feitas considerando o maior valor registrado para cada um dos pares de pluviômetros. Além da análise isolada do comportamento de distribuição das precipitações dentro da área da bacia, essas informações foram utilizadas na investigação do comportamento da umidade do solo.



Figura 2. Pluviômetro automático instalado na área da bacia do Jatobá.

– *Umidade do solo*

A umidade do solo foi determinada utilizando uma sonda de nêutrons – SN, tipo 503 DR HYDROPROBE® (Figura 3). Os tubos de acesso, em PVC, foram instalados compondo uma rede de monitoramento que atualmente conta com 18 locais de medição. Durante o monitoramento, o tempo de contagem utilizado nas medições com a SN foi de 30 segundos, de acordo com o proposto por Andrade et al. (2001).

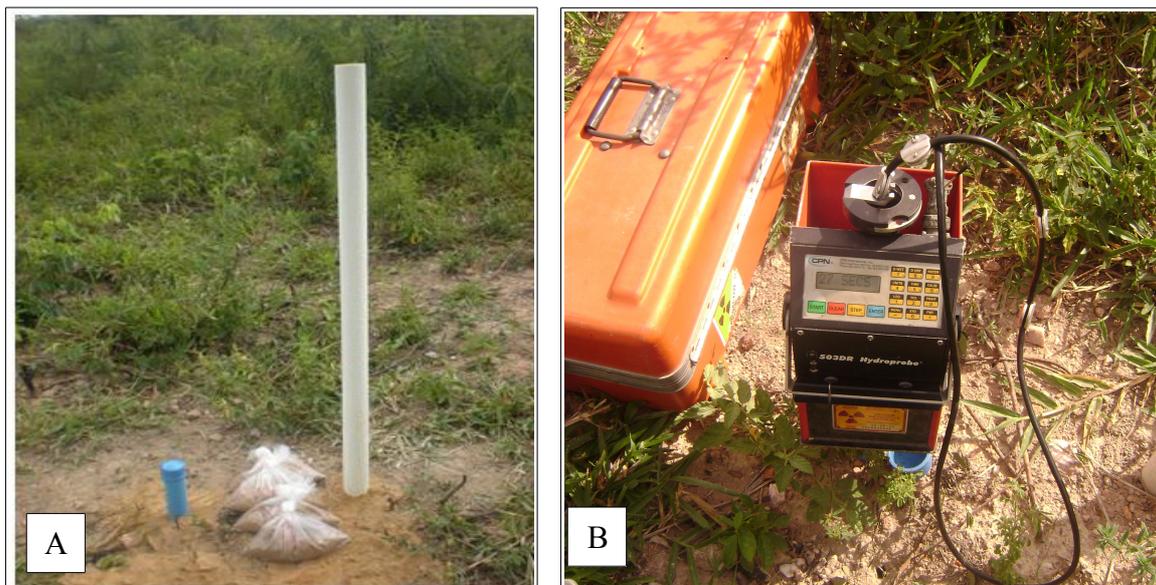


Figura 3. Tubos de acesso para sonda de Nêutrons instalado em um ponto de monitoramento da Bacia Hidrográfica do Jatobá (A); Monitoramento da umidade do solo na bacia hidrográfica do riacho Jatobá utilizando sonda de nêutrons (B).

Os dados de umidade volumétrica analisados nesse trabalho são aqueles obtidos das profundidades 0,0 – 0,2 m e 0,2 – 0,4 m, nos locais com presença de Caatinga Natural - CN e Pasto – P (Figura 4).

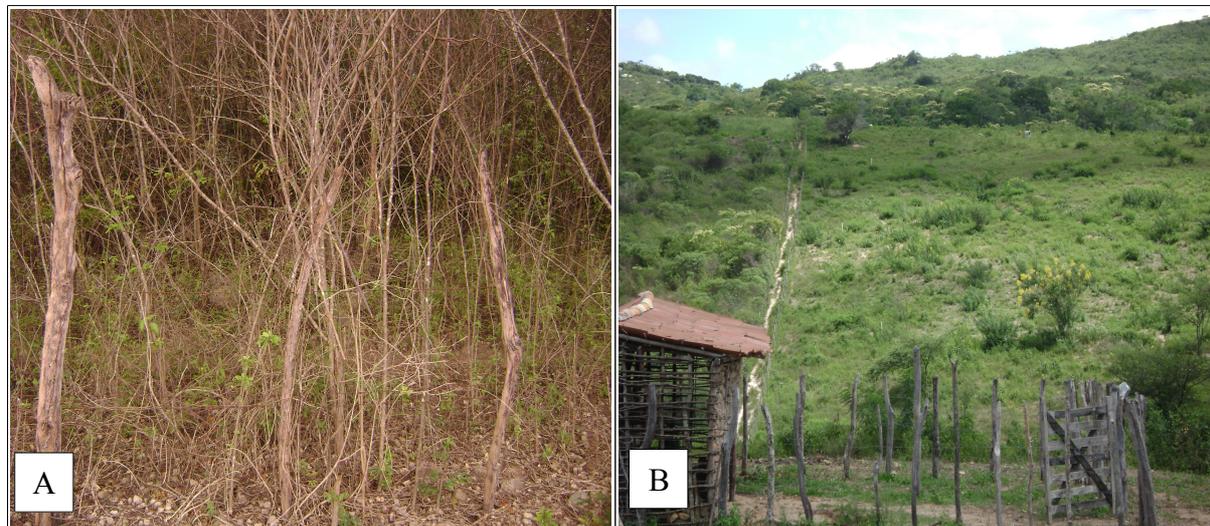


Figura 4. Área com Caatinga Natural (A) e Pasto (B) monitoradas na bacia hidrográfica do riacho Jabobá.

Também houve um agrupamento de pontos em função da localização que ocupam dentro da bacia hidrográfica, mediante consideração de pontos a montante e jusante em relação ao ponto médio do comprimento axial. Essa divisão permitiu separar os pontos também por tipos de solos diferentes, sendo predominante a presença do Argissolo Amarelo a montante da Bacia e dos Neossolos Litólicos e Regolíticos na porção a jusante (Figura 5).

Dessa forma, os tratamentos obtidos são Caatinga Natural a Montante – CNM e a Jusante – CNJ, e Pasto a Montante – PM e a Jusante – PJ na bacia (Tabela 2).

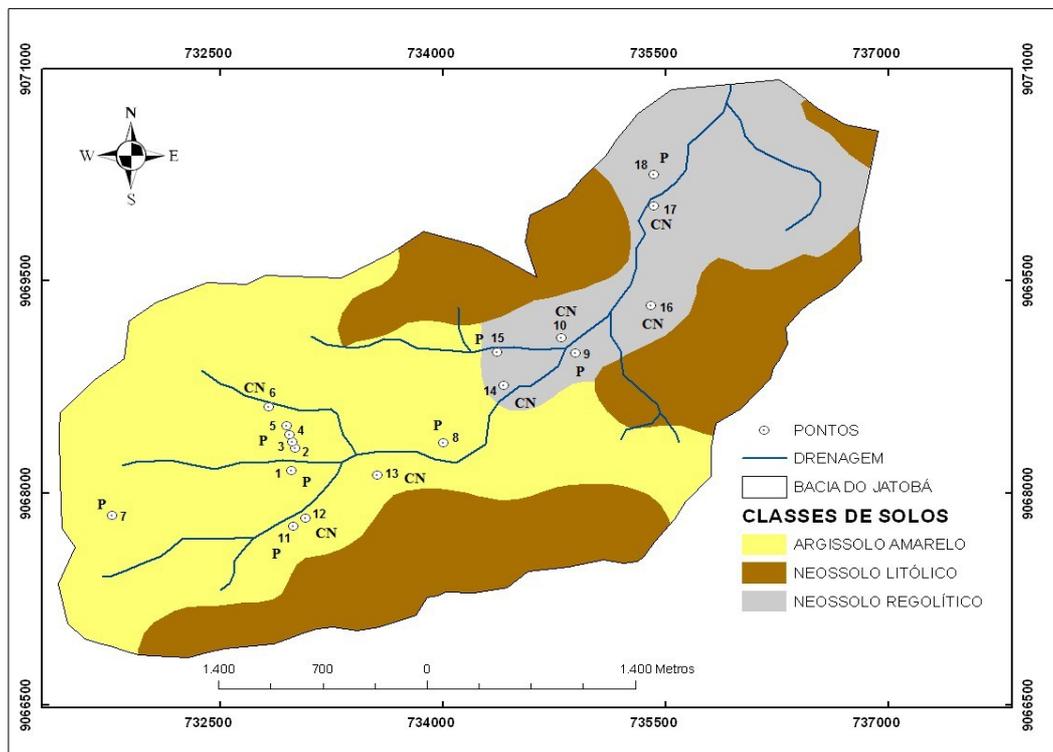


Figura 5. Mapa de solos da bacia hidrográfica do Jatobá com a localização dos pontos de monitoramento.

A sonda foi calibrada para cada ponto de monitoramento e nas diferentes profundidades. Para gerar as curvas de calibração, amostras de solo foram coletadas a cada 0,1 m de profundidade (próximo aos tubos, para reduzir alterações nas propriedades do solo e uma consequente interferência nas leituras) para determinação da umidade gravimétrica (EMBRAPA, 1997), imediatamente após a realização das leituras (Figura 6). Algumas das campanhas para coleta de amostras, utilizadas na calibração, foram realizadas por ocasião dos eventos de chuva na região, visando amostrar situações distintas de conteúdo de umidade, contemplando para os pontos de calibração condição de alta e baixa umidade, de acordo com o recomendado por Andrade Júnior et al. (2007) e Silva et al. (2007). A umidade volumétrica ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$) em cada camada de solo foi determinada multiplicando-se a umidade gravimétrica pela densidade do solo (g cm^{-3}). Para determinar a densidade do solo, foram coletadas amostras em anéis volumétricos, utilizando um Trado de Amostra Indeformada.



Figura 6. Calibração local da sonda de nêutrons: Retirada de amostra indeformada (A); Avaliação da profundidade de amostragem (B); Detalhe do furo após retirada da amostra (C); Tratamento da amostra para evitar perda de umidade (D).

Com as informações de umidade volumétrica foram geradas curvas de calibração (Tabela 1). A calibração para a sonda de nêutrons foi obtida pela plotagem dos valores de umidade volumétrica em função da contagem normalizada de nêutrons atenuados (CN) e ajuste ao modelo linear.

Tabela 1. Resumo dos parâmetros das equações de calibração da sonda de nêutrons, obtidas para as profundidades avaliadas e em todos os pontos de monitoramento da bacia do Jatobá

Sonda	Equação	Prof. (cm)	-----a-----		-----b-----		-----R ² -----	
			Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx
Nêutrons	$\theta v = aCR + b$	0 - 20	0,404	1,395	-0,526	0,007	0,94	0,99
		20 - 40	0,296	1,151	-0,218	-0,001	0,93	0,99

Os coeficientes a e b são da calibração: $\theta v = aCR + b$, em que CR e θv são a Contagem Relativa e Umidade Volumétrica (cm³ cm⁻³), respectivamente.

O intervalo de tempo entre os monitoramentos da umidade do solo foi quinzenal durante o período de ocorrência de chuvas, com vista a obter um monitoramento mais detalhado neste período, e mensal para os períodos de estiagem. Os resultados obtidos nesse

trabalho são baseados na análise dos dados de monitoramento realizados entre outubro de 2010 à dezembro de 2011 (total de 16 medições).

Os atributos físicos dos pontos de monitoramento, determinados segundo os métodos descritos pela EMBRAPA (1997), para as camadas de 0,0 – 0,2 m e 0,2 – 0,4 m são apresentados na Tabela 2. A análise textural dos solos nos pontos de monitoramento da bacia mostra teores de areia variando de 495,8 a 784,0 g Kg⁻¹ e argila entre 88,8 e 292,0 g Kg⁻¹ para a camada de 0,0 – 0,2 m de profundidade. Para a profundidade de 0,2 – 0,4 m foi verificado teores de areia entre 436,2 a 834,0 g Kg⁻¹ e argila de 82,4 a 392,0 g Kg⁻¹.

Tabela 2. Características físicas do solo nos pontos de monitoramento da área experimental, com distinção dos tratamentos ao qual cada um pertence

Trat.	Ponto	Prof. (cm)	Ds Kg dm ⁻³	Areia -----g Kg ⁻¹ -----	Argila	Silte	Trat.	Ponto	Prof. (cm)	Ds Kg dm ⁻³	Areia -----g Kg ⁻¹ -----	Argila	Silte
PM	P1	0 - 10	1,49	728,0	152,0	120,0	CNM	P13	0 - 10	1,68	623,2	182,0	194,8
		10 - 20	1,54						10 - 20	1,66			
		20 - 30	1,43	708,0	197,6	94,4			20 - 30	1,63	504,8	272,0	223,2
		30 - 40	1,61						30 - 40	1,64			
	P2	0 - 10	1,48	648,0	217,6	134,4		P8	0 - 10	1,46	688,0	177,6	134,4
		10 - 20	1,52						10 - 20	1,54			
		20 - 30	1,47	608,0	252,0	140,0			20 - 30	*	*	*	*
		30 - 40	1,52						30 - 40	*	*	*	*
	P3	0 - 10	1,43	628,0	232,0	140,0		P9	0 - 10	1,30	784,0	88,8	127,2
		10 - 20	1,53						10 - 20	1,36			
		20 - 30	1,46	628,0	232,0	140,0			20 - 30	1,35	834,0	92,4	73,6
		30 - 40	1,50						30 - 40	1,25			
P4	0 - 10	1,30	708,0	172,0	120,0	P15	0 - 10	1,37	724,2	112,0	163,8		
	10 - 20	1,50					10 - 20	1,36					
	20 - 30	1,54	608,0	232,0	160,0		20 - 30	1,37	749,4	122,0	128,6		
	30 - 40	1,51					30 - 40	1,38					
P5	0 - 10	1,51	608,0	232,0	160,0	P18	0 - 10	1,56	735,2	112,0	152,8		
	10 - 20	1,55					10 - 20	1,59					
	20 - 30	1,58	568,0	272,0	160,0		20 - 30	1,61	747,2	122,0	130,8		
	30 - 40	1,53					30 - 40	1,62					
P7	0 - 10	1,45	628,0	197,6	174,4	P10	0 - 10	1,54	724,0	116,0	160,0		
	10 - 20	1,50					10 - 20	1,59					
	20 - 30	1,48	608,0	197,6	194,4		20 - 30	1,54	814,0	82,4	103,6		
	30 - 40	1,54					30 - 40	1,63					
P11	0 - 10	1,63	495,8	292,0	212,2	P14	0 - 10	1,63	647,8	172,0	180,2		
	10 - 20	1,62					10 - 20	1,64					
	20 - 30	1,65	436,2	392,0	171,8		20 - 30	1,63	623,8	192,0	184,2		
	30 - 40	1,62					30 - 40	1,62					
P6	0 - 10	1,46	708,0	217,6	74,4	P16	0 - 10	1,45	654,4	142,0	203,6		
	10 - 20	1,45					10 - 20	1,46					
	20 - 30	1,43	648,0	258,0	94,0		20 - 30	1,49	623,6	172,0	204,4		
	30 - 40	1,47					30 - 40	1,50					
P12	0 - 10	1,51	569,8	212,0	218,2	P17	0 - 10	1,57	713,0	132,0	155,0		
	10 - 20	1,55					10 - 20	1,55					
	20 - 30	1,57	558,4	252,0	189,6		20 - 30	1,55	703,6	132,0	164,4		
	30 - 40	1,59					30 - 40	1,57					

PM – Pasto a Montante; PJ – Pasto a Jusante; CNM – Caatinga Natural a Montante e CNJ – Caatinga Natural a Jusante.

* profundidades não amostadas.

– *Cobertura vegetal*

A porcentagem de cobertura do solo foi determinada por meio do método de Mannering, adotado por diversos autores (Santos, 2010; Santos et al., 2008, 2011; Bezerra & Cantalice, 2006; Bertol, 2005), o qual utiliza a projeção fotográfica de uma moldura com a cobertura da área (Figura 7) sobre um quadro padrão (Figura 8). Com a soma da contagem das interseções com os pontos de cobertura da superfície (copa/resíduo) projetados, tem-se a porcentagem total de cobertura do solo, sendo que cada ponto de interseção representa 2% da área total, com as projeções fotográficas representativas da média de três fotografias. O objetivo da análise foi verificar a influência dos padrões específicos de umidade sobre o desenvolvimento da vegetação. Para tal, contou-se com os dados de monitoramento em parcelas experimentais na bacia hidrográfica durante o ano de 2009.



Figura 7. Representação da cobertura vegetal em pontos da bacia experimental do Jatobá.

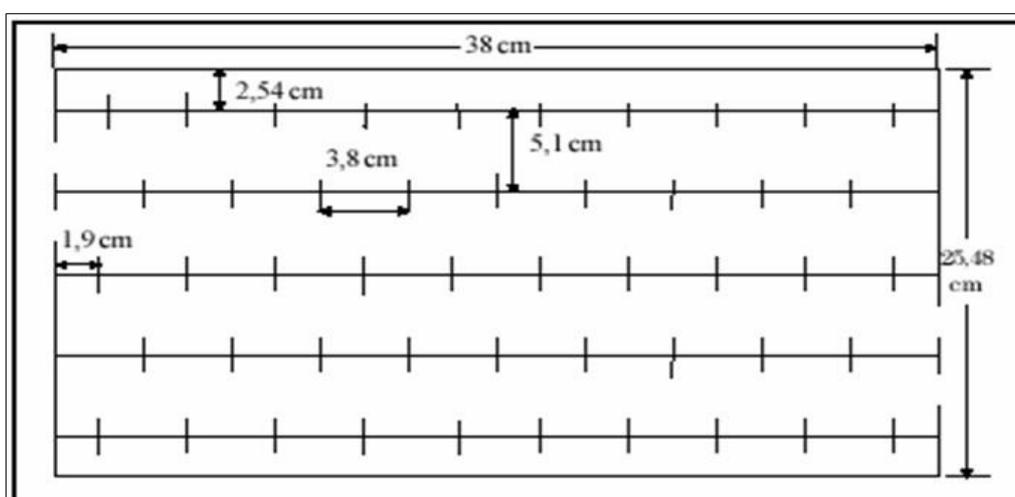


Figura 8. Padrão utilizado para determinar a porcentagem de cobertura do solo, com a projeção fotográfica. Fonte: Santos (2010).

– *Orientação de vertentes*

O mapa de orientação de vertentes permite inferir quais vertentes recebem maior insolação. Tendo o conhecimento de quais vertentes recebem mais radiação solar é possível apontar os locais de maior umidade, ajudando no entendimento da dinâmica hidrológica nesses pontos (Carvalho & Oliveira, 2013).

Para obter uma representação do relevo, foi gerado um modelo digital de elevação do terreno (MDE) a partir de imagens SRTM com resolução espacial de 90 m. A partir do MDE foi gerado o mapa matricial, com o valor da orientação em graus representada por pixel (em relação ao norte geográfico). Todos os procedimentos foram feitos utilizando o software ArcGis 9.3.

Com a localização dos pontos de monitoramento dentro da matriz de vertentes, esses foram agrupados de forma a representar uma mesma condição de cobertura a qual estão sujeitos, porém em posições distintas com relação à vertente, possibilitando realizar a avaliação dos registros de umidade nas camadas 0,0 – 0,2 m e 0,2 – 0,4 m, sendo portanto considerado para essa análise a comparação entre os pontos sob condição de cobertura vegetal do tipo Caatinga Natural localizadas nas vertentes ao Sul – CNS e ao Norte – CNN, e Pasto ao Sul – PS e Norte PN.

Análises

– *Estatística*

Com o objetivo de verificar o comportamento dos dados, foi realizada análise estatística descritiva, através da avaliação de medidas de tendência central (média, mediana e moda) e dispersão (desvio padrão, variância e coeficiente de variação). Para comparação entre as médias dos tratamentos adotou-se o teste de Tukey ao nível de significância de 5%. O programa utilizado foi Assistência Estatística – ASSISTAT 7.6.

– *Efetividade da água do solo*

Para realizar uma avaliação efetiva sobre os valores de umidade do solo nos pontos de monitoramento, foi calculada a efetividade da água no solo, utilizando a Equação 1, proposta por Porporato et al. (2002), e utilizada por Santos et al. (2011).

$$SW_E = \frac{S_A - S_{PMP}}{S_{CC} - S_{PMP}} \quad (1)$$

em que S_A é a umidade atual do solo; S_{CC} é a umidade do solo na capacidade de campo e S_{PMP} é a umidade do solo no ponto de murcha permanente. A efetividade da umidade do solo pode ser classificada em cinco grupos (Tabela 3), de acordo com Chen et al. (2007).

Tabela 3. Critério para avaliação da efetividade da água no solo

SW_E	Efetividade
>1,00	Extremamente Efetivo
0,75 – 1,00	Alta efetividade
0,50 – 0,75	Moderada-alta efetividade
0,25 – 0,50	Baixa efetividade
0,00 – 0,25	Efetividade marginal
< 0,00	Não efetivo

Fonte: Chen et al. (2007)

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 9 mostra a distribuição temporal das chuvas ocorridas durante o período de monitoramento. O total de chuvas registrado foi de 1.183,2 mm para a porção a montante da bacia e 1.002,0 mm para a porção a jusante do ponto médio. Os meses com maior precipitação foram janeiro, maio e junho, enquanto novembro e dezembro de 2010 apresentaram os menores totais pluviométricos, para ambos locais monitorados.

Comparando o comportamento da distribuição das precipitações com os dados históricos apresentados por Silva et al. (2008), foi possível verificar que apenas fevereiro e março de 2011 tiveram registros de valores mensais abaixo da média histórica, calculada entre os anos de 1961 a 2007, que é de 70,0 e 105,0 mm para esses meses, respectivamente. Esse comportamento é consequência da estiagem atípica que ocorreu durante o período de estudo. O comportamento da distribuição dos demais meses foi semelhante aos dados históricos, porém com maiores valores totais registrados.

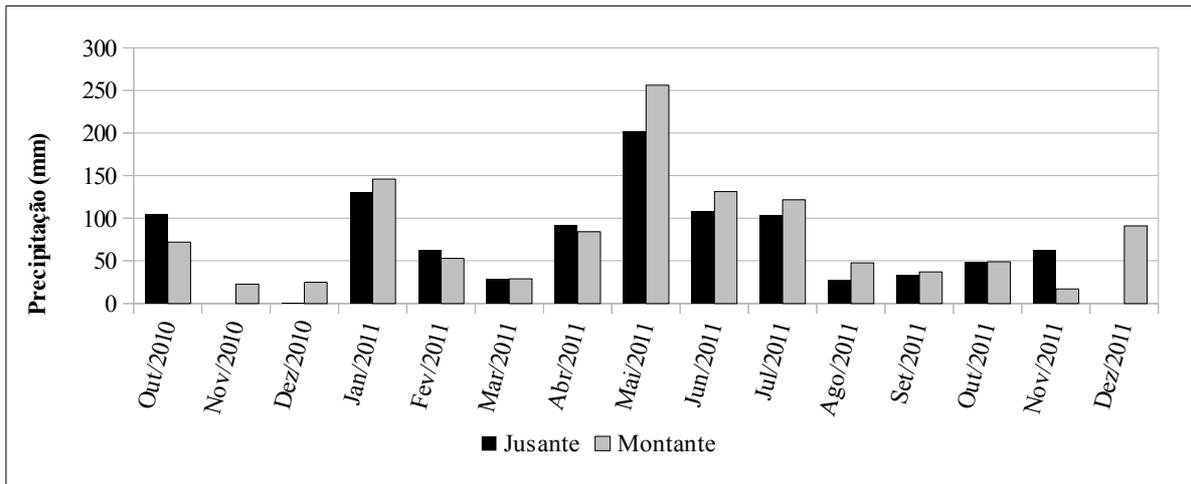


Figura 9. Distribuição temporal da precipitação na bacia do Jatobá no período de outubro/2010 a dezembro/2011, considerando a ocorrência na porção a montante e a jusante do ponto médio da bacia.

A distribuição do conteúdo de água no solo para as profundidades 0,0 – 0,2m e 0,2 – 0,4 m nas diferentes condições avaliadas é mostrada na Figura 10. Na Tabela 4 é apresentada a análise estatística para os valores médios de conteúdo de água no solo para os diferentes tratamentos, bem como a precipitação acumulada nos 7 e 15 dias antecedentes à data de cada monitoramento. A análise da umidade do solo sob as quatro condições avaliadas indica que as áreas localizadas a montante do ponto médio da bacia apresentam valores médios mais elevados. Além da quantidade maior de precipitação registrada durante o período experimental, isso está associado ao fato dos pontos monitoramento localizados nessa área estarem situados no Argissolo Amarelo e apresentarem maiores teores de argila (Tabela 2). Tal condição é prevista pelo fato de solos com predominância dessa fração possuir maior porcentagem de material coloidal, maior espaço poroso e superfície adsortiva muito maior que os solos de textura mais arenosa (Carlesso & Zimmermann, 2000). Conforme Reichardt (1990), um dos principais fatores que afetam a retenção de água no solo é a sua textura, pois determina a área de contato entre as partículas sólidas e a água.

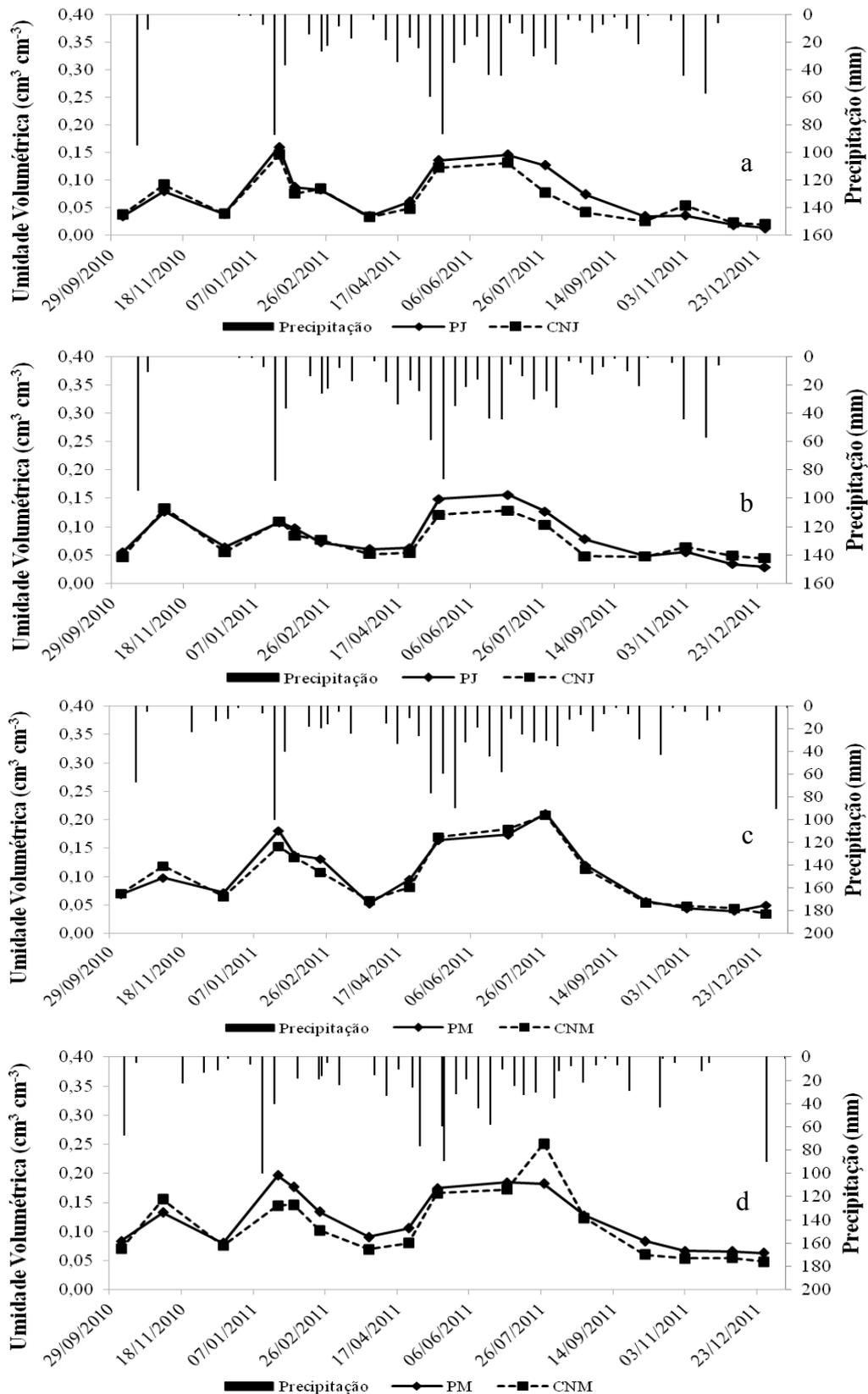


Figura 10. Variação temporal da umidade do solo para as condições de PJ e CNJ nas profundidades 0,0 – 0,2 m (a) e 0,2 – 0,4 m (b) e nas áreas PM e CNM nas profundidades 0,0 – 0,2 m (c) e 0,2 – 0,4 m (d).

Houve uma relação positiva entre os eventos de precipitação e a umidade na camada superficial do solo para todos os tratamentos, a qual sofre rápido aumento depois da chuva e diminui durante os períodos de estiagem (Figura 10). Comparando-se a umidade na camada superficial com a de 0,2 – 0,4 m, percebe-se que para essa, a resposta à ocorrência de uma chuva é menos acentuada, embora o padrão de variação temporal em ambas profundidades seja semelhante (Fig. 10 a – b; Fig. 10 c – d).

Esse comportamento foi semelhante ao descrito por Gao et al. (2011), e indica que as diferentes condições de cobertura e características dos solos da bacia induzem à variações espaciais da umidade, mas essa influência é menos expressiva sobre os padrões temporais da umidade do solo. O teste de médias (Tabela 4) indica que para a maioria dos cenários de monitoramento os tratamentos não apresentam diferença significativa entre si. Gao et al. (2011) também não encontraram diferença significativa para a umidade na camada superficial de um solo sob cinco condições distintas de cobertura, semelhante a Chen et al. (2007), que encontraram baixas variações na umidade do solo na camada 0 – 20 cm, também sob cinco condições de cobertura vegetal.

Ainda é possível verificar que a umidade do solo apresenta valores médios maiores na área de Pasto, principalmente para aqueles monitoramentos que registraram precipitação acumulada antecedente, o que explica que o nível de interceptação das precipitações, causado pelo padrão da vegetação, interfere na umidade do solo, principalmente nas camadas superficiais. Pan et al. (2008), estudando a variabilidade espacial do conteúdo de água da superfície do solo em uma região árida da China, verificaram que a vegetação influenciou na variabilidade da umidade do solo, pelo padrão de precipitação imposto pelo dossel, representado pela interceptação vegetal. Há ainda uma tendência da umidade nas áreas de pasto diminuírem mais rapidamente nos períodos que não foram registradas chuvas, o que indica que na camada superficial há uma maior demanda dessa vegetação pela umidade do solo, além da maior exposição favorecer a evaporação. Tinley (1982) relata que essa dinâmica temporal é especialmente pronunciada em ecossistemas com limitada disponibilidade hídrica. Isto pode ser atribuído à diferença de transpiração das plantas em diferentes períodos.

Tabela 4. Valores médios da umidade volumétrica do solo na bacia do Jatobá, nas diferentes condições de superfície avaliadas, durante o período de monitoramento nas profundidades 0,0 – 0,2 m e 0,2 – 0,4 m

Prof.	Data	Umidade volumétrica				Chuva antecedente (mm)			
		CNM	PM	CNJ	PJ	Montante		Jusante	
m		----- cm ³ cm ⁻³ -----				7 dias	15 dias	7 dias	15 dias
0,0 – 0,2	07/10/10	0,071 a	0,069 a	0,038 a	0,035 a	0,0	3,6	0,0	2,0
	05/11/10	0,118 a	0,098 b	0,092 bc	0,080 c	0,0	72,0	0,0	104,7
	17/12/10	0,064 ab	0,072 a	0,039 b	0,039 b	1,0	13,0	0,0	0,0
	24/01/11	0,153 a	0,180 a	0,148 a	0,160 a	97,0	103,0	84,6	91,4
	04/02/11	0,133 ab	0,138 a	0,076 c	0,087 bc	27,0	140,0	21,3	123,5
	22/02/11	0,107 a	0,131 a	0,084 a	0,083 a	17,0	35,0	20,3	34,0
	28/03/11	0,059 a	0,052 a	0,033 a	0,034 a	0,0	6,0	0,0	8,9
	25/04/11	0,81 ab	0,095 a	0,048 b	0,061 ab	8,0	38,0	14,2	42,2
	15/05/11	0,169 a	0,165 a	0,123 a	0,136 a	22,9	98,3	23,6	98,3
	02/07/11	0,183 a	0,174 a	0,131 b	0,147 ab	11,9	57,4	6,1	50,0
	28/07/11	0,208 ab	0,211 a	0,078 c	0,127 bc	14,0	59,0	13,0	44,7
	25/08/11	0,114 ab	0,120 a	0,042 c	0,074 bc	18,0	25,0	9,4	16,0
	06/10/11	0,054 a	0,056 a	0,026 a	0,035 a	0,0	1,0	0,0	1,5
	03/11/11	0,049 a	0,044 a	0,054 a	0,035 a	1,0	6,0	12,2	40,9
	06/12/11	0,044 a	0,039 a	0,023 a	0,019 a	0,0	0,0	0,0	0,0
28/12/11	0,035 ab	0,049 a	0,019 b	0,013 b	0,0	0,0	0,0	0,0	
CV (%)		52,8	52,5	61,4	65,2				
0,2 – 0,4	07/10/10	0,070 a	0,084 a	0,046 a	0,055 a	0,0	3,6	0,0	2,0
	05/11/10	0,156 a	0,132 a	0,133 a	0,127 a	0,0	72,0	0,0	104,7
	17/12/10	0,076 a	0,080 a	0,055 a	0,064 a	1,0	13,0	0,0	0,0
	24/01/11	0,145 ab	0,196 a	0,109 b	0,108 b	97,0	103,0	84,6	91,4
	04/02/11	0,146 ab	0,176 a	0,084 b	0,097 b	27,0	140,0	21,3	123,5
	22/02/11	0,102 ab	0,133 a	0,076 b	0,072 b	17,0	35,0	20,3	34,0
	28/03/11	0,069 a	0,090 a	0,052 a	0,060 a	0,0	6,0	0,0	8,9
	25/04/11	0,080 ab	0,106 a	0,053 b	0,063 ab	8,0	38,0	14,2	42,2
	15/05/11	0,166 a	0,174 a	0,121 a	0,150 a	22,9	98,3	23,6	98,3
	02/07/11	0,172 a	0,184 a	0,129 a	0,156 a	11,9	57,4	6,1	50,0
	28/07/11	0,251 a	0,182 ab	0,103 b	0,127 b	14,0	59,0	13,0	44,7
	25/08/11	0,123 ab	0,127 a	0,048 b	0,078 ab	18,0	25,0	9,4	16,0
	06/10/11	0,060 a	0,083 a	0,047 a	0,048 a	0,0	1,0	0,0	1,5
	03/11/11	0,054 a	0,066 a	0,064 a	0,055 a	1,0	6,0	12,2	40,9
	06/12/11	0,054 a	0,065 a	0,048 a	0,034 a	0,0	0,0	0,0	0,0
28/12/11	0,048 a	0,063 a	0,044 a	0,028 a	0,0	0,0	0,0	0,0	
CV (%)		52,0	39,6	42,8	48,4				

Médias seguidas de letras minúsculas na mesma coluna, não diferem entre si, a nível de 5% de significância, pelo teste de Tukey

CNM – Caatinga Natural à Montante; PM – Pasto à Montante; CNJ – Caatinga Natural à Jusante e PJ – Pasto à Jusante.

Avaliando o comportamento temporal dos registros, no início do monitoramento, a umidade do solo, na camada superficial, encontrava-se abaixo do ponto de murcha permanente para todos tratamentos. Para o monitoramento seguinte, realizado no dia

05/11/10, foi registrado uma precipitação acumulada nos 15 dias anteriores de 72 e 104,7 mm nas duas porções da bacia, que foi suficiente para elevar e manter a umidade do solo em valores superiores ao ponto de murcha permanente, mesmo sem ocorrência de chuvas nos 7 dias antecedentes ao monitoramento. Percebe-se que o incremento na umidade foi maior para as áreas a jusante, onde houve 32,7 mm de chuva a mais, com uma elevação da umidade em 142,4% e 127,8% para as áreas de CN e P, respectivamente.

Avaliando o monitoramento realizado no dia 24/01/11, houve uma precipitação acumulada de 103,0 e 91,4 mm nos 15 dias antecedentes na área a montante e a jusante, respectivamente, porém, com a maior parte acontecendo nos 7 dias anteriores ao monitoramento (94% e 92% dos totais registrados), elevando a umidade do solo que novamente encontrava-se a níveis abaixo do PMP, com aumentos de 139,1% em CNM e 150% para PM; 279,5% na área de CNJ e 310,3% em PJ. Embora as maiores precipitações acumuladas (7 dias antecedentes) tenham sido registradas para o monitoramento realizado no dia 24/01/2011, essa foi suficiente para elevar a umidade do solo aos maiores valores encontrados durante todo o período experimental apenas na área a jusante do ponto médio da bacia (na profundidade de 0,0 – 0,2 m). Essa condição só foi encontrada para os tratamentos a montante (em ambas profundidades) no dia 28/07/2011, mesmo com precipitações acumuladas inferiores às já registradas anteriormente. Esse comportamento é função das características distintas dos tipos de solos predominantes em cada porção da bacia e suas influências na infiltração e retenção da água.

Nas áreas de CNJ e PJ, onde há predominância de Neossolos Regolítico e Litólico, uma maior parte do volume total precipitado nos dias anteriores à 24/01/2011 (84,6 mm para os 7 dias) infiltrou, contribuindo com a elevação da umidade nessas áreas, as quais atingiram o valor máximo registrado durante todo período experimental. Embora para essa mesma data a precipitação acumulada nas áreas de CNM e PM tenham sido maiores (97,0 mm), por ser o Argissolo Amarelo o tipo de solo predominante, menos favorável à infiltração, razão que explica o fato dessa porção da bacia não ter atingido os maiores registros para umidade nessa data. Observa-se, também, que a umidade máxima para a profundidade de 0,2 – 0,4 m nas áreas CNJ e PJ só foi registrada no dia 02/07/11, como consequência da distribuição da umidade ao longo do perfil do solo, sendo função não do total precipitado, mas de uma melhor distribuição das precipitações antecedentes ao monitoramento.

A intensidade das precipitações também é uma característica importante a ser considerada na avaliação do comportamento da umidade. Segundo Pan et al. (2008), chuvas de alta intensidade podem causar escoamento superficial e, assim, produzir menor incremento

de umidade do solo do que chuvas com baixas intensidades. Ramos & Martínez-Casasnovas (2006), estudando o efeito das intensidades de precipitação na umidade do solo e na geração de escoamento superficial, em clima Mediterrâneo, verificaram que as chuvas de alta intensidade aumentaram apenas a umidade da camada superficial do solo e nenhum aumento significativo foi observado para camadas mais profundas; entretanto, sob baixas intensidades de chuva, o incremento de umidade do solo ocorreu também em profundidade.

A Figura 11 mostra que o percentual de variação da umidade em relação ao monitoramento antecedente é maior para as áreas situadas a jusante do ponto médio da bacia, mesmo quando a precipitação registrada nessa área é menor. A maior sensibilidade da umidade do solo nesses locais, em resposta aos eventos de chuva, é influenciada por sua composição granulométrica, onde os pontos de monitoramento apresentam teores de areia maiores em comparação ao locais a montante. Buckman & Brady (1979) mencionaram que a areia reduz a capacidade de retenção de água, devido ao grande espaço entre as partículas, favorecendo o rápido fluxo de água.

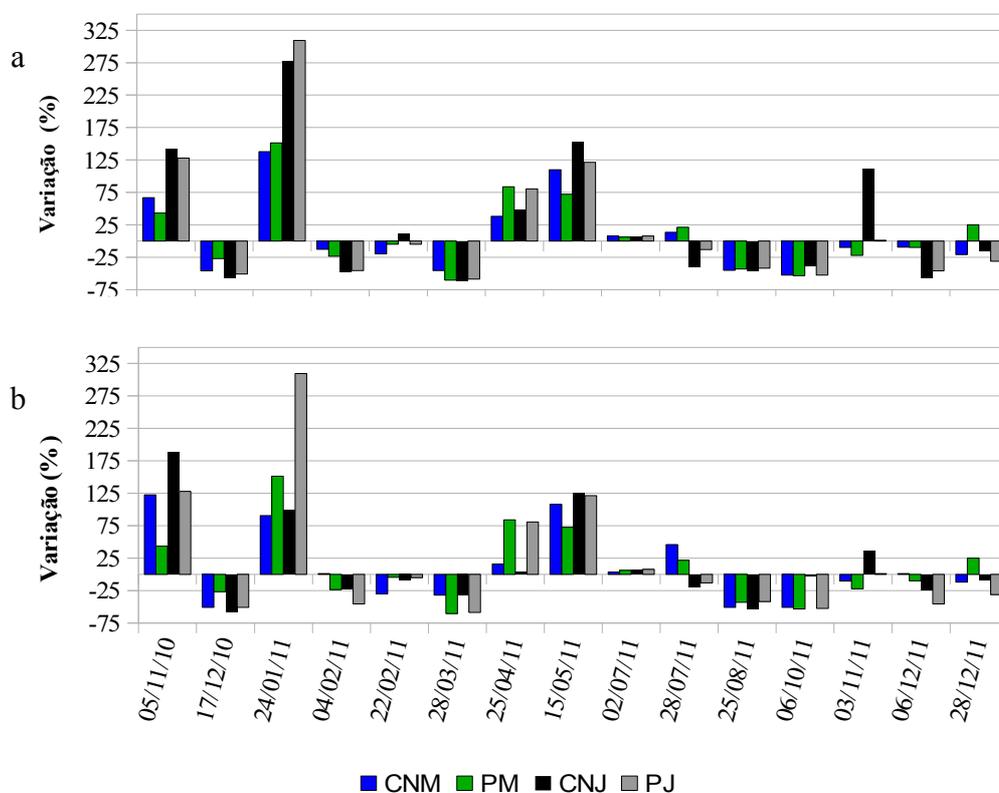


Figura 11. Variação percentual da umidade do solo entre os monitoramentos consecutivos, nas profundidades 0,0 – 0,2 m (a) e 0,2 – 0,4 m (b).

A Figura 12 apresenta alguns dos parâmetros estatísticos relativos à umidade do solo para os diferentes tratamentos nas profundidades avaliadas. Os valores correspondem à média dos 16 monitoramentos realizados. As linhas extremas representam os valores máximos e mínimos observados, o 1º e 3º quartil delimitam a caixa, sendo o traço referente ao valor da mediana.

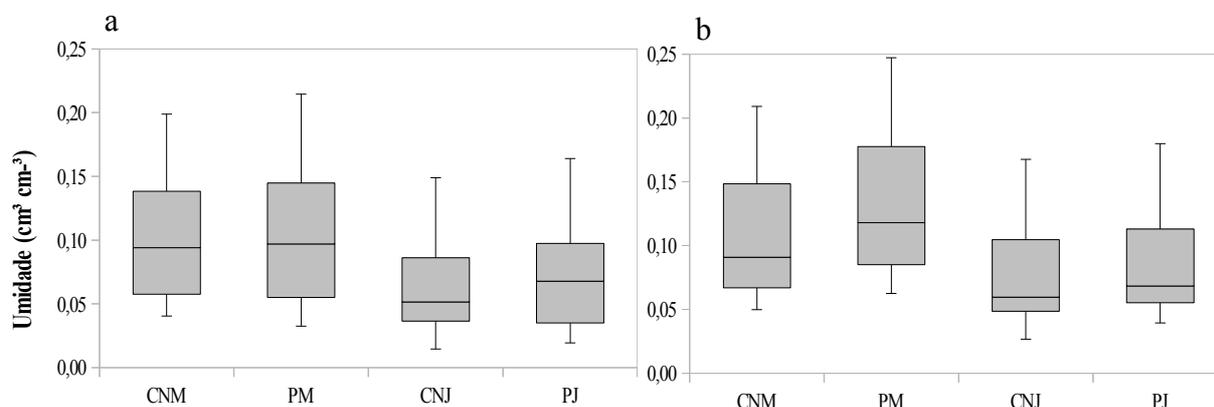


Figura 12. Box-plot da umidade do solo na bacia do Jatobá, nos diferentes condições monitoradas, para as profundidades 0,0 – 0,2 m (a) e 0,2 – 0,4 m (b).

Observa-se maior heterogeneidade temporal da umidade para as áreas situadas a montante da bacia, em ambas profundidades, sendo ainda possível verificar uma variabilidade um pouco maior para as áreas sob pasto. A variabilidade dos dados é explicada pela variação sazonal da precipitação durante o período de monitoramento. Nunes (2010) comenta que esse fator é responsável pela maior parte da variabilidade da umidade em uma área de estudo, e cita ainda que a temperatura também pode explicar parte da variação dos registros de umidade, porém sendo mais evidente durante o período de estiagem. James et al. (2003), também avaliando a variabilidade da umidade em áreas sob diferentes condições de cobertura vegetal, declaram que o efeito dos diferentes tipos de vegetação sob a variabilidade do teor de água no solo são mais expressivos quando a disponibilidade das chuvas são mais escassas, a exemplo também do encontrado por Guo et al. (2002), e que diminuem quando esse recurso é abundante.

Embora o fluxo subsuperficial contribua para a manutenção dos valores de umidade nas partes mais baixas do terreno, a bacia do Jatobá possui formato alongado com ramificação na rede de drenagem na porção montante, formando uma rede de vales limitados por terrenos com forte declividade. Essas características morfométricas são condicionantes de um interfluxo que tende a movimentar-se de maneira mais perpendicular que paralelo ao sentido do comprimento da bacia.

Diante da evidência que a porção a montante da bacia do Jatobá apresenta valores de umidade do solo maiores que áreas sob mesmas condições de cobertura posicionadas abaixo do ponto médio, foi realizada uma análise comparativa entre o percentual de cobertura vegetal, com a finalidade de comprovar tal distinção através do desenvolvimento vegetal nas diferentes localidades. Para isso, foram utilizadas informações de cobertura vegetal, periodicamente monitoradas em parcelas experimentais localizadas na área da bacia. Essas parcelas fazem parte de um conjunto de locais de monitoramento, cuja finalidade dos trabalhos desenvolvidos tem sido testar a eficiência de diferentes condições de cobertura e práticas culturais na conservação de umidade e redução na perda de solos.

Santos (2010), estudando o comportamento da umidade nessas parcelas experimentais, monitoraram o índice de cobertura vegetal nos seguintes tratamentos: Barramento de Pedra com Cobertura Morta e Pousio, em parcelas localizadas a montante e a jusante do ponto médio da bacia. Verifica-se através da Figura 13, que os índices de cobertura vegetal são maiores para as parcelas localizadas a montante da bacia diante de suas respectivas localizadas a jusante. Quando a temperatura e a disponibilidade de nutrientes não são os fatores controladores, a umidade do solo torna-se a variável-chave para controlar o crescimento da planta (Daly et al., 2004). Isso comprova que, em função da maior retenção de umidade do solo na porção superior da bacia, há um maior desenvolvimento vegetal nessa região.

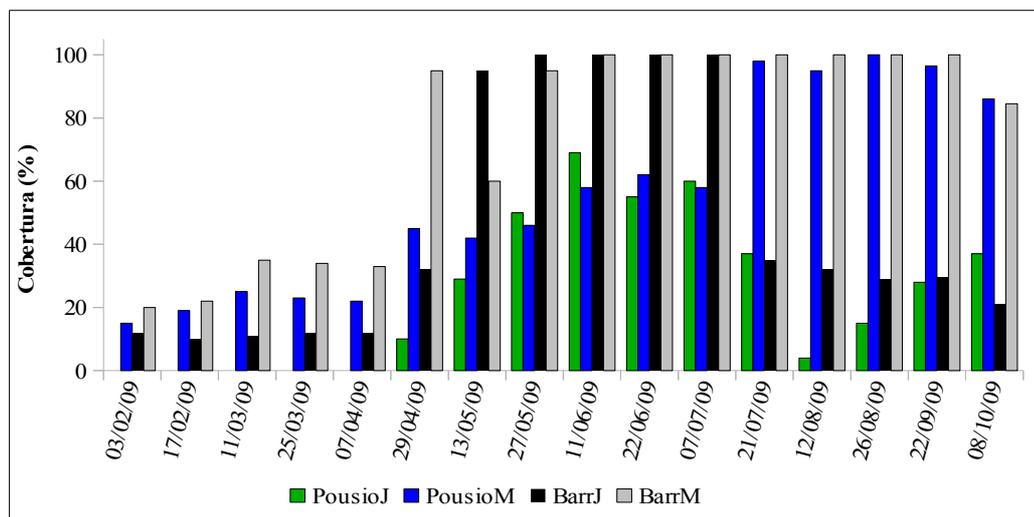


Figura 13. Percentual de cobertura vegetal em parcelas experimentais na área da bacia do Jatobá. PousioJ e PousioM – Parcelas em Pousio localizada à Jusante e Montante; BarrJ e BarrM – Parcelas com Barramentos de pedras e cobertura morta, localizadas à Jusante e Montante.

Na Figura 14 são apresentadas as distribuições de frequência acumulada dos valores de umidade média do solo nas condições avaliadas. Observa-se que, para ambas profundidades, os tratamentos Caatinga Natural e Pasto na posição a montante do ponto médio da bacia apresentam as maiores permanências de valores mais elevados de umidade do solo, seguidos das mesmas condições de cobertura vegetal na área a jusante. Também é possível verificar que os maiores valores de umidade durante o período experimental são observados nos tratamentos CNM e PM, para ambas profundidades.

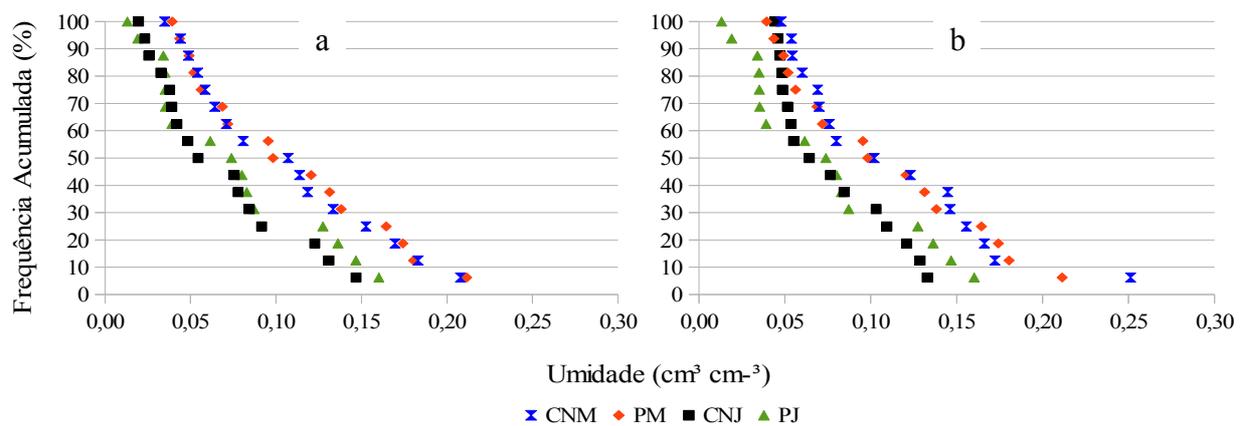


Figura 14. Frequência acumulada para os dados de umidade do solo na bacia do Jatobá, nas profundidades 0,0 – 0,2 m (a) e 0,2 – 0,4 m (b).

Considerando a variabilidade espacial da umidade dos solos entre os diferentes tratamentos para o período analisado, é possível verificar através da avaliação da evolução mensal dos coeficientes de variação (Figura 15) que os desvios tendem ser mais expressivos no período de menor ocorrência de chuvas, e que esses diminuem, acusando uma maior homogeneidade entre os diferentes tratamentos monitorados, quando do período de ocorrência das precipitações e conseqüente maiores registros de umidade. Ainda avaliando o comportamento, para a camada 0,2 – 0,4 m, esse apresenta menores coeficientes de variação, o que sugere que os desvios entre os tratamentos avaliados são menores nessa profundidade, e que o comportamento geral também sugere que quanto menor for a precipitação, maiores serão as diferenças de umidade nas diferentes condições de uso do solo. Esse comportamento está em acordo com o encontrado por Nunes (2010), que avaliando o comportamento temporal do coeficiente de variação entre médias da umidade do solo sob seis condições de coberturas diferentes, encontrou uma forte relação entre a ocorrência de chuvas e redução dos valores, chegando a superar 100% em um período de verão.

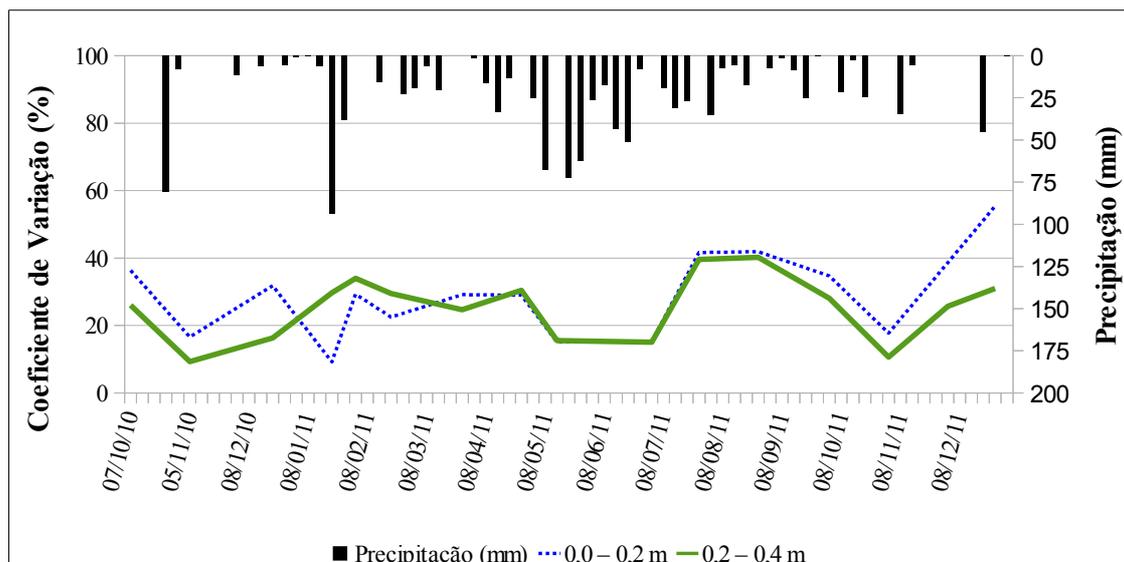


Figura 15. Evolução dos coeficientes de variação dos valores da umidade média do solo para as diferentes condições de cobertura e localização monitoradas.

– *Orientação de vertentes.*

Na Figura 16 é apresentado o mapa de orientação de vertentes da bacia hidrográfica do Jatobá com a disposição dos pontos de monitoramento, sendo apresentado na Tabela 5 a porção da área da bacia exposta a cada situação de orientação. É possível verificar que 62,0% da área total da bacia do Jatobá está voltada para as posições nordeste, noroeste e principalmente norte, que recebem maior incidência dos raios solares.

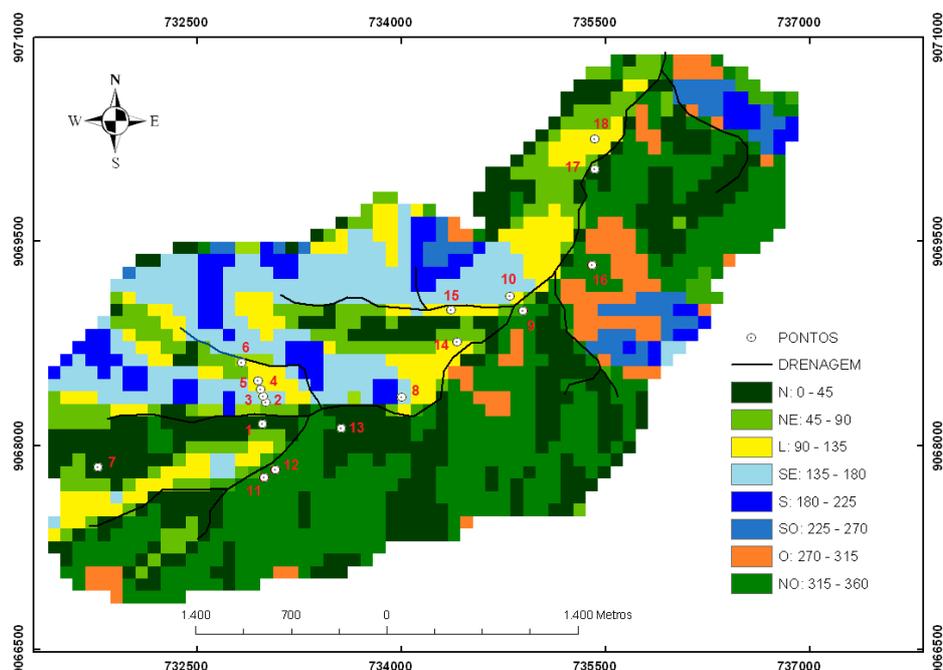


Figura 16. Mapa de orientação de vertentes da bacia hidrográfica do Jatobá com discretização da rede de drenagem e localização dos pontos de monitoramento da umidade do solo.

Tabela 5. Faixa de valores dos ângulos para confecção da rosa dos ventos referente as disposições diferenciadas do terreno; porção da área da bacia exposta a cada direção e pontos localizados em cada vertente

<i>Direção da vertente</i>	<i>Graus</i>	<i>Área da bacia (Km²)</i>	<i>% da área total</i>	<i>Pontos</i>
Norte - N	1 - 45	3,037	24,4	P1; P7; P13; P17;
Nordeste - NE	46 - 90	1,239	10,0	P6
Leste - L	91 - 135	1,247	10,0	P4; P5; P14; P15; P18;
Sudeste - SE	136 - 180	1,604	12,9	P2; P3; P8; P10
Sul - S	181 - 225	0,721	5,8	
Sudoeste - SO	226 - 270	0,421	3,4	
Oeste - O	271 - 315	0,729	5,9	
Noroeste - NO	316 - 360	3,442	27,7	P9; P11; P12; P16

Muito da discussão sobre as influências da orientação de vertentes trata da sua relação com a vegetação, abordando aspectos da exuberância florística ou fitofisionomia local em diferentes faces de exposição. Contudo, essa relação está intimamente ligada à influência da orientação no comportamento da umidade e, por consequência, na sua disponibilidade para as plantas. Machado et al. (2009), estudando a influência da orientação de vertentes na variação sazonal da vegetação, comentam que essa se mostra sensível a mudanças quando da ausência de precipitação. A ausência de água para as fitofisionomias pode ser explicada pelo fato das vertentes mais íngremes possuírem uma camada menos espessa de material inconsolidado e, portanto, com baixa capacidade de armazenamento de água. Soma-se a isso o fato das mesmas vertentes estarem expostas a uma maior variação, no que tange à mudança de incidência dos raios do sol. Segundo Hanna et al. (1982), a quantidade de água armazenada e disponível para as plantas em um solo com relevo ondulado é influenciada pela posição na paisagem, especialmente em solos de textura mais argilosa que, em geral, apresentam baixa taxa de infiltração e alto potencial de escoamento superficial.

Mello (2009) relata que nas vertentes que recebem maior insolação há um aumento na temperatura e, conseqüente, aumento da evapotranspiração, o que causa redução no conteúdo de água do solo. Nas vertentes que recebem menor insolação, as temperaturas são menores e a umidade é maior. Dessa forma, o comportamento esperado para essas áreas da bacia do Jatobá voltadas à nordeste, noroeste e norte, é que os valores de umidade monitorada sejam menores que aqueles registrados para a mesma condição de superfície situados em faces do terreno voltadas para o sul. Porém, observando os valores umidade média (Tabela 6), não é possível perceber esse padrão para a bacia do Jatobá. A explicação para esse comportamento pode estar no fato de que esses locais de monitoramento, situados na porção que recebe maior incidência de raios solares, estão localizados na parte baixa de longas vertentes, e que em função da

presença de camadas de impedimento, evidenciado durante a instalação da rede de monitoramento, faz com que, em adição ao fluxo vertical da água, surja um fluxo lateral subsuperficial morro abaixo, chamado de interfluxo, paralelo às camadas de menor permeabilidade e resultante da combinação das forças de gravidade e do gradiente de pressão (Huggins, 1979).

Paiva et al. (1998), analisando o armazenamento e a disponibilidade de água ao longo do tempo, em uma topossequência de solos de tabuleiro do estado da Bahia, encontraram maior disponibilidade no terço inferior da vertente. Souza et al. (2002), em um estudo com a mesma finalidade, concluíram que nos períodos mais chuvosos a presença de horizontes coesos subsuperficiais nos solos de tabuleiro localizados nas partes mais altas do declive restringe o fluxo vertical da água, ocorrendo a formação de lençol freático suspenso acima dos horizontes coesos e favorecendo o interfluxo no sentido do declive, em direção aos solos localizados nas partes mais baixas do relevo. Ávila et al. (2010), estudando o comportamento temporal da umidade em áreas de pastagem, mata atlântica e várzea, comentam que o processo de redução do conteúdo de água no solo na várzea é retardado no tempo em razão do recebimento dos fluxos provenientes de cotas superiores e da ocorrência da ascensão capilar de água do lençol freático, resultando num solo mais provido de água.

Tabela 6. Umidade volumétrica média nas áreas da bacia hidrográfica do Jatobá, sob mesma condição de cobertura vegetal e diferentes posições de vertente, para as profundidade de 0,0 – 0,2 m e 0,2 – 0,4 m

Data	Umidade Volumétrica Média (cm ³ cm ⁻³)							
	0,0 – 0,2 m				0,2 – 0,4 m			
	CNS	CNN	PS	PN	CNS	CNN	PS	PN
07/10/10	0,046 a	0,054 a	0,051 a	0,067 a	0,057a	0,056 a	0,073 a	0,079 a
05/11/10	0,092 a	0,107 a	0,089 a	0,097 a	0,134 a	0,146 a	0,133 a	0,128 a
17/12/10	0,045 a	0,052 a	0,051 a	0,075 a	0,051 a	0,069 a	0,073 a	0,078 a
24/01/11	0,154 a	0,147 a	0,166 a	0,186 a	0,127 a	0,123 a	0,182 a	0,152 a
04/02/11	0,087 a	0,106 a	0,119 a	0,120 a	0,090 a	0,119 a	0,163 a	0,137 a
22/02/11	0,087 a	0,097 a	0,115 a	0,112 a	0,080 a	0,090 a	0,119 a	0,109 a
28/03/11	0,038 a	0,046 a	0,049 a	0,038 a	0,050 a	0,063 a	0,084 a	0,078 a
25/04/11	0,055 a	0,065 a	0,076 a	0,096 a	0,050 a	0,071 a	0,095 a	0,090 a
15/05/11	0,115 a	0,154 a	0,146 a	0,168 a	0,106 a	0,154 a	0,170 a	0,162 a
02/07/11	0,123 a	0,165 a	0,157 a	0,177 a	0,116 a	0,160 a	0,181 a	0,169 a
28/07/11	0,064 a	0,161 a	0,167 a	0,205 a	0,096 a	0,195 a	0,165 a	0,167 a
25/08/11	0,043 a	0,085 a	0,101 a	0,109 a	0,037 a	0,098 a	0,114 a	0,110 a
06/10/11	0,026 a	0,043 a	0,047 a	0,051 a	0,048 a	0,055 a	0,072 a	0,073 a
03/11/11	0,037 a	0,058 a	0,040 a	0,042 a	0,052 a	0,063 a	0,064 a	0,062 a
06/12/11	0,024 a	0,036 a	0,029 a	0,037 a	0,045 a	0,054 a	0,052 a	0,062 a
28/12/11	0,018 a	0,030 a	0,029 a	0,049 a	0,039 a	0,049 a	0,046 a	0,063 a

As médias foram comparadas para condições de cobertura semelhantes e diferentes posições de orientação de vertente. Médias seguidas de mesma letra na linha indicam que não houve diferença significativa entre os tratamentos pelo teste de Tukey ao nível de 5%. CNS – Cobertura Natural de Caatinga nas vertentes à Sul; CNN – Cobertura Natural de Caatinga nas vertentes à Norte; PS – Pasto nas vertentes à Sul e PN – Pasto à Norte.

– *Efetividade da água do solo*

Observa-se na Tabela 7, que em pelo menos 93,75% dos monitoramentos realizados, a efetividade do conteúdo médio de água do solo em todos tratamentos apresentou-se de “Baixa” a “Não Efetiva”, de acordo com o critério proposto por Chen et al. (2007), sendo apenas um pequeno percentual de 6,25% dos monitoramentos realizados com efetividade do valor médio de água do solo sendo de “Moderada” a “Alta”, encontrada para a condição de CNM (em 0,0 – 0,2 m) e para PM (na profundidade 0,2 – 0,4 m).

Tabela 7. Efetividade relativa percentual da água no solo para os diferentes tratamentos e profundidades avaliadas

Tratamentos	>1	0,75 – 1	0,5 – 0,75	0,25 – 0,5	0 – 0,25	<0
	0,0 – 0,2 m					
CNM	0,00	0,00	6,25	18,75	25,00	50,00
PM	0,00	0,00	0,00	18,75	37,50	43,75
CNJ	0,00	0,00	0,00	6,25	25,00	68,75
PJ	0,00	0,00	0,00	25,00	31,25	43,75
	0,2 – 0,4 m					
CNM	0,00	0,00	0,00	12,50	87,50	0,00
PM	0,00	0,00	6,25	18,75	37,50	37,50
CNJ	0,00	0,00	0,00	6,25	62,50	31,25
PJ	0,00	0,00	0,00	31,25	43,75	25,00

A distinção da classe de efetividade do conteúdo de água no solo está condicionada à proximidade entre a ocorrência das chuvas e ao período de monitoramento, sendo a condição de “Extremamente Efetivo” e de “Alta Efetividade” relacionadas à ocorrência de uma infiltração de água do solo muito próxima à data de avaliação. Isso explica o fato de nenhuma dessas classes serem encontradas para os monitoramentos, já que no momento de todas as avaliações, as chuvas já tinha ocorrido e a água já havia sido redistribuída ao longo do perfil do solo. No trabalho de Santos et al. (2011), valores de efetividade acima de 0,75 foram encontrados, já que foi utilizado na determinação da umidade sondas do tipo TDR, que ligadas a um datalogger, permitiu um monitoramento em escala diária da variação da umidade do solo, podendo dessa forma serem encontradas condições de saturação do solo ou umidades próximas à capacidade de campo. Embora os valores efetividade encontrados nesse estudo estejam por vezes indicando níveis de água do solo abaixo do ponto de murcha permanente, sabe-se que a insuficiência hídrica é uma característica marcante dos solos sob fisionomia de caatinga em que as espécies vegetais estão condicionadas, onde o que garante a sobrevivência da vegetação são mecanismos de adaptação, descrito por Larcher (2000) e Trovão et al. (2004), e que estão relacionadas à eficiência do uso da água.

CONCLUSÕES

1. A umidade do solo na bacia hidrográfica do Jatobá é maior na porção à montante do ponto médio desta.
2. As diferentes condições de cobertura vegetal e características dos solos da bacia induzem à variações espaciais da umidade, sendo essa influência menos expressiva sobre seus padrões temporais.
3. A variabilidade entre os valores médios da umidade do solo para os tratamentos avaliados é menor durante o período das chuvas, bem como na profundidade 0,2 – 0,4 m.
4. A efetividade da água do solo foi baixa durante a maior parte dos monitoramentos realizados.
5. A análise da influência da orientação de vertentes no conteúdo de água do solo não permitiu estabelecer padrão para a bacia do Jatobá.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, A. R. S.; JADOSKI, S. O.; GUERRA, H. C.; GUERRINI, I. A. Influência do tempo de contagem na determinação da densidade de nêutrons. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.5, n.3, p.411 – 415, 2001.

ANDRADE JÚNIOR, A. S.; SILVA, C. R.; DANIEL, R. Calibração de um sensor capacitivo de umidade em Latossolo Amarelo na microrregião do Litoral Piauiense, **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.2, n.4, p.303 – 307, 2007.

ASSISTAT Versão 7.6 beta - Homepage <http://www.assistat.com> Por Francisco de A. S. e Silva DEAG-CTRN-UFCG – Atualiz.01/01/2013.

ÁVILA, L. F.; MELLO, C. R.; MELLO, J. M.; SILVA, A. M. Padrão Espaço-Temporal da Umidade Volumétrica do Solo em uma Bacia Hidrográfica com Predominância de Latossolos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.35, p.1801 – 1810, 2011.

ÁVILA, L. F.; MELLO, C. R.; SILVA, A. M. Estabilidade Temporal do Conteúdo de Água em três condições de uso do solo, em uma bacia hidrográfica da região da Serra da Mantiqueira, MG. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.34, p.2001 – 2009, 2010.

BALE, C. L.; WILLIAMS, J. B.; CHARLEY, C. L. The impact of aspect on forest structure and floristics in some Eastern Australian sites. **Forest Ecology and Management**, v.110, p.363 – 377, 1998.

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. Manual de irrigação. 7ª ed. Viçosa: UFV, 2005, 17p.

BERTOL, O. J. Contaminação da água de escoamento superficial e da água percolada pelo efeito de adubação mineral e adubação orgânica em sistema de semeadura direta. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Paraná. 2005. 209p.

BEZERRA, S. A.; CANTALICE, J. R. B. Erosão entre sulcos em diferentes condições de cobertura do solo, sob o cultivo da cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.30, n.4, p.565-573, 2006.

BUCKMAN, H. O.; BRADY, N. C. Natureza e propriedade dos solos. 5ª ed. Trad. Figueiredo Filho, A. B. N. Rio de Janeiro: Biblioteca Universitária Freitas Bastos, 1979, 647p.

CANTÓN, Y.; SOLÉ-BENET, A.; DOMINGO, F. Temporal and spatial patterns of soil moisture in semiarid badlands of SE Spain. **Journal of Hydrology**, n.285, p.199 – 214, 2004.

CARLESSO, R.; ZIMMERMANN, F. L. Água no solo: parâmetros para dimensionamento de sistemas de irrigação. **Caderno Didático**, nº 3, 2000.

CARVALHO, B. C.; OLIVEIRA, D. Dados morfométricos extraídos a partir de modelo digital de terreno hidrologicamente corrigido como subsídio a análise ambiental. Disponível em <http://www.selper-mexico.org.mx/XT%20PDF/HIDROLOGIA/HIDRO-03.pdf>. Acessado em 19/02/2013.

CHEN, L.; HUANG, Z.; GONG, J.; FU, B.; HUANG, Y. The effect of land cover/vegetation on soil water dynamic in the hilly area of the loess plateau, China. **Catena**, v.70, p.200 – 208, 2007.

CHEN, Z.; HSIEH, C.; JIANG, F.; HSIEH, T.; SUN, I. Relations of soil properties to topography and vegetation in a subtropical rain forest in southern Taiwan. **Plant Ecology**, v. 132, p. 229 – 241, 1997.

CORREA, M. M.; RIBEIRO, M. R. Levantamento detalhado de solos da fazenda Nossa Senhora do Rosario (Pesqueira – PE). Recife: UFRPE/UFPE/CNPq/BNB. Relatório Técnico, 2001, 35p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA — EMBRAPA. **Manual de métodos de análises de solo**. 2.edição. Rio de Janeiro, Ministério da Agricultura e do Abastecimento, 212p, 1997.

ENTIN, J. K.; ROBOCK, A.; VINNIKOV, K. Y.; HOLLINGER, S. E.; LIU, S.; NAMKHAI, A. Temporal and spatial scales of observed soil moisture variations in the extratropics. **Journal of Geophysical Research**, v.105, n.D9, p.11865 – 11877, May 2000.

FREER J, et al. The role of bedrock topography on subsurface storm flow. **Water Resources Research**, v.38, p.1269, 2002.

GAO, X.; WU, P.; ZHAO, X.; SHI, Y.; WANG, J. Estimating spatial mean soil water contents of sloping jujube orchards using temporal stability. **Agricultural Water Management**, v.102, p.66 – 73, 2011.

GARBIN, E. J; PINESE, J. F. J; RODRIGUES, S. C. Análise da Variação da Umidade em Diferentes Tipologias de Uso da Terra Através do Uso de Parcelas de Erosão. Fazenda Experimental do Glória – Uberlândia MG. VI Simpósio Nacional de Geomorfologia. Geomorfologia Tropical e Subtropical: processos, métodos e técnicas. Goiânia, 6 a 10 de setembro de 2006.

GÓMEZ-PLAZA, A.; ALVAREZ-ROGEL, J.; ALBALADEJO, J.; CASTILLO, V. M. 'Spatial patterns and temporal stability of soil moisture across a range of scales in semi-arid environment', **Hydrological Processes**, vol. 14, pp. 1261 – 1277, 2000.

GUO, D.; MOU, P.; JONES, R. H.; MITCHELL, R. J. Temporal changes in spatial patterns of soil moisture following disturbance: an experimental approach. **Journal of Ecology**, v.90, p.338 – 347, 2002.

GROSS, N.; ROBSON, T. M.; LAVOREL, S.; ALBERT, C.; BAGOUSSE-PINGUET, Y.L.; GUILLEMIN, R. Plant response traits mediate the effects of subalpine grasslands on soil moisture. **New Phytologist**, v.180, p.652 – 662, 2008.

HAGHIGHI, F.; GORJI, M.; SHORAFI, M. A study of the effects of land use changes on soil physical properties and organic matter. **Land Degradation & Development**, v.21, p. 496 – 502. 2010.

- HANNA, A. Y.; HARLAN, P. W.; LEWIS, D. T. Soil available water as influenced by landscape position and aspect. **Agronomy Journal**, v.74, p.999 – 1004, 1982.
- HEATHMAN, G. C.; COSH, M. H.; HAN, E.; JACKSON, T. J.; MCKEE, L.; MCAFEE, S. Field scale spatiotemporal analysis of surface soil moisture for evaluating point-scale in situ networks. **Geoderma** v.170, p.195–205, 2012.
- HU, W.; SHAO, M. A.; HAN, F. P.; REICHARDT, K.; TAN, J. Watershed scale temporal stability of soil water content. **Geoderma**, v.158, p.181 – 198, 2010.
- HUGGINS, L. F. Small watershed hydrology. Lafayette, Purdue University/Agricultural Engineering Department, 1979. não paginado.
- ILLSTON, B. G.; BASARA, J. B.; CRAWFORD, K. C. 'Seasonal to interannual variations of soil moisture measured in Oklahoma', **International Journal of Climatology**, v.24, p.1883 - 1896, 2004.
- JAMES, S. E.; PÄRTEL, M.; WILSON, S. D.; PELTZER, D. A. 'Temporal heterogeneity of soil in grassland and forest', **Journal of Ecology**, v.91, pp. 234 – 239, 2003.
- LARCHER, W. *Ecofisiologia Vegetal*. São Carlos, RiMa. São Paulo. 2000, 529p.
- LI, Z.; LIU, W. Z.; ZHANG, X. C.; ZHENG, F. L. Impacts of land use change and climate variability on hydrology in an agricultural catchment on the Loess Plateau of China. **Journal of Hydrology**, v.377, p. 35 – 42, 2009.
- MACHADO, L. E. G.; NUNES, E. D.; ROMÃO, P. A. Análise da influência da topografia na variação sazonal de fitofisionomias na bacia do Rio Veríssimo – GO. Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, Brasil, 25 – 30 abril 2009, INPE, p. 2817 – 2822.
- MEDEIROS, J. D. & CLARKE, J. A. G. Variabilidade espacial do conteúdo de água no solo numa pequena bacia rural: Análise geoestatística. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.12, n.1, p. 43 – 52, 2007.
- MEDEIROS, J. D. F. Variabilidade Espacial do Conteúdo de Água no Solo na Bacia do Arroio Donato – RS. 2004. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRS.
- MELLO, T. F. Estrutura da vegetação, cobertura florestal e preferências de uso da paisagem associadas a vertentes: as quaseflorestas de São Luiz do Paraitinga. 2009, 76p. Dissertação (Mestrado), Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo. Departamento de Ecologia.
- MONTE-MOR, R. C. A.; PALMIER, L. R.; ANDRADE PINTO, E. J.; LIMA, J. DO E. S. Estabilidade Temporal da Distribuição Espacial da Umidade do Solo em uma Bacia Intermitente no Semiárido de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos** v.17, n.3, 101 – 113, Jul/Set 2012.

MONTENEGRO, A. A. A.; RAGAB, R. Hydrological response of a Brazilian semi-arid catchment to different land use and climate change scenarios: a modelling study. **Hydrological Processes**, v.24, p.2705 – 2723, 2010.

NUNES, A. Análise Comparativa da Humidade do Solo Sob Diferentes Usos e Cobertos Vegetais VI Seminário Latino-Americano de Geografia Física II Seminário Ibero-Americano de Geografia Física Universidade de Coimbra, Maio de 2010.

PAIVA, A. Q.; SOUZA, L. S.; RIBEIRO, A. C.; COSTA, L. M. Disponibilidade de água em uma topossequência de solos de tabuleiro do estado da Bahia e sua relação com indicadores do crescimento da laranjeira. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 22, p. 367 – 377, 1998.

PAN, Y. X.; WANG, X. P.; JIA, R. L.; CHEN, Y. W.; HE, M. Z. Spatial variability of surface soil moisture content in a re-vegetated desert area in Shapotou, Northern China. **Journal of Arid Environments**, v.72, p.1975 – 1683, 2008.

PORPORATO, A.; D'ORICO, P.; LAIO, F.; RIDOLFI, L.; RODRIGUEZ-ITURBE, I. Ecohydrology of water-controlled ecosystems. **Advances in Water Resources**, v.25, p.1335 – 1348, 2002.

QIU, Y.; FU, B.; WANG, J.; CHEN, L.; MENG, Q.; ZHANG, Y. Spatial prediction of soil moisture content using multiple-linear regressions in a gully catchment of the Loess Plateau, China. **Journal of Arid Environments**, v. 74, p.208 – 220, 2010.

QIU, Y.; FU, B. J.; WANG, J. ; CHEN, L. D. Soil moisture variation in relation to topography and land use in a hillslope catchment of the Loess Plateau, China. **Journal of Hydrology**, v.240, p.243–263, 2001.

RAMOS, M. C.; MARTÍNEZ-CASASNOVAS, J. A. Impact of land leveling on soil moisture and runoff variability in vineyards under different rainfall distributions in a Mediterranean climate and its influence on crop productivity. **Journal of Hydrology**, v.321, p.131 – 146, 2006.

REICHARDT, K. A água em sistemas agrícolas. São Paulo: Manole, 1990.188p.

ROBINSON, D. A.; CAMPBELL, C. S.; HOPMANS, J.W.; HORNBuckle, B.K.; JONES, S.B.; KNIGHT, R.; OGDEN, F.; SELKER, J.; WENDROTH, O. Soil moisture measurement for ecological and hydrological watershed-scale observatories: A review. **Vadose Zone Journal**, v.7, p. 358 – 389, 2008.

ROSSATO, L.; ALVALÁ, R. C. S.; TOMASELLA, J. VARIAÇÃO ESPAÇO-TEMPORAL DA UMIDADE DO SOLO NO BRASIL: ANÁLISE DAS CONDIÇÕES MÉDIAS PARA O PERÍODO DE 1971-1990. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.19, n.2, 113 – 122, 2004.

SANTOS, T. E. M.; MONTENEGRO, A. A. A.; SILVA, D. D. Umidade do solo no semiárido pernambucano usando-se reflectometria no domínio do tempo (TDR). **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** v.15, n.7, p.670 – 679, 2011

SANTOS, T. E. M. Dinâmica Espacial e Temporal da Umidade do Solo em Bacia Experimental do Semiárido Pernambucano, 2010, 68p. Tese (Doutorado em Ciência do Solo). Universidade Federal Rural de Pernambuco. Departamento de Agronomia.

SANTOS, T. E. M.; SILVA, D. D.; MONTENEGRO, A. A. A. Temporal Variability of Soil Water Content Under Different Surface Conditions in the Semiarid Region of the Pernambuco State. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.34, p.1733 - 1741, 2010.

SANTOS, T. E. M.; MONTENEGRO, A. A. A.; SILVA, V. P.; MONTENEGRO, S. M. G. L. Erosão hídrica e perda de carbono orgânico em diferentes tipos de cobertura de solo no semi-árido, em condições de chuva simulada, **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.12, p.1 – 15, 2008.

SILVA, A. N.; MONTENEGRO, A. A. A.; MOURA, G. B. A. Efeito das mudanças climáticas no armazenamento de água em diferentes solos do agreste pernambucano. In: Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste. 9. 2008. Anais. Salvador, ABRH, 2008. CD-ROM.

SILVA, C. R.; ANDRADE JUNIOR, A. S.; ALVES JUNIOR, J.; SOUZA, A. B.; MELO, F.B.; COELHO FILHO, M. A. Calibration of a Capacitance Probe in a Paleudult. **Scientia Agricola** v.64, n.6, p.636 - 640, 2007.

STARCKS, P. J.; HEATHMAN, G. C.; JACKSON, T. J.; COSH, M. Temporal stability of soil moisture profile. **Journal of Hydrology**, v.342, p.400 – 411. 2006.

STARCKS, P. J.; HEATHMAN, G. C.; AHUJA, L. R.; MA, L. Use of limited soil property data and modeling to estimate root zone soil water content. **Journal of Hydrology**, v.272, p.131 – 147, 2003.

TAKYU, M.; AIBA, S.; KITAYAMA, K. Effects of topography on tropical lower montane forests under different geological conditions on Mount Kinabalu, Borneo. **Plant Ecology**, v.159, p.35 – 49, 2002.

TINLEY, K. L. The influence of soil moisture balance on ecosystem patterns in south Africa. In: Huntley, B.J., Walker, B.H. (Eds.), *Ecology of Tropical Savannas*. Springer-Verlag, Berlin, p. 175–192, 1982.

TROVÃO, D. M. B. M.; FERNANDES, P. D.; ANDRADE, L. A.; DANTAS NETO, J.; OLIVEIRA, A. B.; QUEIROZ, J. A. Avaliação do potencial hídrico de espécies da Caatinga sob diferentes níveis de umidade no solo. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v.4. n.2, 2004.

VACHAUD, G.; PASSERAT DE SILANS, A.; BALABANIS, P. & VAUCLIN, M. Temporal stability of spatially measured soil water probability density function. **Soil Science Society of America Journal**, v.49, p.822 – 827, 1985.

WILCOX, B P. et al. Invasion of shrublands by exotic grasses: ecohydrological consequences in cold versus warm deserts. **Ecohydrology**, v.5, p.160 – 173, 2012.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os estudos voltados à compreensão do comportamento da umidade assume importância singular quando desenvolvidos em regiões de características semiáridas. A associação de fatores típicos dessas regiões, impõe padrões distintos à variação da umidade do solo, e seu conhecimento torna-se imprescindível para adoção de técnicas e ações mais adequadas à realidade local, bem como ao subsídio de novas pesquisas relacionadas. A bacia experimental do Jatobá, na forma de objeto de estudos, tem se prestado bem à essa finalidade, e demonstra a importância das pesquisas desenvolvidas em pequenas bacias para a compreensão fenômenos específicos. As características de solo, relevo, precipitação, e vegetação presentes no semiárido brasileiro, impõe um desafio ao desenvolvimento e conclusão de trabalhos acadêmicos. Essa região difere dos padrões das demais regiões áridas do planeta, e abriga a Caatinga, importante bioma exclusivamente brasileiro. A análise de estabilidade temporal nessa região, ilustra bem isso, quando faz parte dos trabalhos nacionais que encabeçam esse tipo de pesquisa em escala de bacia. A possibilidade de determinar pontos, que representam o comportamento médio das áreas sob condições semelhantes, pode se tornar uma ferramenta útil a ser aplicada em novas pesquisas, tais como aquelas relacionadas à modelagem hidrológica. Concluir a validação do método impõe confiança nas informações passíveis de utilizadas.

O entendimento da variação temporal da umidade, e a avaliação das participações independentes ou associadas de fatores, leva ao aprimoramento da percepção geral da área de estudo. A exemplo da constatação de valores distintos de umidade nas porções da bacia, imposto até onde se espera pelos tipos de solo; e sua influência no desenvolvimento da vegetação, que pode ser importante no processo de regeneração natural ou na agricultura de sequeiro. Perceber que essa interdisciplinaridade rege os fenômenos, torna-se útil e evidente quando o comportamento da umidade associado às orientações de vertentes diferiram do esperado, podendo ser explicado pela ação do interfluxo que colabora com a manutenção da umidade nas porções mais baixas do terreno.

Vale ainda destacar que os resultados obtidos, na forma consulta de novas pesquisas, pode sugerir o aperfeiçoamento das metodologias empregadas e dos recursos disponíveis, através da expansão da atual rede de monitoramento. Isso levará a uma verificação mais apurada dos registros aqui feitos por meio das conclusões.