



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

MARCOS MAKEISON MOREIRA DE SOUSA

**PULSOS PLUVIOMÉTRICOS NA FORMA DE ORVALHO E UMIDADE DO SOLO
EM DUAS COBERTURAS VEGETAIS EM FLORESTA TROPICAL SECA**

FORTALEZA

2020

MARCOS MAKEISON MOREIRA DE SOUSA

PULSOS PLUVIOMÉTRICOS NA FORMA DE ORVALHO E UMIDADE DO SOLO EM
DUAS COBERTURAS VEGETAIS EM FLORESTA TROPICAL SECA

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola do Centro de Ciência Agrárias, da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola. Área de concentração: Conservação de Água e Solo no Semiárido.

Orientadora: Prof^ª. Ph.D Eunice Maia de Andrade.

FORTALEZA

2020

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

S697p Sousa, Marcos Makeison Moreira de.
Pulsos pluviométricos na forma de orvalho e umidade do solo em duas coberturas vegetais em floresta tropical seca / Marcos Makeison Moreira de Sousa. – 2020.
62 f. : il. color.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Fortaleza, 2020.
Orientação: Profa. Dra. Eunice Maia de Andrade.

1. Chuva. 2. Manejo da Vegetação. 3. Água no Solo. 4. Topografia. I. Título.

CDD 630

MARCOS MAKEISON MOREIRA DE SOUSA

PULSOS PLUVIOMÉTRICOS NA FORMA DE ORVALHO E UMIDADE DO SOLO EM
DUAS COBERTURAS VEGETAIS EM FLORESTA TROPICAL SECA

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola do Centro de Ciência Agrárias, da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola. Área de concentração: Conservação de Água e Solo no Semiárido

Aprovada em: __/__/____.

BANCA EXAMINADORA

Prof^ª. Ph.D. Eunice Maia de Andrade (Orientadora)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof^ª. Dra. Helba de Araújo Palácio
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE)

Prof. Dr. Pedro Henrique Augusto Medeiros
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE)

Aos meus pais, Manoel Lima Moreira e Maria de Lourdes de Sousa Ferreira; aos meus irmãos Moisés Moreira de Sousa, Manoela Moreira Sousa e Maria Alícia Moreira Sousa; a todos os meus familiares.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, a Deus, por ter me concebido sabedoria, foco, determinação, disciplina e por sempre povoar os meus caminhos com boas companhias.

A toda minha família, pelo incentivo, apoio, confiança e força nos momentos de dificuldade.

A professora e orientadora Eunice Maia de Andrade, pela confiança, incentivo, ensinamentos e paciência, demonstrando sempre comprometimento e seriedade no período de convivência durante todo o curso e pesquisa.

A professora Helba Araújo de Queiroz Palácio, pela amizade, incentivo, confiança e paciência nesta cainhada, desde os tempos de graduação.

Aos amigos Jacques Carvalho Ribeiro Filho e Matheus Magalhães Silva Moura, pela amizade, confiança, incentivo e convivência, sempre auxiliando de maneira construtiva.

A Universidade Federal do Ceará, bem como ao Programa de Pós Graduação em Engenharia Agrícola pela oportunidade e por contribuir para minha formação acadêmica.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de estudo e financiamento do projeto.

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará – Campus Iguatu, bem como ao laboratório de Água, Solo e Tecido Vegetais, e a toda sua equipe por ter permitido a realização das análises.

Aos colegas da Pós-graduação, Iana Oliveira, Isadora Vieira, Hosana Andrade, Angélica, Diego Antunes, Erich Pereira, Hayver Olaya, Beatriz Abreu, Camila Souza, Juarez, pela convivência.

Aos meus colegas de pesquisa das Bacias Experimentais de Iguatu (BEI), José Ribeiro (Júnior), José Brasil, Geovane Barbosa, Daniel Santos, Ruth Cândido, Mayara Souza, Zidane, Léo Cássio, Josafá Victor, Geysa Delfino, pela convivência durante o período de pesquisa em campo.

As amigas Janielly Pereira, Francisca Rosicleide (Tia Rose) e Rayane Morais, pela amizade, convivência, conversas e pelos eventuais “cafés” durante os intervalos.

A todos que contribuíram de forma direta ou indireta e todos que porventura não tenha mencionado, deixo o meu MUITO OBRIGADO!

Experiência, tentativa e erro, constante reflexão e revisão do itinerário — tais são os únicos meios pelos quais um homem pode, com a graça de Deus, adquirir conhecimento. Isso não se faz do dia para a noite.

(Olavo de Carvalho)

RESUMO

Nos ambientes semiáridos, um completo entendimento da distribuição temporal da precipitação pluviométrica e sua influência sobre a dinâmica de água no solo é essencial para o entendimento dos processos hidrológicos a nível de microbacias hidrográficas. Nesse segmento, objetivou-se investigar a dinâmica espacial e temporal da umidade do solo em uma toposequência de duas microbacias e se o orvalho contribui de forma significativa com a umidade na camada superficial do solo ao ponto de minimizar o efeito do estresse hídrico em plantas com raízes de absorção predominantes nas camadas superficiais. O experimento foi conduzido em duas microbacias inseridas no domínio fitogeográfico da caatinga, na bacia do Alto Jaguaribe, no município de Iguatu, região Centro Sul do Ceará, com áreas de 2,06 e 1,15 ha para a caatinga em regeneração (CReg) e a raleada (CRal), respectivamente. Para estudar a umidade, ambas as bacias foram divididas em três trechos, baixo médio e alto. Para verificar a variabilidade da umidade em diferentes partes da bacia, coletou-se amostras aleatórias de solo diariamente em latas de alumínio, sendo três coletas em cada trecho, totalizando nove pontos de coleta em cada bacia. Determinou-se a umidade do solo pelo método padrão ou gravimétrico. O estudo do orvalho foi realizado apenas na CReg, no período de Jun/2019 a Ago/2019. A umidade do solo e o orvalho, foram mensuradas por quatro sensores capacitivos de umidade, instalados nas profundidades de 5 e 10 cm, com intervalo de leituras de 1 minuto. Os resultados indicam que a diferença na umidade do solo foi claramente afetada pela cobertura vegetal, proporcionando maiores valores e maior intervalo de tempo úmido na CRal em relação a CReg. O trecho baixo foi o único a apresentar diferença estatística significativa em ambas as bacias. A precipitação foi fundamental na variabilidade da umidade, mas sua distribuição nos trechos foi afetada pela topografia. O valor crescente de correlação entre a umidade e a precipitações antecedente dos últimos 5 dias (PPT.ANT.5) indica a baixa taxa de decaimento de umidade do solo. Os estudos sobre o orvalho comprovaram que durante o período de estudo foram registrados incrementos da umidade do solo durante a noite em ambas as profundidades. O acréscimo de umidade durante o período noturno foi estatisticamente significativo nos meses de junho a agosto nas profundidades de 5 e 10 cm. A contribuição média do orvalho para umidade do solo é de 12,1 e 19,2 mm mês⁻¹, o que representa 16,5 e 26,1% da precipitação total anual. Tais resultados mostram a importância do orvalho para disponibilidade hídrica e para as espécies da caatinga nos meses de déficit hídrico.

Palavras-chave: Chuva. Manejo da Vegetação. Água no Solo. Topografia.

ABSTRACT

In semi-arid environments, a complete understanding of the temporal distribution of rainfall and its influence on soil water dynamics is essential for understanding hydrological processes at the level of watersheds. In this segment, the objective was to investigate the spatial and temporal dynamics of soil moisture in a toposequence of two watersheds and whether dew contributes significantly with moisture in the surface layer of the soil to the point of minimizing the effect of stress plants with predominant absorption roots in the surface layers. The experiment was conducted in two watersheds inserted in the phytogeographic domain of the caatinga, in the Alto Jaguaribe basin, in the municipality of Iguatu, South Central region of Ceará, with areas of 2.06 and 1.15 ha for the caatinga in regeneration (CReg) and the raleada (CRal), Respectively. To study the humidity, both basins were divided into three stretches, medium and high low. To verify the variability of moisture in different parts of the basin, random soil samples were collected daily in aluminum cans, three of which were collected in each stretch, totaling nine collection points in each basin. Soil moisture was determined by standard or gravimetric method. The dew study was carried out only at CReg, from Jun/2019 to Aug/2019. Soil moisture and dew were measured by four capacitive moisture sensors, installed at depths of 5 and 10 cm, with a reading interval of 1 minute. The results indicate that the difference in soil moisture was clearly affected by vegetation cover, providing higher values and a longer time interval in The Ral C in relation to CReg. The low stretch was the only one to present statistically significant difference in both basins. Precipitation was fundamental in moisture variability, but its distribution in the stretches was affected by topography. The increasing correlation value between humidity and previous precipitation in the last 5 days PPT. ANT.5 indicates the low decay rate of soil moisture. Studies on dew proved that during the study period, soil moisture increments were recorded at night at both depths. The increase in humidity during the night period was statistically significant in the months of June to August at depths of 5 and 10 cm. The average contribution of dew to soil moisture is 12.1 and 19.2 mm month⁻¹, which represents 16.5 and 26.1% of the total annual precipitation. These results show the importance of dew for water availability and caatinga species in the months of water deficit.

Keywords: Rain. Vegetation Management. Water in the Soil. Topography.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1	–	Esquematisação do processo de formação do orvalho	26
Figura 2	–	Localização da área de estudo nas microbacias experimentais no município de Iguatu, Ceará	30
Figura 3	–	Caatinga em regeneração desde 1978 (CReg). (A) aspecto da cobertura vegetal durante a estação seca, quando as plantas perdem totalmente as folhas. (B) aspecto da cobertura vegetal durante a estação chuvosa, quando ocorre o rebrotamento das folhas	31
Figura 4	–	Caatinga submetida ao raleamento (CRal) – (A) aspecto da cobertura vegetal logo após a aplicação da técnica de raleamento. (B) aspecto da cobertura vegetal após o início da estação chuvosa e o surgimento do estrato herbáceo	32
Figura 5	–	Divisão dos trechos, baixo, médio e alto para as microbacias CReg (A) E CRal (B)	33
Figura 6	–	Localização do fragmento da floresta tropical sazonalmente seca, Caatinga, município de Iguatu, Ceará	35
Figura 7	–	Caatinga em regeneração desde 1978 (CReg). (A) aspecto da cobertura vegetal durante a estação seca, quando as plantas perdem totalmente as folhas. (B) aspecto da cobertura vegetal durante a estação chuvosa, quando ocorre o rebrotamento das folhas	36
Figura 8	–	Datalogger (A) e sensores de umidade (B) instalados em campo	37
Figura 9	–	Umidade média do solo por trecho da toposequência e por cobertura vegetal. Letras maiúsculas idênticas entre os trechos de uma mesma microbacia não apresentam diferença estatística para $p < 0,05$. Letras minúsculas idênticas entre microbacias no mesmo trecho não apresentam diferença estatística para $p < 0,05$	39
Figura 10	–	Dispersão da umidade nos trechos da toposequência	41
Figura 11	–	Precipitação e médias diárias da umidade do solo na CReg e Cral	42

Figura 12 – Precipitação e variabilidade da umidade nos trechos da toposequência	44
Figura 13 – Valores médios diários de umidade nos sensores de 5 e 10 cm	47
Figura 14 – Umidade do solo nos períodos diurno e noturno e teste de médias (Kruskal-Wallis) ao nível de 5%	48
Figura 15 – Variabilidade temporal diária da umidade do solo no mês de junho medida no intervalo de 1 minuto	50
Figura 16 – Variabilidade temporal diária da umidade do solo no mês de julho medida no intervalo de 1 minuto	51
Figura 17 – Variabilidade temporal diária da umidade do solo no mês de agosto medida no intervalo de 1 minuto	52

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	–	Principais condições da natureza de estudos anteriores sobre a variação da umidade do solo (em ordem cronológica)	20
Tabela 2	–	Quantidade média de orvalho em diferentes regiões pelo globo	27
Tabela 3	–	Duração média do orvalho (h) em diferentes regiões	28
Tabela 4	–	Análise dos atributos físico-químicos do solo da microbacia	35
Tabela 5	–	Média, coeficiente de variação e desvio padrão da umidade do solo por trecho da toposequência nas duas microbacias	40
Tabela 6	–	Correlação de Pearson entre a umidade nas bacias, nos trechos e a precipitação e precipitação antecedente	45
Tabela 7	–	Valores medios da umidade do solo oriundos das 44.735 leituras realizadas no periodo de estudo (junho a agosto de 2019)	49

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
2	REFERENCIAL TEÓRICO	16
2.1	Regime pluviométrico	16
2.2	Umidade do solo	17
2.3	Variabilidade espaço-temporal da umidade do solo	19
2.4	Solo e topografia	22
2.5	Cobertura vegetal	23
2.6	Precipitação de orvalho	25
3	MATERIAL E MÉTODOS	29
3.1	Variabilidade espaço-temporal da umidade do solo em diferentes domínios topográficos e manejo da vegetação no semiárido	29
3.1.1	<i>Área de estudo</i>	29
3.1.2	<i>Umidade do solo</i>	32
3.1.3	<i>Análise estatística</i>	34
3.2	Contribuição do orvalho na umidade superficial do solo em floresta tropical seca – caatinga	34
3.2.1	<i>Área de estudo</i>	34
3.2.2	<i>Umidade do solo</i>	36
3.2.3	<i>Análise estatística</i>	38
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	38
4.1	Variabilidade espaço-temporal da umidade do solo em diferentes domínios topográficos e manejo da vegetação no semiárido	38
4.2	Contribuição do orvalho na umidade superficial do solo em floresta tropical seca – caatinga	46
5	CONCLUSÕES	53
	REFERÊNCIAS	55

1 INTRODUÇÃO

As regiões semiáridas pelo mundo caracterizam-se por um elevado deficit hídrico (SILVA *et al.*, 2011), devido a elevada radiação solar incidente (MOURA *et al.*, 2007) e alta variabilidade espaço-temporal das precipitações pluviométricas (ANDRADE, 2017). No Brasil, a região semiárida do Nordeste abrange uma área de aproximadamente 844 mil km² (IBGE, 2018), sendo considerada a região de terra seca mais populosa do mundo (MARENGO *et al.*, 2017), com cerca de 27 milhões de habitantes e uma densidade populacional humana de 32 habitantes por quilômetro quadrado (ICMBIO, 2018). Seus limites estendem-se pelos estados de Alagoas, Bahia, Ceará, Maranhão, Pernambuco, Paraíba, Rio Grande do Norte, Piauí, Sergipe e no norte de Minas Gerais (CARVALHO, 2009).

As principais causas da seca na região Nordeste do Brasil estão diretamente relacionadas à variabilidade das fontes indutoras do regime pluviométrico e das temperaturas das águas do atlântico (GUERREIRO *et al.* 2013), que são características determinantes das condições do clima local (PEREIRA, 2014), que não se limita apenas à variabilidade espacial, mas também à alta variabilidade intra e interanual (ANDRADE *et al.*, 2017). Estes aspectos são determinantes nas limitações hídricas, que, em conjunto com uma região populosa, tornam o semiárido brasileiro ainda mais vulnerável ao déficit pluviométrico e ao aumento da aridez no próximo século (MARENGO *et al.*, 2017).

Em razão das mudanças climáticas projetadas, prevê-se também uma mudança de regimes climáticos de condições semiáridas para áridas (MARENGO; BERNASCONI, 2015). Esta mudança, juntamente com uma deterioração do meio ambiente, devido a práticas não sustentáveis de uso da terra, vai impactar diretamente os recursos hídricos, produção de alimentos, renda e meios de subsistência, que, a longo prazo, resultarão no aumento da desertificação na região (MARENGO *et al.*, 2017). Como a água é o principal fator de sobrevivência, produção e sustentabilidade em regiões secas, é essencial o fomento de estudos que investiguem como as mudanças no clima podem afetar sua dinâmica no ciclo hidrológico.

Sob esta ótica, pesquisas recentes, realizadas em regiões semiáridas pelo mundo, têm demonstrado a importância do solo tanto no processo do escoamento superficial, quanto como reservatório de água para a vegetação (LIAO *et al.*, 2017; QUEIROZ *et al.*, 2020). Embora o solo do semiárido seja limitado nos aspectos químicos e físico-hídricos, a harmonia entre o clima, solo e vegetação permite a sobrevivência da biomassa, contanto que seja adequadamente preservada.

A umidade do solo é uma das variáveis intimamente ligadas à precipitação, que

apresenta respostas interessantes quanto às interpretações das interações terra-superfície-atmosfera. Porém, estudos sobre a dinâmica da umidade do solo em florestas tropicais secas e sua variabilidade em diferentes condições de vegetação, são escassos, explicitando a necessidade de investigações, a fim de melhor compreensão deste processo. Especialmente, a umidade armazenada em diferentes camadas do solo é reconhecida como um importante impulsionador da produtividade e sustentabilidade de ecossistemas terrestres semiáridos (PORPORATO et al., 2002; LEGATES et al., 2011). Assim, o desenvolvimento de medidas de umidade do solo em escala de campos e bacias hidrográficas é benéfico para a produção agrícola e melhor compreensão das respostas chuva-vazão, respectivamente, além de possibilitar a investigação de outros fatores influentes neste processo (ROBINSON et al., 2008).

Em ambientes áridos e semiáridos, caracterizados por umidade do solo muito baixa, o orvalho também é uma das fontes importantes de umidade, onde a camada ativa de sua formação é principalmente limitada às camadas superiores de solo (ZHUANG; ZHAO, 2015). Estudos anteriores relataram que em áreas áridas e semiáridas, orvalho é um fenômeno comum, com os dias em que orvalho ocorre sendo aproximadamente 70% por ano (KABELA et al., 2009; HAO et al 2012). A informação sobre o orvalho na literatura é escassa, provavelmente porque é considerado como um componente menor do balanço hídrico e pela dificuldade de mensurá-lo (MORO et al., 2007). Porém embora em quantidades relativamente baixas, o orvalho pode influenciar de forma significativa balanços hídricos locais em ambientes áridos e semiáridos durante certos períodos do ano.

O orvalho é reconhecido como uma fonte importante de água para muitos ecossistemas áridos e semiáridos, devido suas contribuições para o equilíbrio hídrico diário, sazonal e anual (AGUIRRE-GUTIÉRREZ et al., 2019). Sua contribuição na umidade do solo pode ser importante, principalmente no processo de germinação de sementes, em razão do umedecimento da camada superficial do solo (ZHUANG; ZHAO, 2015). Podendo ainda, minimizar o alto déficit de pressão de vapor atmosférico, reduzir a transpiração da vegetação e servir como fonte de água para plantas (WEN et al., 2012; PINA et al., 2016).

Diante do exposto, desenvolveu-se este trabalho em dois capítulos. No primeiro investigou-se a variabilidade temporal da umidade do solo em uma toposequência de duas microbacias inseridas no domínio fitogeográfico da caatinga com coberturas vegetais distintas - floresta tropical em regeneração desde 1978 e submetida ao raleamento. O segundo, teve o objetivo de avaliar se o orvalho contribui de forma significativa com a umidade na camada superficial do solo ao ponto de minimizar o efeito do estresse hídrico em plantas com raízes de absorção predominantes nas camadas superficiais.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Regime pluviométrico

As regiões de clima semiárido caracterizam-se, necessariamente, pela irregularidade quanto a distribuição da precipitação, tanto espacial (RYAN; ELSNER, 2016) quanto temporalmente (MARENGO; TORRES; ALVES, 2017). Estas peculiaridades mencionadas, assim como outras inerentes às regiões semiáridas também foram descritas por Cabral et al. (2013), como sendo: altas variabilidades espaciais e temporais da precipitação, além da vivência com os extremos do clima, como por exemplo, as constantes secas e cheias. As precipitações no semiárido apresentam também uma distribuição anômala, com início da estação chuvosa podendo ocorrer de dezembro a maio, dependendo da zona da região.

A mal distribuição das precipitações nas regiões semiáridas inviabiliza a ocorrência de chuvas de forma contínua, em intervalos relativamente pequenos, demonstrando que além do total precipitado, a distribuição das chuvas também é um fator que influencia na deficiência hídrica. No Nordeste do Brasil, por exemplo, a oscilação Sul El Niño (OSEN), em razão das mudanças na temperatura da superfície do mar (TSM) no Pacífico tropical, influenciam diretamente as anomalias de precipitação (AMBRIZZI et al. 2004), porém, as oscilações do El Niño explicam apenas parte da variabilidade das chuvas.

Ainda na década de 90, Kane. (1997) demonstrou que de 46 eventos de El Niño (fortes e moderados) durante 1849-1992, apenas 21 foram associados a secas no norte do nordeste do Brasil. Outro fato é que, das secas mais recentes, de 1992, 1998, 2002, 2010 e de 2012 a 2015, apenas as de 1998, 2002 e, recentemente, em 2015 ocorreram durante os anos de oscilação Sul El Niño (MARENGO et al., 2017). Por certo, as chuvas no Nordeste do Brasil exibem acentuada variabilidade interanual, onde parte foi atribuída a oscilação Sul El Niño, enquanto outros eventos de seca são devidos a uma posição anormalmente ao norte da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) sobre o setor Atlântico, devido a um norte tropical mais quente (MARENGO et al. 2013; AMORIM et al. 2014).

Ainda sobre a variabilidade interanual da precipitação, esta é gerada também pela atuação de diferentes sistemas atmosféricos (SILVA et al., 2004), onde pode-se citar os Vórtices Ciclônicos em Ar Superior, Distúrbios Ondulatórios de Leste, Zona de Convergência do Atlântico Sul e os Sistemas Frontais e o avanço da Zona de Convergência Intertropical entre janeiro e maio, com um máximo em março-abril sobre o Nordeste. Esses fenômenos

influenciam diretamente e indiretamente a ocorrência de chuvas sobre a região do Nordeste do Brasil (ANDRADE; MEIRELES; PALÁCIO, 2010; SILVA; PEREIRA; ALMEIDA, 2012), ocasionando grande variabilidade temporal e espacial dos eventos, sendo responsável por definir seu regime hidrológico.

Visto que o regime pluviométrico que ocorre nas regiões semiáridas é caracterizado pela concentração das chuvas em um curto espaço de tempo, é comum que em um único mês o total precipitado seja superior a 70% da média da região (ANDRADE; MEIRELES; PALÁCIO, 2010). Em conjunto com estas características, a precipitação ainda apresenta um padrão sazonal, com um período chuvoso concentrado em três a quatro meses, mas podendo prolongar-se até seis meses (GUERREIRO et al., 2013). Desta forma, a estação úmida de modo geral, inicia-se em janeiro/fevereiro e estende-se até abril/maio, conseqüentemente esta má distribuição das chuvas durante o ano, resulta em índices pluviométricos distintos, proporcionando rápidas respostas às mudanças do ambiente ocasionando grandes alterações na paisagem da vegetação da caatinga (BATISTA; SANTOS, 2013).

Neste cenário, o entendimento do regime pluviométrico, tal como seus efeitos no ambiente, é essencial, sobretudo em regiões deficitárias de chuvas, como o Nordeste do Brasil. Desta maneira, a apropriação dos conhecimentos que envolvem estas questões possibilitará o entendimento de até que ponto essas mudanças afetarão os recursos hídricos, produção de alimentos, renda e meios de subsistência.

2.2 Umidade do solo

O solo pode ser definido, de acordo com o Glossário de Termos do Soil Science Society of America (1965), como o material mineral não consolidado da superfície imediata da Terra que serve como um meio natural para o crescimento das plantas terrestres (JORGE, 1985). Logo, para que um solo seja considerado ideal, é importante que ele apresente características que permita o equilíbrio entre as fases sólida, líquida e gasosa. Dentre estas, a água se apresenta como fundamental para os processos biofísicos que sustentam as funções dos ecossistemas, particularmente em regiões áridas e semiáridas, onde existe forte ligação entre a produtividade do ecossistema, o balanço de energia superficial e a disponibilidade da fonte de água (WANG et al., 2012), tornando evidente a importância de estudos a fim de conhecer o movimento da água no solo.

A umidade do solo, que representa a quantidade de água armazenada em diferentes camadas do mesmo, é um importante impulsionador da produtividade e sustentabilidade de

ecossistemas terrestres semiáridos (PORPORATO et al., 2002; LEGATES et al., 2011), tornando imprescindível a obtenção de informações sobre esse armazenamento, tal como dos fatores que influenciam a sua variação no espaço e no tempo. Basicamente, as causas desta variação estão relacionadas à natureza heterogênea das propriedades do solo, topografia, cobertura da terra e meteorologia (por exemplo, precipitação e evapotranspiração) que variam em função da escala (FRY; GUBER, 2020).

Autores como Liu et al. (2012) e Dari et al. (2019), afirmaram que a umidade do solo é uma variável chave nos processos hidrológicos, biológicos e biogeoquímicos, os quais são responsáveis pelas trocas de água e de energia na interface solo atmosfera e sua representação e medição precisas são requeridas para estimativa e previsão de infiltração, evapotranspiração, escoamento e fluxos de calor no solo, latentes e sensíveis.

Estudos como de Wei et al. (2019), demonstraram que a tendência de variação da umidade na camada superior do solo é dependente dos eventos de chuva, porém diferentes padrões de precipitação exercem forte influência sobre o tipo de dependência topográfica que ocorre em uma bacia hidrográfica, comprovando que as propriedades da chuva, influentes na variabilidade da umidade do solo, podem variar também de forma escalar. Yu et al. (2018) investigando as variações da umidade do solo em diferentes domínios topográficos e tipos de uso do solo no semiárido Loess Plateau, constataram que a variabilidade espacial da umidade do solo foi claramente alterada pela presença de barrancos e que a variação também foi diferente entre períodos úmidos e secos.

Outro fator que influencia nesta variabilidade está relacionado à vegetação, que também afeta fortemente o ciclo da água, tornando as interações entre a vegetação e a umidade do solo fundamentais para os processos ecológicos nas regiões semiáridas, onde a vegetação é esparsa (BOIX-FAYOS et al., 2006), ou em áreas onde a vegetação ocorre em faixas (CAMMERAAT, 2004). Devido à alta variabilidade espacial e temporal da umidade do solo, obter informações precisas em escalas temporais e espaciais apropriadas é um desafio a ser alcançado.

O monitoramento da água no solo pode ser realizado através de diversos métodos, onde cada um apresenta uma série de vantagens e desvantagens. A escolha do método mais adequado está relacionada com aspectos como precisão do instrumento, seu comportamento em distintos tipos de solo e seu custo. A umidade do solo pode ser quantificada por intermédio do método gravimétrico, sonda de neutros, sensores de capacitância entre outros, são técnicas normalmente utilizadas na obtenção da umidade do solo em escala pontual.

Sousa e Matsura (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.

Para mais, pode-se citar ainda as observações baseadas em satélites, por meio de sensoriamento remoto, que vem crescendo, principalmente após o reconhecimento da umidade do solo, pelo Sistema Global de Observação Climática, em 2010, como uma das Variáveis Climáticas Essenciais (VCE) (SATHYANADH et al., 2016). Deste modo, a utilização de satélites de microondas de sensoriamento remoto, vem sendo utilizadas como mais uma ferramenta na obtenção de informações sobre a umidade do solo (LIU et al., 2012; WANG et al., 2018).

De fato, a umidade do solo varia com os fatores climáticos e suas interações, assim, nenhum fator isolado pode explicar completamente esta variação (HOLSTEN et al., 2009; GAUR; MOHANTY, 2013). Esta complexidade dificulta a determinação de uma relação única entre a umidade do solo e um único fator, e a separação dos efeitos multifatoriais das mudanças climáticas sobre a umidade do solo, em diferentes coberturas de terra, permanece um desafio (FENG et al., 2015). Estes são alguns dos motivos que comprovam a importância de analisar os efeitos combinados de vários fatores climáticos em diferentes coberturas de terra.

2.3 Variabilidade espaço-temporal da umidade do solo

Desde o início do século XX, o estudo da variabilidade das propriedades do solo tem sido alvo dos pesquisadores ligados à área agrônoma (VIEIRA, 2000). Estes estudos tem se tornado mais frequentes, pois conhecer a variabilidade das propriedades do solo é considerado, atualmente, o princípio básico para o manejo preciso das áreas agrícolas, qualquer que seja sua escala (DIAS et al., 2017).

Pesquisadores que se dedicam na compreensão dos fatores que regem a umidade do solo, deparam-se, frequentemente, com as características intrínsecas de sua variabilidade espaço-temporal. Devido a influência que esta variabilidade exerce em vários processos hidrológicos, como escoamentos superficiais e subsuperficiais (BROCCA et al., 2012., LIAO et al., 2017), sua compreensão é indispensável no âmbito da hidrologia. Entre as variáveis atuantes na variabilidade da umidade do solo, pode-se citar as climáticas, basicamente relacionadas à precipitação e suas características (ZHU et al., 2014; DANELICHEN et al.,

2016), topografia, propriedades do solo, bem como o uso do solo (ZHAO et al., 2011; HUANG et al., 2016; POLTORADNEV et al., 2016).

Porém, identificar a importância relativa desses fatores ainda é complexo, principalmente em razão de suas mútuas e múltiplas influências na umidade do solo. Alguns fatores, por exemplo, exibiram interdependência em múltiplas escalas espaciais e em diferentes profundidades do solo (ZHAO et al., 2011; ZHU; LIN, 2011). A tabela 1 representa, em ordem cronológica, uma série de pesquisas sobre a variabilidade da umidade do solo, demonstrando que seus fatores controladores variam em escalas espaciais e globais (ZHU e LIN, 2011; ZHU et al., 2014).

Tabela 1 - Principais condições da natureza de estudos anteriores sobre a variação da umidade do solo (em ordem cronológica)

Autores	Localização	Clima	Escala	Profundidade e (cm)	Principais fatores de influência	Método/modelo de análise principal usado
Henninger <i>et al.</i> (1976)	Pensilvânia, EUA	-	Captação	15	Precipitação, série de solos	Equações de regressão múltipla
Hawley <i>et al.</i> (1983)	Oklahoma, EUA	Úmido	Captação	15	Topografia, cobertura do solo e propriedades do solo	Análise estatística
Nyberg (1996)	Gårdsjön, Suécia	Úmido	Captação	30	Topografia	Modelos de semi-variograma
Crave e Gascuel-Odous (1997)	Bretanha, França	-	Captação	10	Topografia, série de solos	Modelo digital de elevação
Seghieri <i>et al.</i> (1997)	Níger	Semi-árido	Hillslope	560	Crostras na superfície do solo, padrões de vegetação	Análise do componente principal
Famiglietti <i>et al.</i> (1998)	TX, EUA	Úmido-subtropical	Hillslope	5	Topografia, atributos do solo e eventos de chuva.	Análises de correlação
Wendroth e outros (1999)	Brandenbur, Alemanha	Semi-árido	Hillslope	30	Propriedades do solo	Descrição esférica do variograma
Gómez-plaza <i>et al.</i> (2001)	Murcia, Espanha	Semi-árido	Captação	15	Cobertura vegetal, textura do solo, topografia e área de contribuição	Análise de correlação
Wang <i>et al.</i> (2001)	Shaan'xi, China	Semi-árido	Captação	75	Precipitação e profundidade	Análise geoestatística
Cantón <i>et al.</i> (2004)	Almeria, Espanha	Semi-árido	Hillslope	30	Propriedades do solo, topografia e cobertura do solo	ANOVA e análise de correlação

Jawson e Niemann (2007)	Grandes Planícies do Sul, EUA	-	Região	5	Textura do solo, uso da terra e topografia	Análise da função ortogonal empírica
Zhu e Lin (2011)	Pensilvânia, EUA	-	Terreno, encosta e fazenda inteira	80	Propriedades e topografia do solo	Regressão linear múltipla stepwise
Zhao <i>et al.</i> (2011)	Mongólia Interior, China	Semi-árido	Captação	6	Variáveis topográficas, propriedades do solo e tipo de planta	ANOVA comparação múltipla e geoestatística multivariada Estabilidade temporal, krigagem em bloco e
Crow <i>et al.</i> (2012)	-	-	Campo, Captação e Regional	20	Textura do solo, variáveis topográficas, uso da terra e meteorologia	modelagem da superfície terrestre Análise bidirecional de espécies indicadoras e análise de redundância
Zhu <i>et al.</i> (2014)	Hubei, China	Úmido	Captação	15	Eventos de precipitação, propriedades do solo. e tipo de uso da terra	Regressão parcial de mínimos quadrados
Huang <i>et al.</i> (2016)	Hubei, China	Úmido	Captação	85	Propriedades do solo, atributos do terreno, tipos de uso do solo e precipitação	Matriz de correlação de Spearman
Danelichen <i>et al.</i> (2016)	Mato Grosso, Brasil	Úmido	Duas parcelas	10	Precipitação, vegetação. e índices de água	análise estatística
Poltoradnev <i>et al.</i> (2016)	Kraichgau, Alemanha	Úmido	Two regions	15	Chuva e propriedades do solo	Regressão parcial de mínimos quadrados
Suo <i>et al.</i> (2018)	Platô de Loess, China	Semi-árido e semi-úmido	Trama, encosta e região	500	Propriedades do solo, atributos do terreno, vegetação e características climáticas	

Fonte: Suo *et al.* (2018)

Considerando todos esses esforços, é evidente a necessidade e relevância de investigar os fatores controladores da umidade, especialmente na obtenção de informações sobre os componentes do ciclo hidrológico em sua integridade. Autores como Gao e Shao. (2012), observaram que a estabilidade temporal do teor de umidade do solo aumentou com o aumento da profundidade do solo em três escalas de encostas. Em análise da variabilidade espacial da umidade do solo, sob diferentes tipos de uso da terra em pomares e diferentes profundidades, Fang *et al.* (2016) verificaram variações na umidade de 9 a 23% em lavouras limpa, com capim e palha e que o coeficiente de variação diminuiu em camadas mais profundas.

A variabilidade espaço-temporal da umidade do solo levanta muitos desafios para sua definição em várias escalas. Variações em pequena escala, devido às características geomorfológicas e propriedades do solo, como a condutividade hidráulica saturada, ocorrem na faixa espacial de algumas dezenas de metros e na faixa temporal de poucos dias (WESTERN et al., 2004). E as variações em larga escala afetam áreas muito extensas, como bacias inteiras (>100 km²), e também são causadas por forças atmosféricas.

Todas estas questões, relativas ao tamanho da área de estudo da umidade, influenciam no modo em que serão obtidas as informações acerca da variabilidade. Medições como as baseadas em técnicas de sensoriamento remoto, reflectometria no domínio do tempo, sondas de nêutrons, sondas de capacitância fornecem informações detalhadas sobre os valores de umidade (ROMANO, 2014), porém, estas técnicas são caras, fornecer informações apenas de pontos selecionados e imprecisas, dependendo do tamanho da área. Deste modo, é necessário adotar métodos que atendam às necessidades e as condições da área e da pesquisa.

Contudo, é evidente a importância de estudos da variabilidade da umidade do solo (YU et al., 2018; DARI et al., 2019), tanto em escalas espaciais e globais, quanto em condições de manejo da cobertura vegetal (HUANG et al., 2016; FANG et al., 2016), principalmente considerando que a variação da umidade apresenta características bastante íntimas das condições em que está submetida.

2.4 Solo e topografia

As propriedades do solo desempenham um papel importante na interação com os processos do ciclo hidrológico. E por se tratar de um sistema complexo e dinâmico, com propriedades funcionais altamente variáveis ao longo do tempo e no espaço (SOME'E et al., 2011), é indispensável investigar suas características. As fontes de variabilidade do solo geralmente estão associadas aos resultados de processos intrínsecos (naturais) ou extrínsecos (culturais e/ou relacionados ao manejo). Sendo que os fatores geológicos, hidrológicos e biológicos que afetam a pedogênese são os principais na variabilidade intrínseca do solo (WEBSTER, 2000; ZHAO et al., 2007).

Nessa perspectiva, o conhecimento da distribuição dos solos é essencial para a compreensão do ambiente natural (DIEK et al., 2014), visto que, suas características hidrológicas e as capacidades agroecológicas, em uma região específica, são afetadas por suas propriedades (LEE; YANG, 2010).

Em regiões de clima semiárido, os estudos sobre as propriedades do solo

caracterizam-se, principalmente, em investigar sua vulnerabilidade quanto aos processos erosivos (VAN OUDENHOVEN et al., 2015; SANTOS et al., 2018). Basicamente em virtude da necessidade de preservação, posto que os solos dessas regiões são conhecidos por serem naturalmente susceptíveis à erosão (WEI et al., 2014; ZHOU et al., 2016). Por outro lado, compreender os fatores que influenciam no armazenamento de água destes solos também se apresenta como uma fonte de informação indispensável na busca de entender o comportamento sistemático destes solos, sendo que o escoamento superficial também depende das condições de umidade do solo (TUTTLE; SALVUCCI, 2014).

Dentre os fatores relevantes na compreensão sistemática do solo, como parte importante do ciclo hidrológico, não se pode esquecer a topografia, reconhecida por autores como Suo et al. (2018), por ser um dos atributos responsáveis por dominar as propriedades do solo no controle da variação da umidade em áreas semiáridas e semi-úmidas. Sendo também comumente investigada em diversos trabalhos relacionados a umidade do solo (ZHAO et al., 2011; HUANG et al., 2016). As particularidades topográficas são essenciais, tanto no estudo da variabilidade do solo, quanto no conhecimento de suas variáveis intrínsecas e extrínsecas. Sendo uma fonte de dados auxiliar amplamente utilizada (FRY; GUBER, 2020) devido à sua influência conhecida nos padrões de umidade do solo.

Investigando os efeitos da topografia na biomassa acima do solo e na umidade do solo, em escala local, no ecossistema de pastagens de terras secas na China, Wei et al. (2019) observaram que o conteúdo de água no solo e a biomassa acima do solo foram significativamente afetados pelos padrões de topografia e precipitação. Onde encontraram uma relação negativa significativa entre o conteúdo de água no solo e a altitude dos locais de amostragem. Este fato, constatado pelos referidos autores, expressa a forte atuação da topografia, tanto na variabilidade do armazenamento de água pelo solo, quanto na distribuição da vegetação.

2.5 Cobertura vegetal

As regiões semiáridas são caracterizadas por uma vegetação esparsa e altamente heterogênea (CHAMIZO et al., 2012; ZHOU et al., 2016; SANTOS et al., 2016). Estas características, em conjunto com as ações antrópicas, podem ocasionar problemas em relação a degradação do ambiente natural, pois a perda de cobertura vegetal e solos rasos, como resultado da degradação da terra, alteram as condições hidrológicas do solo (REY et al., 2017).

As áreas com características de aridez correspondem a um terço (22.6 x 106 km²)

do total das áreas secas – hiper áridas, áridas, semiáridas e sub-úmidas, as quais correspondem a 41,3% da superfície dos continentes, onde 44% é cultivada e abrigam 2 bilhões de pessoas (REID et al., 2005; UNITED NATIONS, 2019). No semiárido a vegetação de caatinga é considerada de extrema relevância, visto que resulta dos fatores climáticos marcantes, composta por uma variedade de espécies vegetais com porte rala e rasteira, bem como, arbustivas e arbóreas. No Brasil, a caatinga, denominada como Domínio Fitogeográfico da Caatinga (DFC) é a vegetação de maior predominância, tendo aproximadamente 844 mil km² de área (IBGE, 2018). As regiões em que a DFC abriga cerca de 27 milhões de pessoas na região (ICMBIO, 2018), onde seus limites estendem-se pelos estados de Alagoas, Bahia, Ceará, Maranhão, Pernambuco, Paraíba, Rio Grande do Norte, Piauí, Sergipe e no norte de Minas Gerais (CARVALHO, 2009).

Atualmente, a vegetação de caatinga encontra-se em acentuado processo de degradação devido ao desmatamento indiscriminado provocado pelo homem, ação esta que contribui para o comprometimento do seu equilíbrio a curto e longo prazo, onde, segundo o MMA (2020), cerca de 46% da área total da Caatinga já foi desmatada. Estes processos refletem na alteração de 80% de seus ecossistemas originais e na susceptibilidade de 62% de seu território a processos de desertificação (MMA, 2020). Nesse segmento, a investigação sistêmica sobre mudanças na cobertura vegetal, tal como seus efeitos no ambiente, tem sido tema de estudos por todo o mundo (WEN et al., 2017; PANG et al. al., 2017), visto sua influência nos processos hidrossedimentológicos.

Além dos aspectos inerentes das regiões semiáridas, a alteração da vegetação também impulsionada por ações antrópicas, pode causar efeitos ainda mais prejudiciais no aspecto econômico, social e ambiental (CHAMIZO et al., 2012; ZHOU et al., 2016; SANTOS et al., 2016; ANDRADE et al., 2018). Autores como Sousa et al. (2016) estudando a influência do manejo da vegetação em duas microbacias hidrográficas no semiárido brasileiro, constataram que o manejo do raleamento proporcionou reduções de 37,5 % nos eventos de escoamento superficial e 53,46% na produção de sedimentos, demonstrando que o manejo do raleamento é crucial na conservação dos recursos naturais no semiárido.

Diversos pesquisadores também vêm estudando como as características de manejo e vegetação influenciam na redução ou aumento do escoamento (VAN OUDENHOVEN et al., 2015; ZHOU et al., 2016). Ribeiro Filho et al. (2014), estudando a influência do extrato herbáceo nos fatores hidrossedimentológicos em microbacias com diferentes manejos no semiárido brasileiro, verificaram que o raleamento proporcionou reduções de quase 25% no escoamento em comparação com a área de vegetação nativa. Fato também verificado por Wei

et al. (2014), estudando os efeitos da condição superficial de diferentes espécies e intensidade da chuva no escoamento superficial na China, onde o arbusto sea buckthorn demonstrou ser eficaz na redução do escoamento.

A influência da cobertura vegetal também foi verificada por Wang et al. (2018), estudando as variações espaciais e temporais na umidade superficial do solo e cobertura vegetal no planalto de Loess. Os autores supracitados constataram que a variação espacial da umidade exibiu correlação positiva com a variação espacial da cobertura vegetal e à medida que a cobertura vegetal aumentava, a umidade do solo também aumentava. A cobertura do solo é considerada como o fator mais importante (YANG et al., 2012; STERLING et al., 2013), pois influencia fortemente a umidade do solo, alterando suas propriedades (WANG et al., 2012).

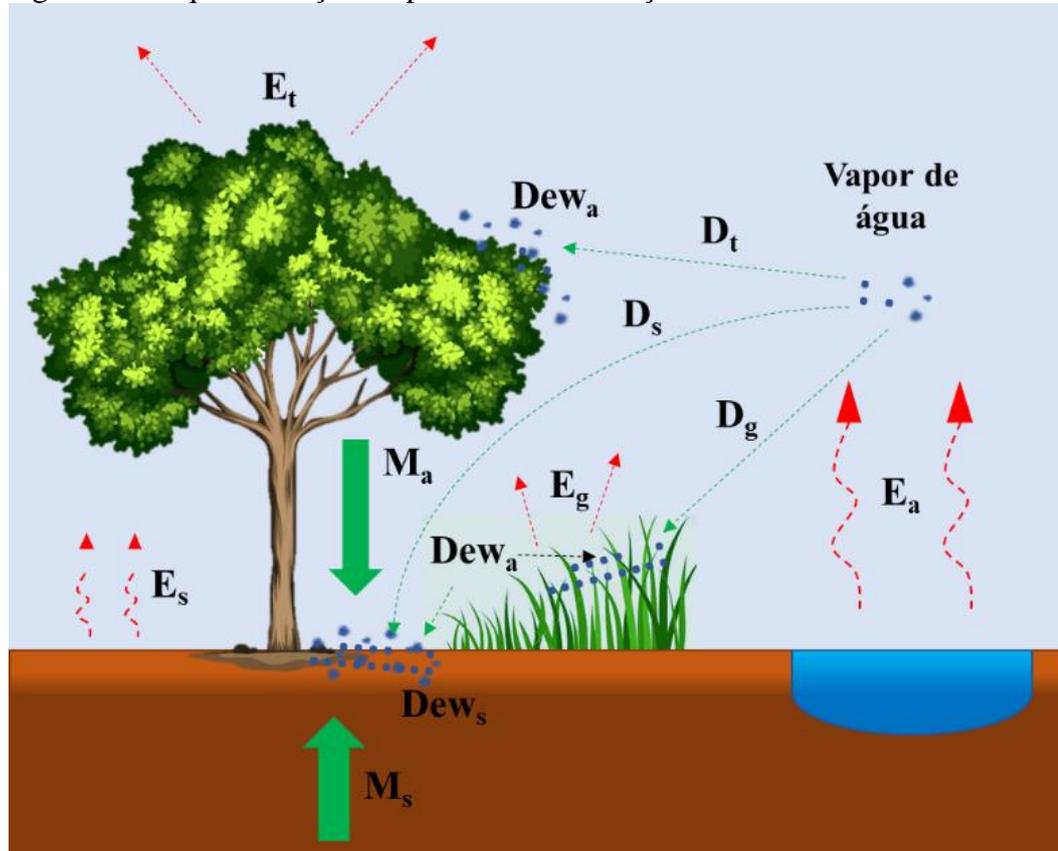
Diante de todos estes resultados, é incontestável a relevância de conhecer a relação e influência da cobertura vegetal, tal como o seu manejo, na interação com os demais processos do ciclo hidrológico. Principalmente em virtude do seu padrão espacial e morfologia heterogênea (CHAMIZO et al., 2012; ZHOU et al., 2016; SANTOS et al., 2016).

2.6 Precipitação de orvalho

O orvalho é o resultado da condensação da umidade atmosférica sobre um substrato que tem resfriado o suficiente através da liberação de radiação das ondas longa absorvidas (BEYSENS et al., 2007; MAESTRE VALERO et al., 2011), é frequentemente citado como uma fonte “comum” ou “significativa” de água em muitos dos desertos do mundo (HILL et al., 2013; AGUIRRE-GUTIÉRREZ., et al 2019). Por outro lado, as informações sobre a precipitação de orvalho são escassas, tanto por ser considerada uma componente menor do balanço hídrico, quanto por ser difícil de medir.

A formação do orvalho é um processo físico natural, porém complexo, pois é influenciado por vários fatores ambientais. Os fatores mais importantes que afetam a sua formação estão relacionados a umidade relativa e temperatura do ar próximos à superfície do solo (ZHANG et al., 2015; ZHUANG; ZHAO, 2017). A formação do orvalho ocorre através da diminuição da temperatura do ar e da superfície do solo ou dos objetos no solo e o aumento da umidade absoluta do ar pelo próprio resfriamento do ar. Quando a temperatura atinge o ponto de orvalho, o vapor de água irá condensar e formar orvalho atmosférico no dossel, nas folhas das plantas e na superfície do solo (WANG et al., 2017). A Figura 1 ilustra o processo de formação do orvalho.

Figura 1 - Esquemática do processo de formação do orvalho



Fonte: Elaborado pelo autor

Onde: E_s - evaporação do solo; E_a - evaporação de água do corpo d'água; E_t - transpiração de árvores; E_g - transpiração de gramíneas; D_t - o processo de condensação para vapor de água no dossel das árvores; D_s - o processo de condensação do vapor d'água na superfície do solo; D_g - o processo de condensação para vapor de água nas folhas de gramíneas; M_a - o traço em movimento do vapor de água no ar; M_s - o traço em movimento do vapor de água nas camadas do solo; Dew_s - o orvalho do solo líquido; Dew_a - orvalho na atmosfera.

Os principais fatores relacionados à formação do orvalho incluem a temperatura da superfície, a umidade absoluta, a umidade relativa e a velocidade do vento na camada superficial. Logo estas condições podem sofrer variações de acordo com o clima de cada região. Apesar de gerar quantidades relativamente pequenas de água, o orvalho pode ser de grande importância para o balanço hídrico local em ambientes áridos, semiáridos e hiper-áridos, principalmente em regiões com médias de precipitação muito baixas, como é o caso do deserto Taklimakan, na China onde o acúmulo de orvalho representa até 36% do total precipitado (12,87 mm) (HAO et al. 2012).

Embora em pequenas quantidades, esta água contribui facilitando o processo de germinação de sementes, em razão do umedecimento da camada superficial do solo (ZHUANG; ZHAO, 2015), podendo ainda, minimizar o alto déficit de pressão de vapor atmosférico, reduzir a transpiração da vegetação e servir como fonte de água para plantas (WEN et al., 2012; PINA et al., 2016) reduzindo o impacto da seca em plantas com raízes mais superficiais (POORTER; HAYASHIDA-OLIVER, 2000). Por ser dependente do microclima, a quantidade e a duração do orvalho podem sofrer variações dependendo do clima da região em estudo, na Tabela 2 podemos observar a variação da quantidade de orvalho em algumas destas regiões.

Tabela 2 - Quantidade média de orvalho em diferentes regiões pelo globo

Local	Superfície subjacente	Clima	Quant. média de orvalho mm dia-1	Referência
Vale do Goshute, EUA	Arbustos	Semiárido	0,077	Malek <i>et al.</i> (1999)
Castelo Dale, EUA	Alfafa	Semiárido	0,091	Malek <i>et al.</i> (1999)
Terras altas de Negev	Rocha	Árido	0,139 - 0,288	Kidron (2000)
Negev ocidental, Israel	Areia	Desértico	0,091 - 0,312	Jacobs <i>et al.</i> (2000)
Nizzana, Israel	Areia	Desértico	0,100 - 0,312	Jacobs <i>et al.</i> (2000)
Nascer do Negev, Israel	Rocha	Árido	0,120 - 0,240	Kidron (2000)
Gaolan, China	Cascalho	Semiárido	0,070	Li (2002)
Gaolan, China	Areia fina	Semiárido	0,12	Li (2002)
Gaolan, China	Solo Loess	Semiárido	0,151	Li (2002)
Países Baixos	Pastagem	Desértico	0,101	Jacobs <i>et al.</i> (2006)
Guangzhou, China	Cidade	Semiárido	0,012 - 0,034	Ye <i>et al.</i> (2007)
Rambla Honda, Espanha	Arbusto	Semiárido	0,072	Moro <i>et al.</i> (2007)
Iowa, EUA	Milho	Semiárido	0,009 - 0,600	Kabela <i>et al.</i> (2009)
Iowa, EUA	Soja	Semiárido	0,002 - 0,720	Kabela <i>et al.</i> (2009)
Gurbantunggut, China	Areia	Desértico	0,060 - 0,120	Zhang <i>et al.</i> (2009)
Dingxi, China	Solo Loess	Semiárido	0,192	Wang e Zhang (2011)
Taklimakan, China	Solo e floresta	Hiperárido	0,120	Hao <i>et al.</i> (2012)
Hunshandak Sandland, Mongólia	Pastagem e floresta espasa	Semiárido	0,120 - 0,240	Wang <i>et al.</i> (2017)
Badain Jaran, China	Arbustos	Desértico	0,130	Zhuang <i>et al.</i> (2017)

Fonte: Adaptado de Zhang *et al.* (2015)

O orvalho pode se formar em todos os meses do ano e representar até 19% do aporte

hídrico anual de ecossistemas semiáridos (HANISCH et al. 2015). Logo a duração do orvalho é fundamental, pois implica diretamente na quantidade de orvalho produzida. Por outro lado, estudos preveem mudanças climáticas com redução da formação de orvalho (XU et al. 2015) e de acordo com pesquisas realizadas por Pina et al. (2016) na vegetação sazonalmente seca brasileira (VSSB) o orvalho tem duração de 6 horas, pode se estender até três meses após o término do período chuvoso. Porém, mudanças climáticas globais podem proporcionar um clima mais quente e seco com redução na formação de orvalho (XU; et al., 2015), o que levaria ao aumento da vulnerabilidade dessas regiões à desertificação (SANTOS et al., 2014). Assim como a quantidade de orvalho, a duração também sofre variações, dependendo do clima da região (Tabela 3).

Tabela 3 - Duração média do orvalho (h) em diferentes regiões

Local	Clima	Duração média (h)	Referência
Rambla Honda Espanha	Semiárido	6,50	Moro <i>et al.</i> (2007)
Badain Jaran, China	Árido	7,60	Zhuang <i>et al.</i> (2017)
Taklimakan, China	Hiper-árido	2,00	Hao <i>et al.</i> (2012)
Hunshandak Sandland, Mongólia (Olmo)	Semiárido	4,04	Wang <i>et al.</i> (2017)
Hunshandak Sandland, Mongólia (Pastagem)	Semiárido	5,69	Wang <i>et al.</i> (2017)
Brasil (<i>Combretum leprosum</i>)	Semiárido	6,00	Pina <i>et al.</i> (2016)

Fonte: Elaborado pelo autor

Uma das grandes limitações na avaliação do papel ecológico da perda de orvalho é a dificuldade de mensuração, especialmente para avaliar a variabilidade de longo prazo da perda de orvalho. Embora a queda de orvalho tenha atraído grande interesse e vários dispositivos de medição tenham sido desenvolvidos, um padrão, método internacionalmente aceito ou um instrumento para medição de orvalho ainda não foi estabelecido (ZHUANG; ZHAO, 2017).

Existem basicamente dois grupos de sensores utilizados para a medida da duração do orvalho, são: os mecânicos, que medem mudanças de peso, tamanho ou comprimento do elemento sensor com a umidade, e os eletrônicos, que detectam mudanças na resistência ou capacitância do elemento sensor em função da presença de água, porém, com o estabelecimento dos sistemas eletrônicos de aquisição de dados, os sensores eletrônicos passaram a ser os mais empregados (MORO et al., 2007).

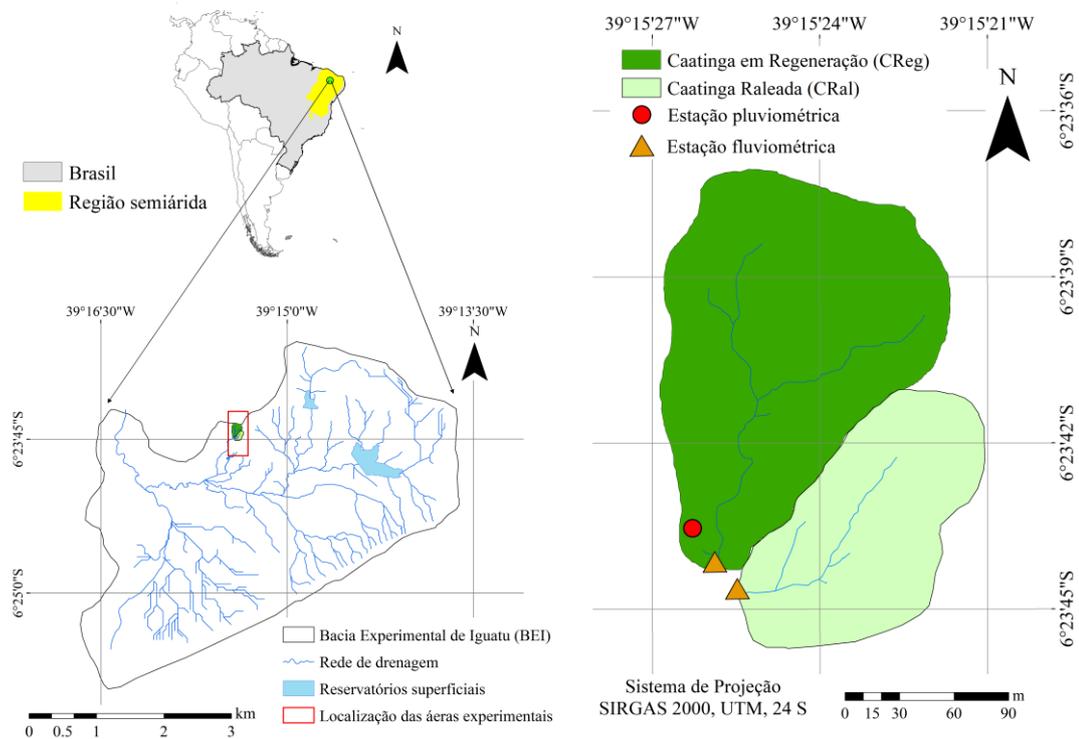
3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Variabilidade espaço-temporal da umidade do solo em diferentes domínios topográficos e manejo da vegetação no semiárido

3.1.1 Área de estudo

As duas toposequências estudadas estão inseridas no domínio fitogeográfico da caatinga - DFG, no município de Iguatu, na região Centro Sul do Ceará, entre as coordenadas geográficas 6°23'42'' a 6°23'47'' S e 39°15'24'' a 39°15'29'' W (Figura 2). O clima da região é do tipo BSw'h', sendo classificado como semiárido quente, tanto pela classificação climática de Köppen, quanto pelo Índice de Aridez de 0,44, elaborado por Thornthwaite (1948). A precipitação média histórica no município de Iguatu para a série histórica de 1912 a 2017 é de 880 mm. Os eventos apresentam uma distribuição unimodal com uma concentração de 84% dos eventos nos meses de janeiro a maio e 30% em um único mês, março. A evaporação potencial média é de aproximadamente 1988 mm ano⁻¹ (FUNCEME, 2019). O solo foi classificado como VERTISSOLO EBÂNICO Carbonático típico de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SANTOS et al., 2018).

Figura 2 - Localização da área de estudo nas microbacias experimentais no município de Iguatu, Ceará.

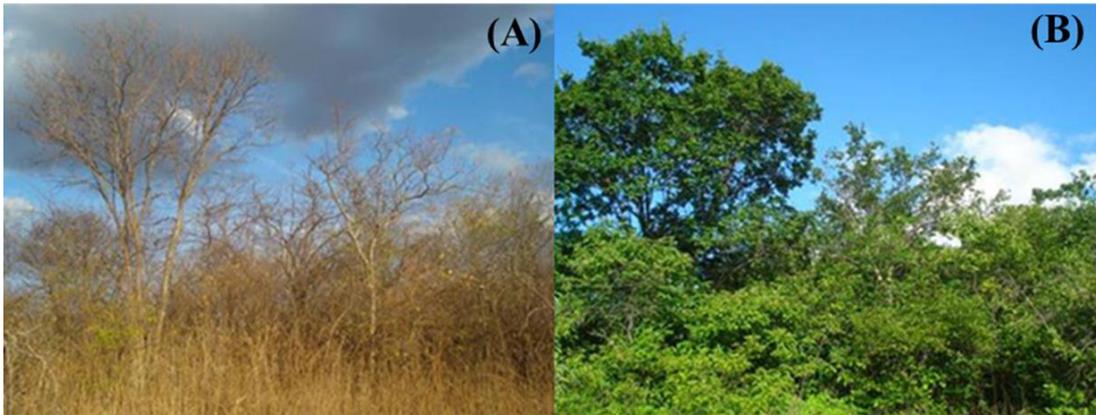


Fonte: Banco de dados do Grupo de Pesquisa em Manejo de Água e Solo no Semiárido (MASSA)

As microbacias são formadas por cursos d'água de 1ª e 2ª ordem, classificados segundo Stalher, sendo desta forma, áreas de nascentes. Apresentam escoamento efêmero, ou seja, o fluxo de água no canal principal se faz presente durante e depois do evento pluviométrico, em um período médio de tempo não superior a 24 horas após o encerramento da chuva.

As duas microbacias foram mantidas com as seguintes coberturas vegetais: CReg – Caatinga em regeneração desde 1978. A mesma expressa a caatinga arbórea arbustiva fechada, caducifólia, com predominâncias das espécies *Croton sonderianus*, *Mimosa caesalpinifolia*, *Aspidosperma pyrifolium* (PEREIRA JÚNIOR et al., 2016) (Figura 3). A segunda bacia foi submetida ao raleamento em 2008, CRal. A técnica de raleamento foi aplicada com o propósito de verificar a influência desta prática na geração de escoamento superficial, erosão hídrica e produção de sedimentos. Adotou-se esse método por ser uma prática adequada e, de acordo com Araújo Filho. (2013), praticada pelos pequenos agricultores do semiárido brasileiro. Com relação ao histórico de ocupação, antes de 1980 a área desta microbacia experimental era utilizada para o cultivo de espécies de subsistência, especificamente milho (*Zea mays* L.) (AQUINO, 2015).

Figura 3 - Caatinga em regeneração desde 1978 (CReg). (A) aspecto da cobertura vegetal durante a estação seca, quando as plantas perdem totalmente as folhas. (B) aspecto da cobertura vegetal durante a estação chuvosa, quando ocorre o rebrotamento das folhas.



Fonte: Banco de dados do Grupo de Pesquisa em Manejo de Água e Solo no Semiárido (MASSA)

A técnica de raleamento consistiu em eliminar os indivíduos com diâmetro inferior a 10 cm. A retirada desses indivíduos promoveu uma redução da cobertura de copa em 40%. Os ramos e galhos com diâmetros menores que dois 2 cm foram picotados e distribuídos sobre o solo como cobertura morta (Figura 4A) servindo como fonte adicional de matéria orgânica e redução do impacto da gota da chuva sobre o solo. O tratamento foi aplicado no início de novembro de 2008 e as manutenções foram realizadas nos meses de dezembro de 2010 e em dezembro de 2012. A abertura do estrato arbóreo pela técnica do raleamento, permitiu uma maior entrada de luz solar e um maior desenvolvimento do estrato herbáceo (Figura 4B).

Figura 4 - Caatinga submetida ao raleamento (CRal) – (A) aspecto da cobertura vegetal logo após a aplicação da técnica de raleamento. (B) aspecto da cobertura vegetal após o início da estação chuvosa e o surgimento do estrato herbáceo.



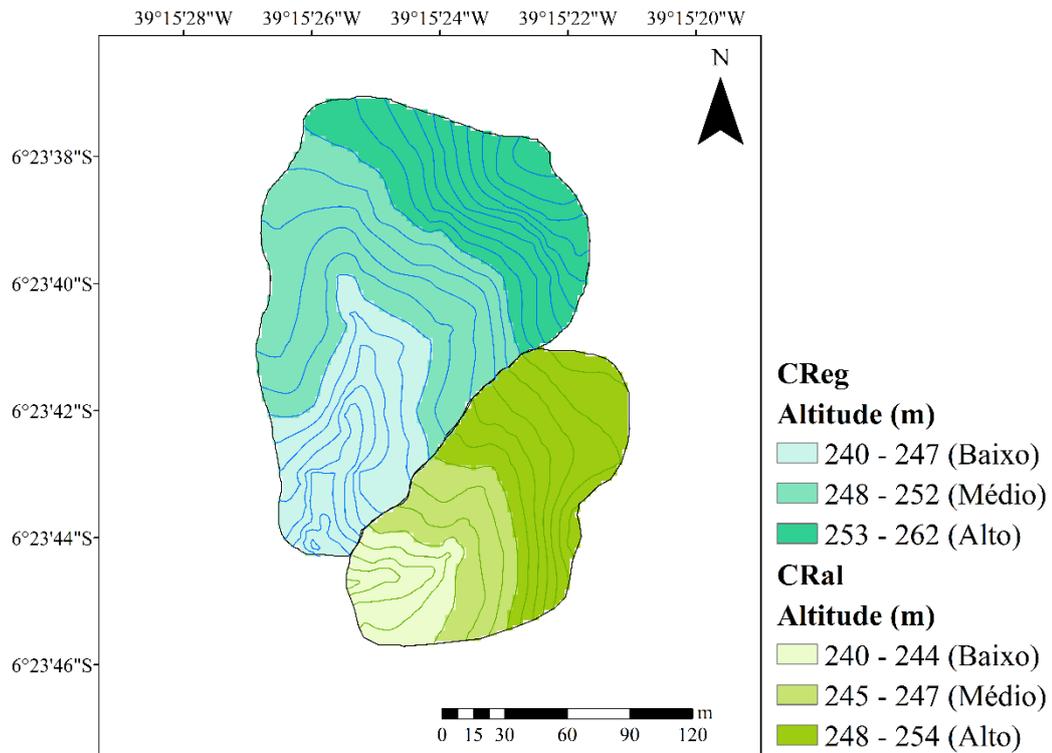
Fonte: Banco de dados do Grupo de Pesquisa em Manejo de Água e Solo no Semiárido (MASSA)

Os dados pluviométricos foram obtidos utilizando uma estação pluviométrica, instalada na área estudada, abrangendo ambas as microbacias, que está localizada junto à confluência dos cursos de água, já que as microbacias são adjacentes e fazem parte da mesma rede de drenagem.

3.1.2 Umidade do solo

Para determinar os pontos de coleta de umidade do solo, representativos da toposequencia das duas áreas, com base no mapa topográfico, se definiu as áreas correspondentes a terço superior, médio e baixo das duas microbacias. Com o auxílio do software ArcGis obteve-se a curva hipsométrica de cada microbacias, deste modo, a partir da curva, definiu-se os trechos de cada área (Figura 5). Logo, foram obtidas as respectivas cotas correspondentes a cada trecho. As cotas dos trechos variaram entre 240-247, 248-252 e 253-262 m, de forma respectiva, para os trechos baixo, médio e alto na CReg; e 240-244, 245-247 e 247-254 m, para os trechos baixo, médio e alto na CRal. A divisão dos trechos também possibilitou a definição de zonas com diferentes declividades, fator este importante no controle do escoamento superficial.

Figura 5 - Divisão dos trechos, baixo, médio e alto para as microbacias CReg (A) E CRal (B)



Fonte: Banco de dados do Grupo de Pesquisa em Manejo de Água e Solo no Semiárido (MASSA)

Para determinação da umidade do solo empregou-se o método padrão ou gravimétrico. Uma vez que o foco do trabalho era conhecer a umidade com maior dinâmica espaço temporal, amostrou-se somente a camada superficial (0-10 cm) onde ocorre uma maior interação com a atmosfera. As amostras eram coletadas com intervalos de 24 horas e em cada trecho da toposequência se efetuou três amostra aleatórias, totalizando 09 amostras diárias por toposequência. A média das três amostras de cada trecho representava a umidade média do solo. Já a média diária da umidade do solo em cada bacia é representada pela média dos nove pontos. O período de estudo foi de 23 de janeiro de 2019 a 17 de julho de 2019, totalizando 180 dias de coleta.

Após serem coletadas, as amostras de solo foram acondicionadas em latas de alumínio, devidamente vedadas, para evitar a perda de umidade. O volume amostrado foi correspondente ao volume da lata. As amostras foram encaminhadas ao Laboratório de Água, Solos e Tecido Vegetal do IFCE – Campus Iguatu, secas em estufa a 105°C durante 24 horas, para a obtenção do valor da umidade. Após a secagem em laboratório, a umidade foi obtida

através do procedimento descrito pelo Handbook Of Soil Analysis (PANSU; GAUTHEYROU, 2007), onde a umidade gravimétrica do solo é determinada através da equação 1.

$$h = \frac{M1-M2}{M2-M3} * 100 \quad (1)$$

Em que: h – umidade do solo, expresso em porcentagem (%)

M1 – massa do solo úmido mais a massa do recipiente, expresso em gramas (g)

M2 – massa do solo seco mais a massa do recipiente, expresso em gramas (g)

M3 – massa do recipiente, expresso em gramas (g)

3.1.3 Análise Estatística

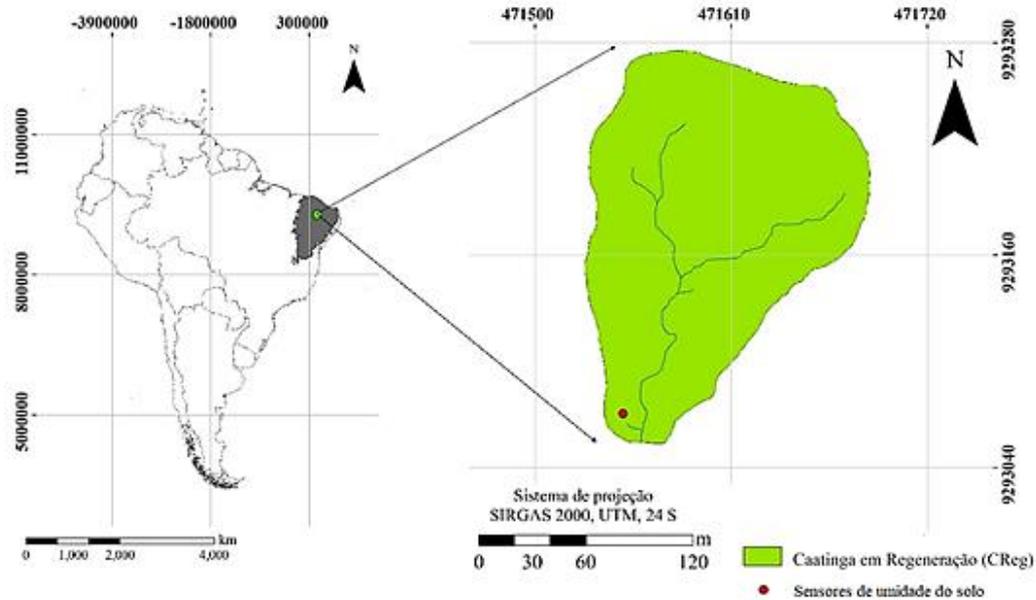
A primeira etapa foi verificar se os dados apresentavam distribuição normal ou não, pelo teste de Anderson-Darling ($p \leq 0,05$). Constatada a não normalidade da distribuição dos dados, empregou-se o teste de Kruskal-Wallis para verificar as diferenças entre os valores médios de umidade entre trechos e entre microbacias. Também para identificar o efeito da precipitação antecedente sobre a umidade do solo realizou-se a Correlação de Pearson (r), umidade do solo, precipitação do dia e as precipitações antecedentes de 1 a 5 dias (PANT1 a PANT5). Os dados foram processados a partir do software MINITAB versão 18, onde realizou-se as análises estatísticas.

3.2 Contribuição do orvalho na umidade superficial do solo em floresta tropical seca – caatinga

3.2.1 Área de estudo

O estudo foi realizado em um fragmento de Floresta tropical sazonalmente seca - Caatinga localizado no município de Iguatu, Ceará, entre as coordenadas geográficas 6°23'42'' a 6°23'47'' S e 39°15'24'' a 39°15'29'' W (Figura 11). De acordo com a classificação de Köppen, o clima da região é do tipo BSw'h', semiárido quente, com chuvas de outono e temperaturas médias mensais do mês mais frio superior a 18°C. O Índice de Aridez proposto por Thornthwaite (1948) é de 0,44. A precipitação média anual da área para a série histórica de 1912 a 2017 é de 880 mm. A evaporação potencial média é de aproximadamente 1988 mm ano⁻¹ (FUNCEME, 2019).

Figura 6 - Localização do fragmento da floresta tropical sazonalmente seca, Caatinga, município de Iguatu, Ceará



Fonte: Banco de dados do Grupo de Pesquisa em Manejo de Água e Solo no Semiárido (MASSA)

O solo da área é classificado como um VERTISSOLO EBÂNICO Carbonático típico de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SANTOS et al., 2018). A tabela 7 apresenta as características físico/químicas do solo.

Tabela 4 - Análise dos atributos físico-químicos do solo da microbacia

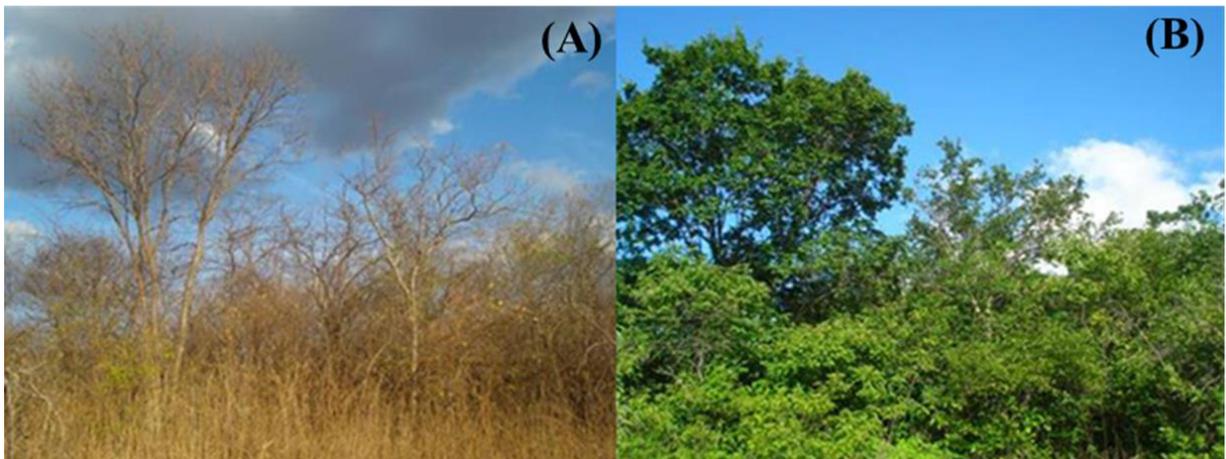
Parâmetros Físico/Químicos do Solo			
Atributos	Profundidade (10 cm)	Atributos	Profundidade (10 cm)
Argila (%)	34	H+Al (cmol _c kg ⁻¹)	0,83
Areia (%)	24	C (g kg ⁻¹)	17,76
Silte (%)	42	P (mg kg ⁻¹)	180
Ca (cmol _c /kg)	38,8	CE (ds m ⁻¹)	0,59
Mg (cmol _c /kg)	4,5	M.O (g kg ⁻¹)	30,62
Na (cmol _c /kg)	0,17	Ph (H ₂ O)	7,3
K (cmol _c /kg)	1,34	Textura	Franco - Argiloso

Fonte: Elaborado pelo autor

A microbacia em que o estudo foi desenvolvido tem as seguintes características de cobertura vegetal: CReg – Caatinga em regeneração desde 1978. A mesma expressa a caatinga arbórea arbustiva fechada, caducifólia, com predominâncias das espécies *Croton sonderianus*,

Mimosa caesalpinhiifolia, *Aspidosperma pyrifolium* (PEREIRA JÚNIOR et al., 2016) (Figura 12). Devido a estas características, o solo permanece totalmente coberto durante a estação chuvosa, limitando o desenvolvimento do estrato herbáceo.

Figura 7 - Caatinga em regeneração desde 1978 (CReg). (A) aspecto da cobertura vegetal durante a estação seca, quando as plantas perdem totalmente as folhas. (B) aspecto da cobertura vegetal durante a estação chuvosa, quando ocorre o rebrotamento das folhas.



Fonte: Banco de dados do Grupo de Pesquisa em Manejo de Água e Solo no Semiárido (MASSA)

3.2.2 Umidade do solo

O monitoramento da umidade do solo foi realizado de forma contínua, utilizando quatro sensores da METER Group, dos modelos EC-5 e 10HS, que foram inseridos verticalmente no solo nas profundidades de 5 e 10 cm, respectivamente. Os sensores realizaram leituras de umidade no intervalo de 1 minuto e os dados foram armazenados em um datalogger (modelo Em5b, Decagon) (Figura 13). Os equipamentos foram instalados próximos a estação meteorológica existente na área. De posse dos dados de umidade, no intervalo de 1 minuto, pôde-se medir a água adicionada pelo orvalho nas profundidades de 5 cm e 10 cm.

Figura 8 - Datalogger (A) e sensores de umidade (B) instalados em campo



Fonte: Elaborado pelo autor

Instalou-se também, próximo aos sensores de umidade, na profundidade de 10 cm, um sensor de temperatura do solo (modelo RT-1, Decagon), com leituras também no intervalo de 1 minuto. Assim, realizou-se o acompanhamento da variação da temperatura e da umidade, de forma simultânea. Embora se tenha dados de umidade do solo desde o mês de janeiro, para investigar a quantidade de água adicionada pelo orvalho, trabalhou-se apenas os dados dos meses de junho, julho e agosto, pois foram meses sem ocorrências de chuvas, desta forma se garantiu que a entrada de água não foi proveniente da precipitação. Durante o pré-processamento, os dados que sofreram de imprecisões causadas por falha do instrumento foram excluídos.

Para evitar erros devido as altas temperaturas, os sensores foram calibrados mediante a equação de calibração, obtida com a análise de regressão múltipla, utilizando os dados de umidade gravimétrica, umidade dos sensores e temperatura do solo (Equação 1).

$$U = 12.7 + 0.756 * U_{sen} - 0.49 * T$$

Onde: U – umidade gravimétrica; U_{sen} – umidade do sensor; T – Temperatura do solo (1)

Inicialmente foram instalados 4 sensores de umidade, porém, no final do período chuvoso, no mês de junho, os sensores apresentaram incoerências nas leituras de umidade do solo, passando a registrar maiores valores de umidade no período mais quente do dia. Estes erros foram decorrentes das altas temperaturas no período, uma vez que em determinados solos um aumento na temperatura causa um aumento no teor de umidade medido pelo sensor, devido

às características elétricas do solo que pode ser bastante sensível a mudanças de temperatura (COBOS; CAMPBELL; DEVICES, 2007). Em razão de inconsistências nos dados de umidade de dois sensores, estes foram descartados, assim, dos quatro sensores instalados, utilizou-se os dados de apenas dois.

3.2.3 Análise Estatística

A primeira etapa foi verificar se os dados apresentavam distribuição normal ou não, pelo teste de Anderson-Darling ($p \leq 0,05$). Constatado a não normalidade da distribuição dos dados, empregou-se o teste de Kruskal-Wallis, para verificar as diferenças de médias nos valores de umidade diários e noturnos. Para uma análises descritiva aplicou-se o “box-plot”.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Variabilidade espaço-temporal da umidade do solo em diferentes domínios topográficos e manejo da vegetação no semiárido

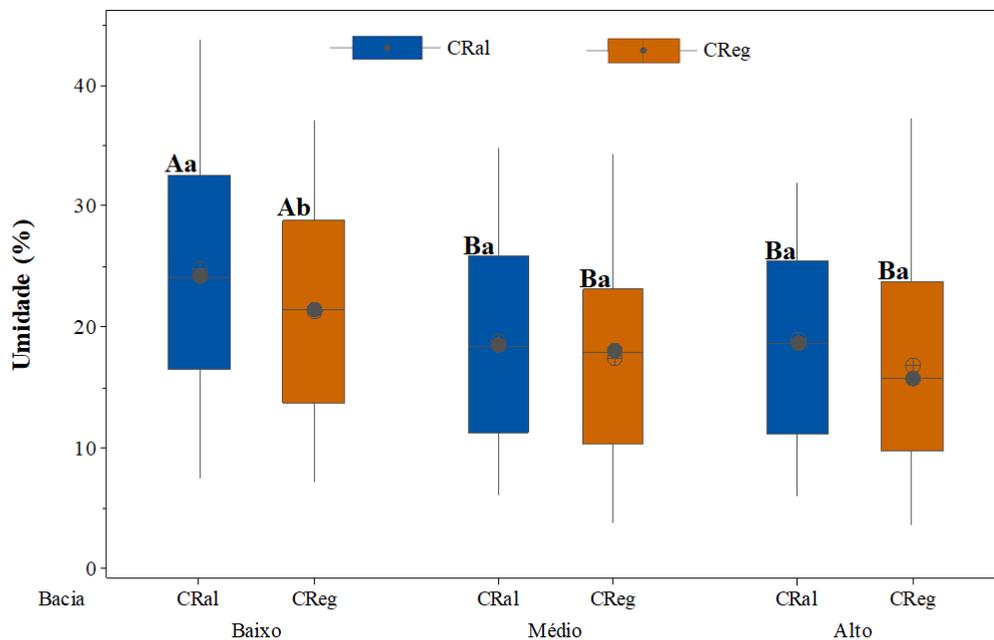
O trecho baixo registrou os maiores valores de umidade do solo em ambas as bacias, seguido pelo trecho médio e trecho alto (Figura 6), porém apenas o trecho baixo diferiu estatisticamente em ambas as bacias. Embora a umidade do solo da microbacia CRal tenha sido superior ao longo de toda toposequência (Figura 6), somente o trecho baixo desta microbacia apresentou diferença significativa ($p < 0,05$), tanto em relação aos outros seguimentos como entre microbacias. Uma vez que as características de textura do solo são semelhantes em ambas as áreas, os maiores valores de umidade do solo quantificados na CRal podem ser decorrentes de:

Denso estrato herbáceo que impõem uma maior rugosidade à superfície do solo, reduzindo a velocidade do fluxo de água e ampliando o tempo de oportunidade para a infiltração da água no solo. O aumento da umidade do solo pela vegetação rasteira também foi observado por outros autores (STERLING *et al.*, 2013; WANG *et al.*, 2018; ANDRADE *et al.*, 2019). Uma outra forma que o extrato herbáceo pode contribuir para o aumento da umidade do solo é que as raízes finas do sistema radicular podem atuar como microcanais que favorecem a infiltração (PINHEIRO; COSTA; ARAÚJO, 2013 AQUINO *et al.*, 2017).

Declividade da toposequencia que influencia diretamente na distribuição da precipitação nas microbacias. A inferência da topografia na umidade do solo e na produção de biomassa foi

observada por Wei *et al.* (2019) em estudos desenvolvidos em ecossistema de pastagens de terras secas na Mongólia Interior, China. Esses autores, também identificaram diferença significativa somente na parte baixa da área estudada. A influência da topografia também foi verificada por Fry e Guber *et al.* (2020) estudando a estabilidade temporal de padrões de escala de campo no conteúdo de água do solo, em paisagens agrícolas topograficamente diversas, onde a topografia desempenhou um papel importante nos padrões de estabilidade temporal da umidade do solo na escala de um campo agrícola, sendo dominante entre outros fatores como propriedades do solo, condições climáticas e vegetação. Estes resultados apontam que a topografia pode afetar a redistribuição da precipitação, influenciando na variabilidade da umidade do solo.

Figura 9 – Umidade média do solo por trecho da toposequência e por cobertura vegetal. Letras maiúsculas idênticas entre os trechos de uma mesma microbacia não apresentam diferença estatística para $p < 0,05$. Letras minúsculas idênticas entre microbacias no mesmo trecho não apresentam diferença estatística para $p < 0,05$.



Fonte: Elaborado pelo autor

Uma vez que os dados em uma distribuição anual apresentaram valores medianos e médios similares (Figura 6) e sem a ocorrência de outliers, efetuamos uma análise por período, entre período úmido e de transição (Tabela 5). Os valores médios tanto para o período úmido como para o período de transição, apresentaram a mesma tendência que os valores gerais, ou

seja, a parte baixa apresenta os maiores valores e no terço médio e superior as umidades do solo são semelhantes. Em ambos períodos a CRal contém as maiores umidades do solo. No período de transição a umidade do solo em ambas as áreas apresentou uma maior variabilidade espaço-temporal expressa pelos elevados Coeficientes de Variação ($CV > 39\%$), sendo os maiores CV registrados na CReg. As menores umidades do solo expressam de forma mais efetiva a variabilidade do solo, contribuindo para maiores CV durante o período de transição (BROCCA et al., 2012; FANG et al., 2016; DARI et al., 2019).

Tabela 5 – Média, coeficiente de variação e desvio padrão da umidade do solo por trecho da toposequência nas duas microbacias

Trechos	Período úmido			Período de transição		
	Média (%)	Sd (%)	CV (%)	Média (%)	Sd (%)	CV (%)
Baixo CReg	26,11	6,62	25	13,84	6,15	44
Médio CReg	21,45	6,17	29	10,98	6,12	56
Alto CReg	21,87	7,44	34	8,79	4,79	55
Baixo CRal	30,39	7,05	23	16,34	6,41	39
Médio CRal	22,73	6,44	28	12,79	5,70	45
Alto CRal	22,53	6,20	27	13,22	6,24	47
Bacias	Média (%)	Sd (%)	CV (%)	Média (%)	Sd (%)	CV (%)
CReg	23,25	6,22	27	11,31	5,51	49
CRal	25,22	5,91	23	14,12	5,81	41

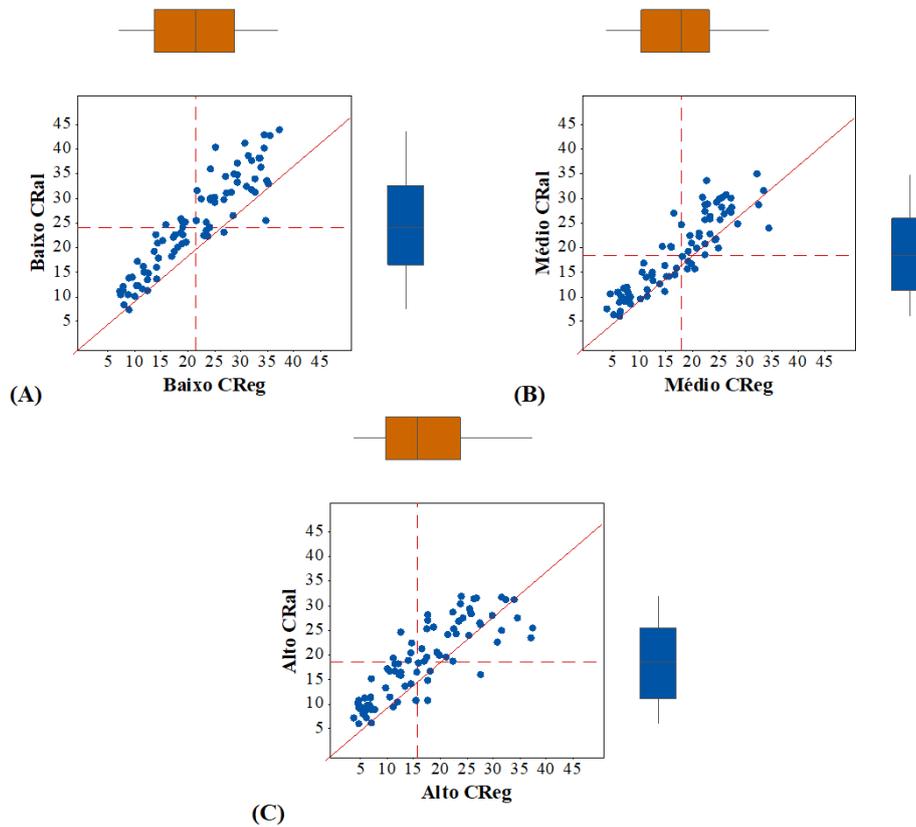
Fonte: Elaborado pelo autor

A influência da topografia na umidade do solo é evidenciada nas duas microbacias, uma vez que ambas apresentam aumento da umidade da parte alta para a parte baixa. Esse gradiente da umidade do solo é decorrente de uma maior declividade nas partes altas e uma menor nas partes baixas, ou seja do aspecto topográfico do perfil longitudinal da bacia hidrográfica (WEI et al., 2019) e da diferença de nível expressa pela energia gravitacional (ZHAO et al., 2014). Sabe-se que a parte alta de uma microbacia apresenta escoamento com maior velocidade do fluxo de água devido ao maior gradiente topográfico. Já a parte baixa de uma bacia é uma zona de deposição com redução do gradiente topográfico e menor velocidade do escoamento superficial, o que pode favorecer para uma maior umidade do solo.

Acredita-se que a maior umidade do solo registrada na microbacia CRal tanto na média geral das microbacias, quanto na média por trechos ao longo da toposequência seja resultado da maior densidade de vegetação rasteira como já discutido por Andrade et al., 2019. Sabe-se que vegetação rasteira contribui para redução do escoamento superficial (RODRIGUES et al., 2013), com consequente aumento da infiltração de água no solo.

Efetuando-se uma análise dos pares de dados de umidade do solo para as duas coberturas vegetais, ao longo dos trechos da toposequência (Figura 7), identifica-se uma distribuição dos pontos ao longo da reta 1:1. Esse padrão de distribuição mostra que ambas as áreas respondem de forma similar aos pulsos de precipitação que promovem o aumento da umidade do solo. Para o trecho da parte baixa (Figura 7A), a área com cobertura vegetal CRal apresentou valores de umidade do solo superiores aos registrados pela CReg em 86% das amostras. Esta percentagem vai diminuindo à medida que se desloca em direção às partes altas da bacia, passando a ser 68 e 72% nos trechos médio e alto, respectivamente.

Figura 10 – Dispersão da umidade nos trechos da toposequência



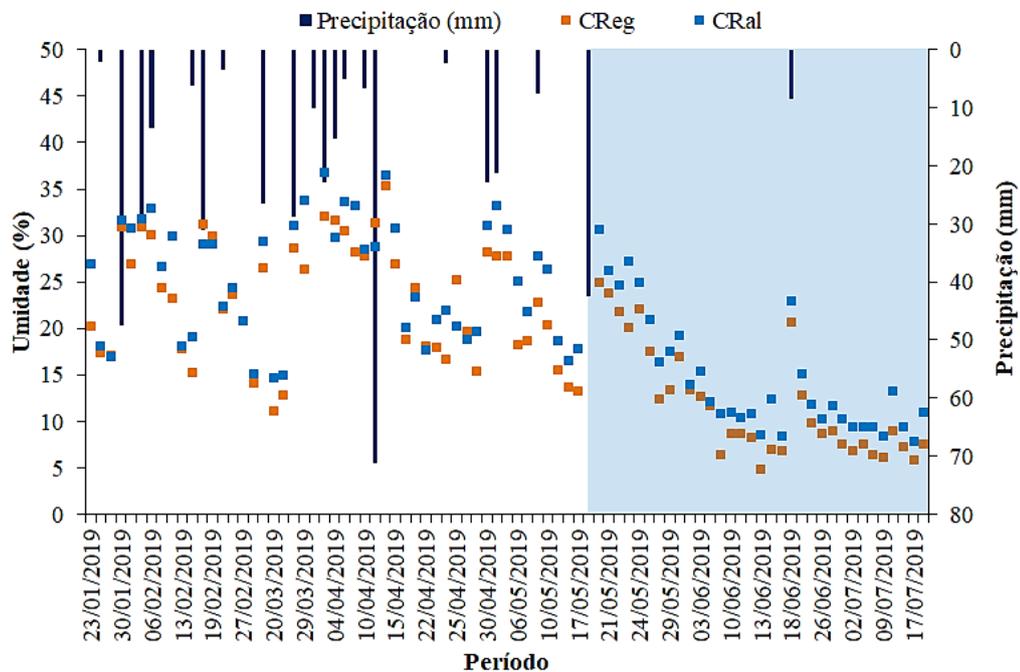
Fonte: Elaborado pelo autor

A redução da diferença da umidade do solo entre as duas microbacias pode ser explicada pelo o efeito da cobertura herbácea sobre a quebra de conectividade hidrológica. Explica-se: se o comprimento da rampa a ser percorrida pela água cresce e a cobertura vegetal herbácea mantém a conectividade, o efeito da vegetação rasteira sobre o escoamento superficial é mais efetivo, aumentando as abstrações iniciais e a capacidade de infiltração do solo (ANDRADE et al., 2019), o que resulta em uma maior umidade do solo. O incremento no

estrato herbáceo possibilita uma melhor estrutura edáfica pelo sistema radicular favorecendo a formação de caminhos preferenciais de infiltração de água no solo (PINHEIRO; COSTA; ARAÚJO, 2013; WILCOX et al., 2017).

Em relação a sazonalidade da umidade média do solo, a variabilidade temporal em ambas as coberturas vegetais respondeu às variações da precipitação (Figura 8). Ao longo dos 180 dias de acompanhamento da umidade média do solo, a CRal apresentou umidade superior à CReg, com exceção de 14% das determinações realizadas. A umidade média variou de 4,82 a 35,36% e de 7,88 a 36,75% para a CReg e CRal, respectivamente. O maior valor de umidade na CRal ocorreu no dia 03 e abril (36,75%), porém, não coincidiu com o maior evento de precipitação (71,25 mm). Já na CReg o maior valor de umidade (35,36%), dia 12 de abril, ocorreu um dia após o maior evento pluviométrico (71,25 mm). A alta variabilidade espaço-temporal existente em eventos hidrológicos diários dificulta estabelecer uma relação direta entre a umidade do solo e uma variável isolada, uma vez que se trata de processo multivariado (GAUR; MOHANTY, 2013; POLTORADNEV et al., 2016).

Figura 11 – Precipitação e médias diárias da umidade do solo na CReg e CRal



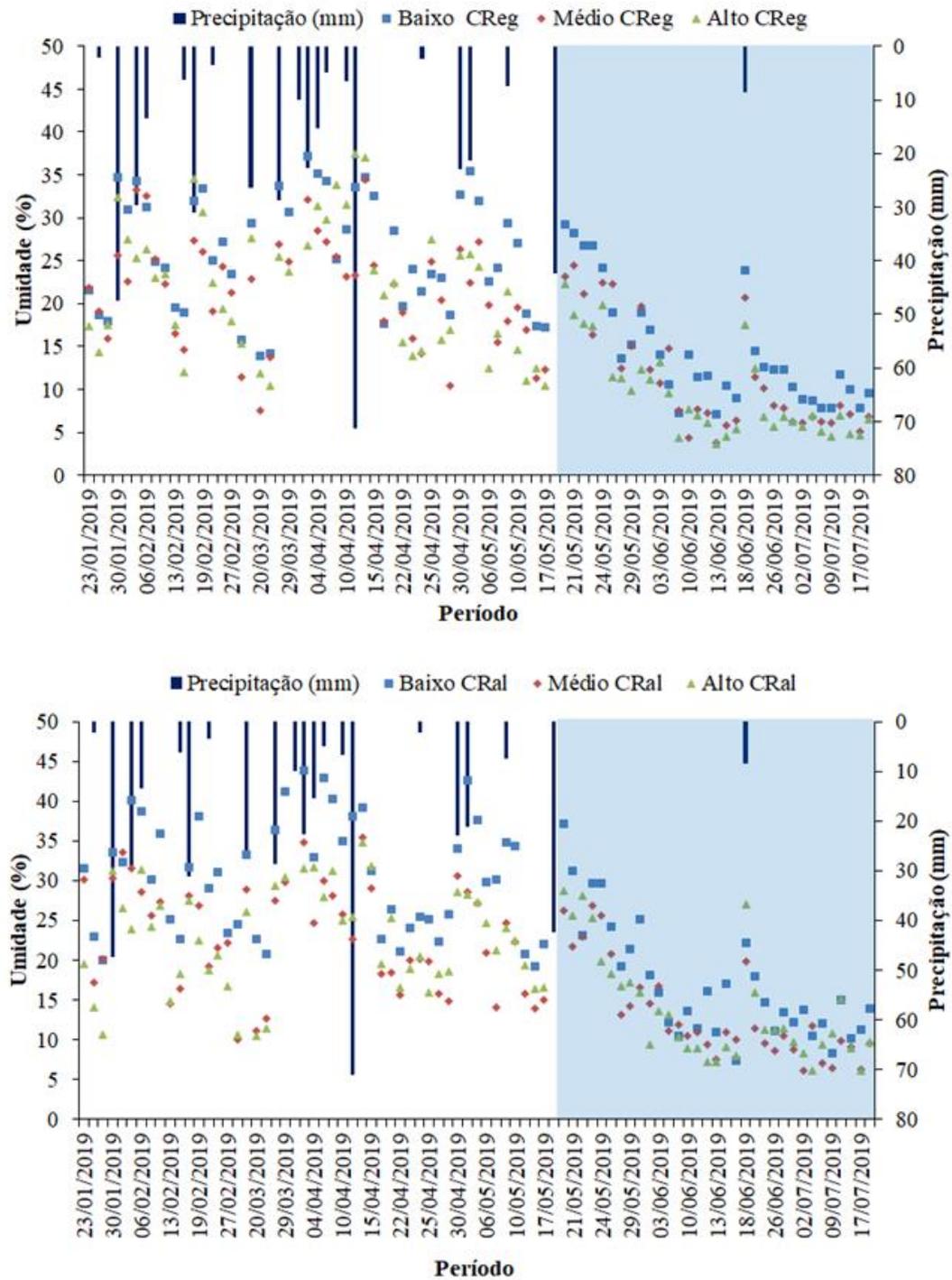
Fonte: Elaborado pelo autor - A parte em destaque no gráfico (azul claro) representa o início do período de transição, onde o solo iniciou o processo de perda da umidade

O período chuvoso se prolongou até o dia 20 de maio (Figura 8), quando se inicia um decréscimo acentuado dos valores de umidade. Este comportamento é esperado, uma vez que a precipitação é o principal fator que afeta a variabilidade e a disponibilidade da umidade do solo (ZHANG et al., 2019). A partir dia 10 de junho, a umidade do solo passa a apresentar valores constantes em torno de 8%, com exceção do dia 18 de junho quando ocorreu uma precipitação de 8,5 mm, que elevou a umidade do solo de 8,47 e 6,90% para 22,97 e 20,67% na CRal e CReg, respectivamente. Isto comprova que a umidade do solo responde a pulsos de precipitação inferior a 10 mm. Nas camadas superficiais do solo, a umidade geralmente é bastante variável e dependente das recargas da precipitação (YANG et al., 2014).

Essa resposta imediata da umidade do solo a pequenos pulsos é decorrente da região ser caracterizada por rios, riachos e córregos efêmeros, sendo a precipitação a única indutora da umidade do solo. Porém, pequenos eventos de chuva afetam apenas o armazenamento na camada superficial, pois a profundidade de infiltração de pequenas quantidades de chuva não passa de 20 cm de profundidade (HE et al., 2012).

A dependência da umidade em relação a precipitação também foi verificada nos trechos, sendo seu efeito mais marcante no trecho baixo da CRal (Figura 9). Por outro lado, na CReg, a diferença dos valores absolutos de umidade entre um trecho e outro é relativamente menor. Comprovando que a distribuição da precipitação é afetada tanto pelo manejo da cobertura vegetal, quanto pela topografia em cada microbacia e em cada trecho (FANG et al., 2016; WEI et al., 2019). Assim, pode-se obter diferenças significativas de umidade do solo em função da influência da topografia na redistribuição da precipitação, mesmo em áreas relativamente pequenas, com características geomorfológicas e edáficas semelhantes. Um outro processo determinante na variabilidade da umidade do solo mesmo em microbacias é a variabilidade espaço-temporal da precipitação (RAN et al., 2012). Isto ressalta a importância da obtenção de informações sobre a variabilidade espacial da precipitação, mesmo em pequenas escalas.

Figura 12 – Precipitação e variabilidade da umidade nos trechos da toposequência



Fonte: Elaborado pelo autor - As partes em destaque no gráfico (azul claro) representam o início do período de transição, onde o solo iniciou o processo de perda da umidade

A diferença de umidade nos trechos também é observada entre os valores máximos e mínimos. Na CRal o maior valor de umidade foi registrado no trecho baixo (43,81%), enquanto que o maior valor na CReg para o mesmo trecho foi de 37,13%, ficando 6,68% abaixo.

Os valores mínimos, para ambas as bacias, foram registrados no trecho alto, com valores de 3,64 e 6,04% para a CReg e CRal, respectivamente.

Embora a variação da umidade do solo ao longo da toposequência tenha apresentado maior dependência das maiores chuvas; a umidade apresentou maior correlação ($p < 0,001$) com a precipitação acumulada (Tabela 5). Destacou-se que no dia 8 de abril, foi registrada uma precipitação de 5 mm e uma umidade do solo de 43% no trecho baixo da CRal. Observando os dias que antecedem a 8 de abril (Figura 9) identificou-se a ocorrência de chuvas diárias totalizando 62 mm nos 5 dias antecedentes.

Tabela 6 – Correlação de Pearson entre a umidade nas bacias, nos trechos e a precipitação e precipitação antecedente

	PPT (mm)	PPT ANT 1	PPT ANT 2	PPT ANT 3	PPT ANT 4	PPT ANT 5
U CReg	0.508**	0.416**	0.54**	0.59**	0.602**	0.629**
U CRal	0.453**	0.283**	0.467**	0.53**	0.615**	0.66**
Baixo CReg	0.508**	0.38**	0.511**	0.585**	0.598**	0.614**
Médio CReg	0.412**	0.406**	0.516**	0.565**	0.594**	0.622**
Alto CReg	0.546**	0.421**	0.541**	0.563**	0.56**	0.594**
Baixo CRal	0.443**	0.279**	0.435**	0.521**	0.573**	0.629**
Médio CRal	0.425**	0.266**	0.469**	0.503**	0.592**	0.652**
Alto CRal	0.44**	0.272**	0.451**	0.509**	0.619**	0.63**

Fonte: Elaborado pelo autor

O grau de influência da precipitação acumulada sobre a umidade do solo, independentemente da posição na toposequência está expresso na Tabela 2. Tanto a umidade média da microbacia em ambas as coberturas vegetais como a umidade do solo por trecho apresentaram coeficientes de correlação significativos ($p < 0,001$) e crescentes com o número de dias de precipitação antecedente.

Observando os valores de correlação entre as variáveis, notou-se que ambas as bacias registraram aumentos no grau de correlação em relação às precipitações antecedentes. O valor de correlação entre a umidade da CReg e a precipitação foi de 0,508, passando a ser 0,629 quando relacionado com a precipitação antecedente. Este comportamento é ainda mais marcante na CRal, onde a correlação entre umidade e precipitação é de 0,453 e passa a ser 0,660 quando correlacionado com a precipitação antecedente.

Estes resultados tornam ainda mais evidente que na CRal o manejo da vegetação contribui na retenção da água no solo, mantendo o solo úmido por um maior intervalo de tempo. Como já discutido anteriormente, a cobertura rasteira favorece a maior umidade do solo, seja

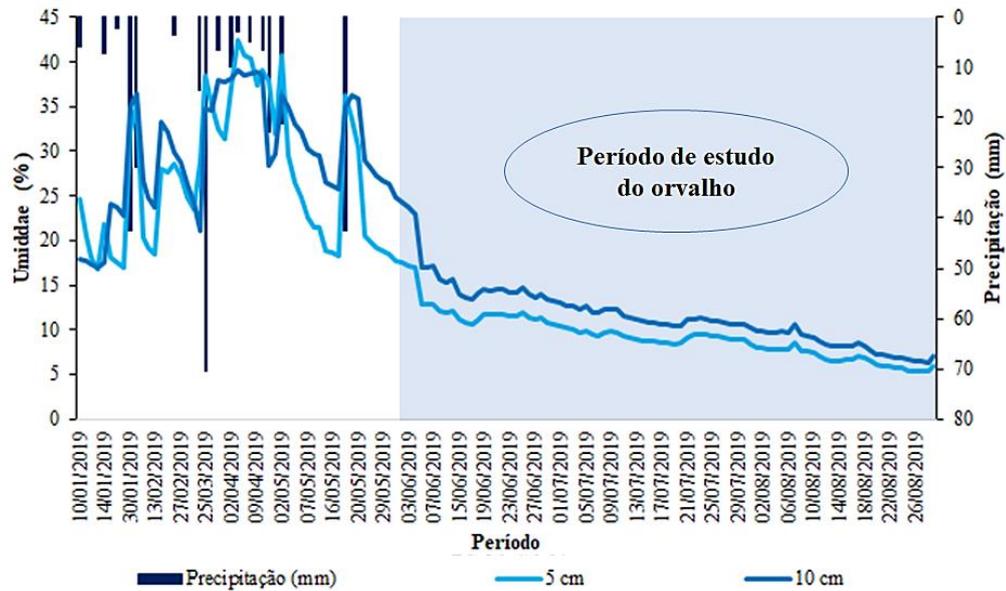
pelo aumento da rugosidade da superfície do solo (ANDRADE et al., 2019), seja pela formação de canais radiculares (PINHEIRO; COSTA; ARAÚJO, 2013; WILCOX et al., 2017), seja pela redução do escoamento superficial e aumento da infiltração (MONTENEGRO et al., 2013; LIU et al., 2014).

O aumento do grau de correlação entre a umidade e a precipitação antecedente, principalmente em cinco dias, indica que a taxa de decaimento da umidade do solo é baixa, pois mesmo após o período de cinco dias o teor de umidade ainda apresenta correlação moderada ascendente. Essa baixa taxa de decaimento da umidade é justificada pelas características do solo da área, que por ser um solo Vértico, apresenta altos teores de argila o que proporciona o aumento da retenção de água (EMBRAPA, 2018).

4.2 Contribuição do orvalho na umidade superficial do solo em floresta tropical seca – caatinga

Analisando a distribuição temporal da umidade do solo, os maiores valores foram registrados nos primeiros cinco meses do ano, em ambas as profundidades de 5 e 10 cm (Figura 14). Este comportamento é esperado, pois a chuva é a principal fonte de entrada de água do sistema na área em estudo (semiárido tropical) (ANDRADE et al., 2017). Mesmo em regiões secas temperadas, o principal fator que afeta a variabilidade e a disponibilidade da umidade do solo são as precipitações (ZHANG et al., 2019). A umidade na profundidade de 10 cm foi superior em 89% do tempo, principalmente nos períodos sem chuva. Os menores valores de umidade na profundidade de 5 cm são decorrentes da maior interação da camada mais superficial com a atmosfera, estando sujeita aos processos de evaporação (YANG et al., 2014).

Figura 13 - Valores médios diários de umidade nos sensores de 5 e 10 cm



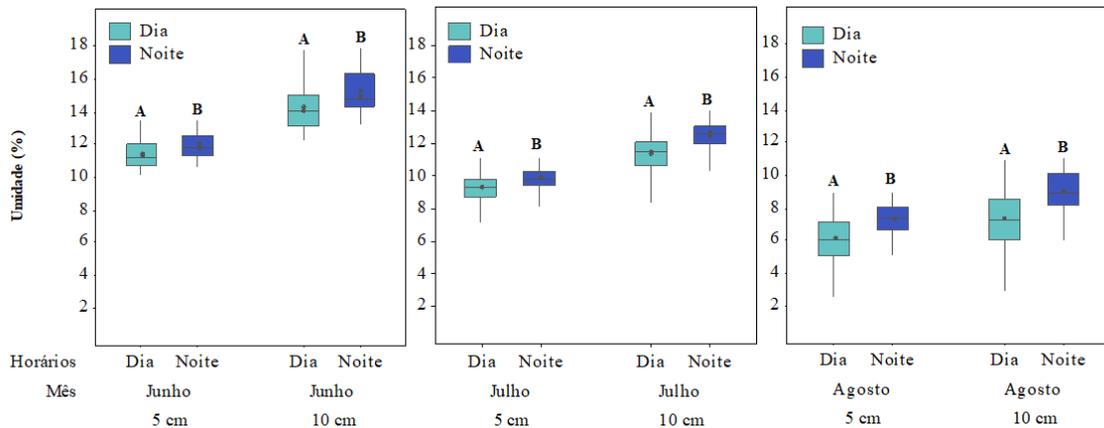
Fonte: Elaborado pelo autor

Para verificar a sensibilidade dos sensores, ao ponto de detectar um possível aumento na umidade, proveniente da entrada de água por meio do orvalho, foram gerados gráficos em períodos sem precipitação, como forma de garantir que a entrada de água não ocorreu por meio da chuva. Pois, mesmo uma pequena quantidade de chuva pode afetar a dinâmica da umidade do solo por um longo tempo, podendo mascarar o efeito do orvalho na dinâmica da umidade do solo (LI et al., 2018). Deste modo, foram utilizados os dados dos meses de junho a agosto, pois sabe-se que o orvalho pode persistir até três meses após o período chuvoso (PINA et al., 2016), podendo persistir durante todo o ano (HANISCH; LOHREY; BUERKERT, 2015), dependendo das características da região.

No período de estudo o solo apresentou maiores umidades médias durante o período da noite (Figura 15); quando a temperatura diminui, a umidade relativa do ar aumenta e pode ocorrer a condensação na forma de orvalho. A adição média de água variou de 0,55 a 1,26% e de 0,97 a 1,75% para as profundidades de 5 e 10 cm, no período de junho a agosto, respectivamente. Considerando que não ocorreu entrada direta de água líquida no solo visto que a precipitação pluviométrica do período foi igual a zero, os resultados aqui apresentados dão suporte à hipótese de que o orvalho pode contribuir positivamente com a umidade do solo. Pesquisadores como Wang *et al.* (2017) e Holanda *et al.* (2019) já haviam identificado o efeito do orvalho sobre as trocas gasosas em espécies como: *Agropyron cristatum*, *Leymus chinensis*,

Cleistogenes squarrosa, *Mimosa caesalpinifolia*, *Combretum leprosum*, *Libidibia ferrea* e *Cynophalla flexuosa*.

Figura 14 - Umidade do solo nos períodos diurno e noturno e teste de médias (Kruskal-Wallis) ao nível de 5%



Fonte: Elaborado pelo autor

Os dados de umidade do solo nos períodos diurno e noturno, diferiram estatisticamente ($p < 0.05$) em todos os meses e em ambas as profundidades de 5 e 10 cm. As maiores médias de umidade, em ambas as profundidades e em ambos os períodos, foram registradas no mês de junho e diminuíram na medida que os dias mais secos se prolongavam. Porém, mesmo com a diminuição das médias da umidade do solo, o período noturno continuou recebendo acréscimos de água por meio do orvalho, registrando aumentos na umidade durante a noite em ambas as profundidades.

A ocorrência da condensação do vapor d'água na forma de orvalho é importante para a vegetação de regiões secas, pois o orvalho sobre as folhas podem reduzir a transpiração da vegetação (HOLANDA *et al.*, 2019). Orvalho ainda pode ser absorvido por plantas que atuam como captadoras de água, contribuindo para o funcionamento fisiológico de plantas durante secas sazonais (PINA *et al.*, 2016; XIAOHUA *et al.*, 2016). O aumento da umidade nos primeiros 10 cm do solo pode ser uma fonte de água para plantas com raízes de absorção predominantes na camada superficial; diminuindo assim, o efeito do estresse hídrico prolongado nas regiões secas.

Como esperado, os maiores valores médios da umidade do solo foram registrados na profundidade de 10 cm, seja no período diurno ou noturno (Tabela 8). No mês de junho foram registradas as maiores médias de umidade diurnas e noturnas, em ambas as profundidades

(Figura 15, Tabela 8), seguido pelos meses de julho e agosto. A maior quantidade de dias secos consecutivos (DSC) resultou em uma redução da umidade do solo (Tabela 8), quando observou-se uma maior significância do orvalho na água do solo. No mês de agosto, quando foram registradas as menores umidades do solo, o aumento médio mensal da mesma durante a noite foi de 1,26 e 1,75% para as profundidades de 5 e 10 cm respectivamente. Já para o mês de junho, quando a umidade do solo era superior a 10%, o aumento médio da umidade do solo durante a noite foi de 0,55% e 0,97% nas profundidades de 5 e 10 cm, respectivamente.

Tabela 7 - Valores medios da umidade do solo oriundos das 44.735 leituras realizadas no periodo de estudo (junho a agosto de 2019)

Meses	Prof (cm)	M \pm SD (%)		Mín (%)		Máx (%)		Amplitude (%)		CV (%)		T Média (°C)	
		Dia	Noite	Dia	Noite	Dia	Noite	Dia	Noite	Dia	Noite	Dia	Noite
Jun	5	11.31 \pm 0.82	11.86 \pm 0.71	10.10	10.50	13.41	13.39	3.31	2.89	7.2	6.0	26.6	25.3
	10	14.24 \pm 1.39	15.21 \pm 1.27	12.18	13.19	17.80	17.87	5.62	4.68	9.8	8.3		
Jul	5	9.25 \pm 0.80	9.84 \pm 0.63	5.91	7.98	11.12	11.12	5.21	3.14	8.7	6.4	27.5	26
	10	11.35 \pm 1.13	12.45 \pm 0.82	8.37	9.85	13.95	13.98	5.58	4.13	9.9	6.6		
Agos	5	6.00 \pm .28	7.26 \pm 0.87	2.45	4.98	8.84	8.85	6.39	3.87	21.4	12.0	30.5	27.2
	10	7.22 \pm 1.66	8.97 \pm 1.14	2.87	6.01	10.93	11.00	8.06	4.99	23.0	12.8		

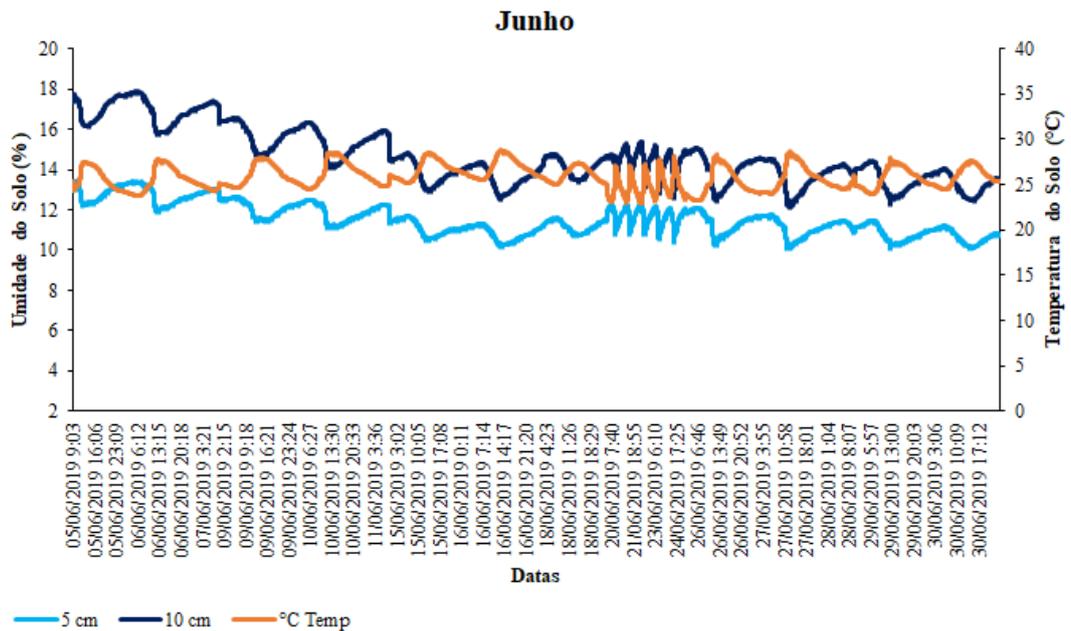
Fonte: Elaborado pelo autor

Nos meses de junho e julho os coeficientes de variação registraram valores baixos (CV < 10%), confirmando que neste período a umidade teve uma menor dispersão, o que é esperado, pois a variabilidade da umidade é inversamente proporcional ao teor de água no solo (FANG *et al.*, 2016; DARI *et al.*, 2019). Este fato é confirmado quando observamos os valores de CV no mês de agosto (mês mais seco), onde o CV é superior ao dobro dos meses de junho e julho (meses mais úmidos). O período noturno apresentou menores CV nas duas profundidades ao longo do período estudado.

Acredita-se que os maiores CVs durante o dia podem ser explicados pelas maiores temperaturas registradas durante o dia, a qual favorece ao processo de advecção e consequentes perdas de umidade. Já na parte da noite com a redução da temperatura, a formação de orvalho favorece a adição de água ao solo e promove uma redução da dispersão nos valores da umidade do solo. A relação entre temperatura e umidade do solo foi verificada por Feng *et al.* (2015), onde estas variáveis registraram correlação negativa. Além disso, a cada aumento da precipitação a umidade média do solo aumentou 0,04% e diminuiu 0,12% a cada aumento da temperatura.

No mês de junho (Figura 16), a variação diurna/noturna da umidade do solo foi de 0,55 e 0,97%, representando 0,28 e 0,49 mm dia⁻¹, para as profundidades de 5 e 10 cm, respectivamente. Esta contribuição média diária de água ao solo pelo orvalho, de 0,28 e 0,49 mm dia⁻¹, gerou um incremento acumulado de 8,4 e 14,7 mm por mês, respectivamente, para as profundidades de 5 e 10 cm. Esses resultados foram semelhantes aos encontrados por Aguirre-Gutiérrez *et al.* (2019) em regiões secas temperadas. Acredita-se que estes picos de umidade durante o período noturno sejam decorrentes da formação de orvalho. Pois se sabe que a condensação do vapor d'água do ar no período noturno ocorre pela redução da temperatura do ar e da superfície de contato, aumentando a umidade relativa do ar pelo seu próprio resfriamento (PINA *et al.*, 2016; WANG *et al.*, 2017).

Figura 15 - Variabilidade temporal diária da umidade do solo no mês de junho medida no intervalo de 1 minuto



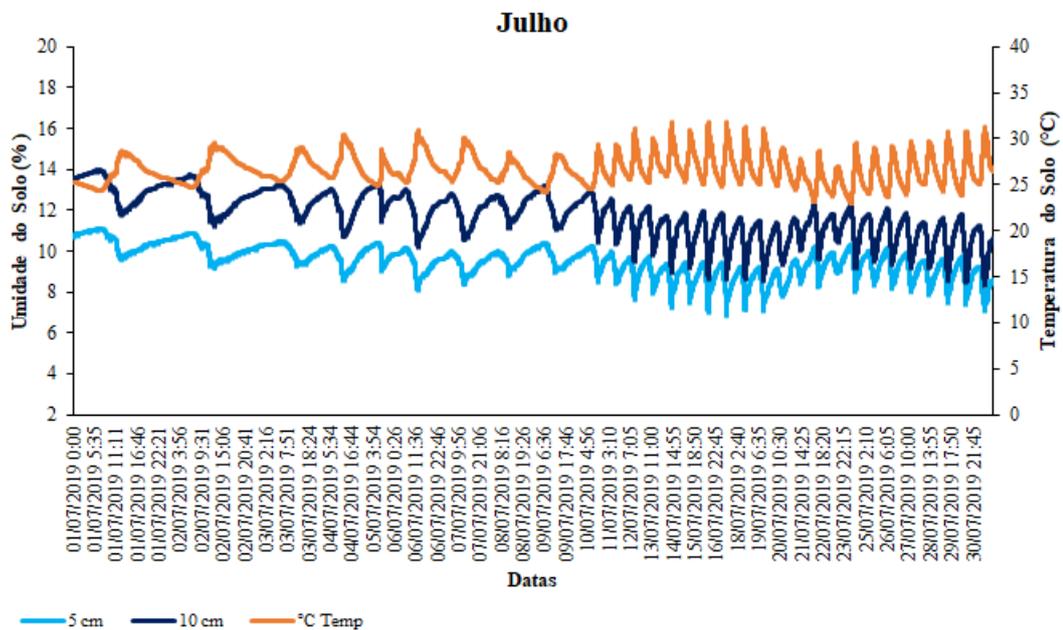
Fonte: Elaborado pelo autor

Entende-se que o aumento da umidade durante o período noturno seja em razão da condensação do orvalho, uma vez que não foram registrados eventos pluviométricos durante os 92 dias monitorados. Em matas ciliares de regiões secas da China, a formação de orvalho aumentou o conteúdo de água no solo entre 0,001 e 0,38 mm dia⁻¹ na profundidade de 5 cm (HAO *et al.*, 2012). Embora estes acréscimos de água sejam relativamente pequenos, podem

contribuir para a sobrevivência de plantas jovens e ser responsável por até 19% do aporte hídrico anual de ecossistemas semiáridos (HANISCH; LOHREY; BUERKERT, 2015).

No mês de julho, a temperatura atingiu maiores valores, chegando a superar os 31° C (Figura 17), enquanto que no mês anterior a máxima registrada foi de 29° C (Figura 16), porém, as temperaturas mínimas continuaram atingindo valores de até 23° C. Embora os valores mínimos de temperatura do mês de julho sejam superiores às do mês de junho, continuou existindo condições climáticas para que o processo de condensação do vapor d'água do ar continuasse ocorrendo. Estudos desenvolvidos por Hao *et al.* (2012) mostraram que se a umidade relativa dos poros do solo for menor que a umidade relativa do ar, o solo pode absorver diretamente o vapor de água do ar, mesmo que a temperatura do solo não se encontre na temperatura do ponto de orvalho. A amplitude diurna/noturna da umidade do solo no mês de julho foi superior ao mês anterior, com valores de 0,59 e 1,10% nas profundidades de 5 e 10 cm, respectivamente. Estes resultados geraram uma adição de 9 e 16,5 mm por mês e uma variação diária média de 0,30 e 0,55 mm, nas respectivas profundidades de 5 e 10 cm.

Figura 16 - Variabilidade temporal diária da umidade do solo no mês de julho medida no intervalo de 1 minuto

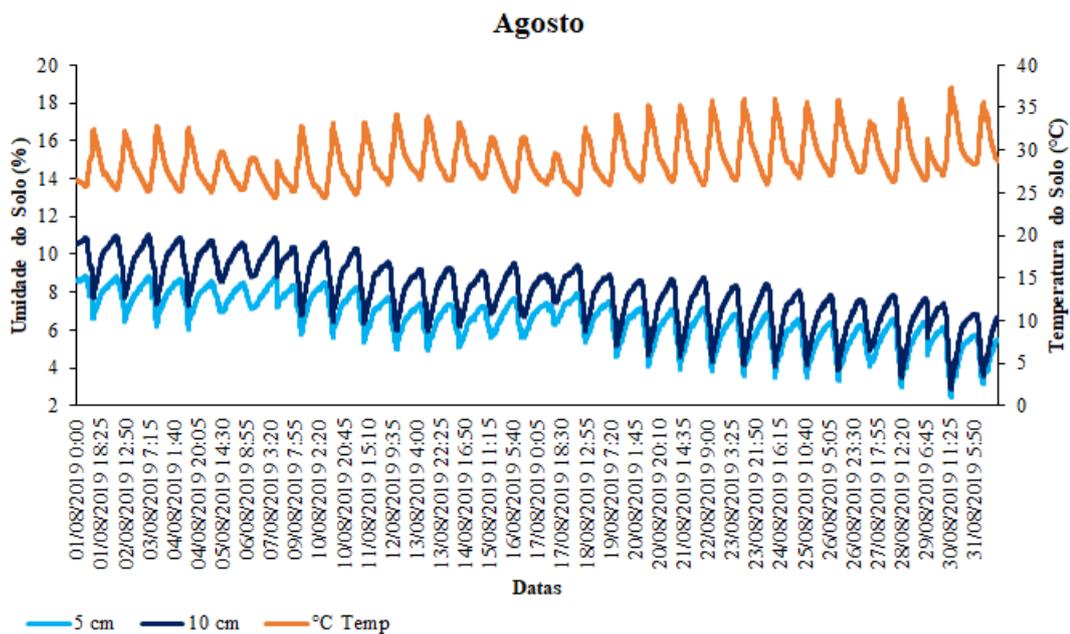


Fonte: Elaborado pelo autor

Em agosto a temperatura continuou aumentando, o que é característico da região, pois o ar se encontra mais seco e ocorre uma maior disponibilidade de energia na forma de calor

sensível, onde estima-se que o número de horas de sol por mês seja cerca de 250 horas (FUNDAJ, 2016). Porém, mesmo com maiores valores de temperatura durante o dia, o processo de acréscimo na umidade continuou acontecendo durante a noite, quando a temperatura decaiu a valores de até 24 °C (Figura 18).

Figura 17 - Variabilidade temporal diária da umidade do solo no mês de agosto medida no intervalo de 1 minuto



Fonte: Elaborado pelo autor

A amplitude da umidade do solo no mês de agosto (Figura 18) foi superior às ocorridas nos meses de junho e julho, variando de 1,26 e 1,75% para as profundidades de 5 e 10 cm, respectivamente. O acréscimo mensal acumulado de água foi de 18,9 e 26,4 mm, com uma média diária de 0,63 e 0,88 mm, para as profundidades de 5 e 10 cm, respectivamente. O mês de agosto registrou um aumento de até 0,6 mm de água ao solo pelo processo de condensação do vapor de água em relação aos meses anteriores. Tal observação demonstra que nos períodos mais secos a adição de água pelo orvalho é ainda mais significativa. Estudando a formação e variação do orvalho nas plantações de *Haloxylon ammodendron* na china, Zhuang *et al.* (2017), também constataram que o acúmulo de orvalho foi significativamente importante durante o mês de agosto, além dos meses de setembro e outubro.

5 CONCLUSÕES

A diferença na umidade do solo foi claramente afetada pela cobertura vegetal, proporcionando maiores valores e maior intervalo de tempo úmido na CRal em relação à CReg.

O trecho baixo foi o único a apresentar diferença estatística significativa em ambas as bacias, indicando que a toposequência foi fundamental na diferença de umidade entre os trechos.

A precipitação foi fundamental na variabilidade da umidade, em ambas as bacias e seus respectivos trechos, porém sua distribuição no solo foi afetada pela declividade em cada trecho.

O valor de correlação entre a umidade e a precipitação antecedente foi maior que a correlação com a precipitação em ambas as bacias, indicando que a umidade é conservada na medida que a velocidade de redistribuição decresce com o tempo.

O acréscimo de umidade durante o período noturno proporcionou uma diferença estatística em relação a umidade durante o dia nos meses de junho, julho e agosto, nas profundidades de 5 e 10 cm, a ponto de ser registrada pelos sensores capacitivos de umidade.

A variação diária média do orvalho durante o período de estudo foi de 0,40 e 0,64 mm, para as profundidades de 5 e 10 cm. A variação média diária foi de 0,28, 0,30 e 0,63 mm nos meses de junho, julho e agosto, respectivamente para a profundidade de 5 cm. Já na profundidade de 10 cm as variações foram de 0,49, 0,55 e 0,88 mm por dia.

A contribuição média do orvalho para umidade do solo é de 12,1 e 19,2 mm mês⁻¹, o que representa 16,5 e 26,1% da precipitação total anual. Tais resultados mostram a importância do orvalho para a disponibilidade hídrica e para as espécies da caatinga nos meses de déficit hídrico.

A variabilidade da umidade do solo foi influenciada tanto pelo manejo da vegetação quanto pela topografia. Onde o raleamento proporcionou diferenças significativas na umidade.

O trecho baixo foi o único a apresentar diferença estatística significativa em ambas as bacias, indicando que a gravidade foi fundamental na diferença de umidade entre os trechos.

Além da variabilidade causada pela vegetação e pela topografia, o orvalho também demonstrou influenciar de forma significativa na umidade do solo próxima a superfície.

O orvalho proporcionou incrementos de 12,1 e 19,2 mm, o que representa 16,5 e 26,1% da precipitação total anual. Demonstrando a importância do orvalho para

adisponibilidade hídrica e para as espécies da caatinga nos meses de déficit hídrico. Estes fatos enaltecem a relevância de compreender os fatores atuantes na variabilidade da umidade do solo.

AGRADECIMENTO

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq, a Universidade Federal do Ceará - UFC, ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola – PPGEA/UFC e a Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico - FUNCAP pelo apoio científico e financeiro.

REFERÊNCIAS

- AGUIRRE-GUTIÉRREZ, C. A. *et al.* The importance of dew in the water balance of a continental semiarid grassland. **Journal of Arid Environments**, v. 168, p. 26-35, 2019.
- AMBRIZZI, T.; SOUZA, E. B.; PULWARTY, R. S. The Hadley and Walker regional circulations and associated ENSO impacts on South American seasonal rainfall. In: **The Hadley circulation: present, past and future**. Springer, Dordrecht, 2004. p. 203-235.
- AMORIM, A. C. B.; CHAVES, R. R.; E SILVA, C. M. S. Influence of the tropical Atlantic Ocean's sea surface temperature in the eastern northeast Brazil precipitation. **Atmospheric and Climate Sciences**, v. 4, n. 05, p. 874, 2014.
- ANDRADE, E. M. A. **Floresta Tropical Seca, Caatinga: as Certezas e Incertezas das Águas**. Tordesillas Revista de Investigación Multidisciplinar. [s.l.], [s.n.], n. 12., 2017. p.11 – 20.
- ANDRADE, E. M. *et al.* Hydrological responses of a watershed to vegetation changes in a tropical semiarid region. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 31, n. 1, p. 161-170, 2018.
- ANDRADE, E. M. *et al.* Procesos ecohidrológicos y servicios ecosistémicos en regiones secas. **Cuadernos de la Sociedad Española de Ciencias Forestales**, n. 45, p. 241-250, 2019.
- ANDRADE, E. M. *et al.* Water as Capital and Its Uses in the Caatinga. In: SILVA, J. M. C; LEAL, I. R; TABARELLI, M. **Caatinga: The Largest Tropical Dry Forest Region in South America**. [s.l.], Spring, 2017. p. 281-302.
- ANDRADE, E. M.; MEIRELES, A. C. M.; PALÁCIO, H. A. Q. 2010. **O semiárido cearense e suas águas**. In: Andrade, E. M.; Pereira, O. J.; Dantas, F. E. R. (Eds.) *O Semiárido e o manejo dos recursos naturais*. Fortaleza: Imprensa Universitária, cap. 3, pp 56-80.
- ANGUS, D. E. Measurements of dew. v. 11, p. 301 – 303. 1958.
- AQUINO, D. N *et al.* Belowground Carbon and Nitrogen on a Thinned and Un-Thinned Seasonally Dry Tropical Forest. **American Journal of Plant Sciences**, v. 8, n. 09, p. 2083, 2017.
- AQUINO, D. N. **Ciclagem de carbono e caracterização espectral em áreas de caatinga raleada e conservada**. 2015. 180 F. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Agrícola, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2015.
- ARAÚJO FILHO, J. **Manejo pastoril sustentável da caatinga**. 22 ed. Brasília, DF: PDHC, 2013. 204.p
- BATISTA, J. L. O.; SANTOS, R. L. A caracterização do uso e ocupação do solo de uma zona semiárida entre 1993 a 2008 através da classificação supervisionada Maxver: o caso do município de Teofilândia, Bahia (BA)-Brasil. **Revista Geográfica Venezolana**, v. 54 n. 1, p. 99-111, 2013.

BEYSENS, D. A formação do orvalho. **Pesquisa atmosférica**, v. 39, n. 1-3, p. 215-237, 1995.

BEYSENS, D. *et al.* Collecting dew as a water source on small islands: the dew equipment for water project in Bis̃evo (Croatia). **Energy**, v. 32, n. 6, p. 1032-1037, 2007.

BOIX-FAYOS, C. *et al.* Measuring soil erosion by field plots: understanding the sources of variation. **Earth-Sciences Reviews**, 78, 267-285. 2006.

BROCCA, L. *et al.* Catchment scale soil moisture spatial–temporal variability. **Journal of hydrology**, v. 422, p. 63-75, 2012.

CABRAL, S. L. *et al.* Análise da modelagem dinâmica da precipitação em uma bacia hidrográfica no semiárido. In: XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2013, Bento Gonçalves, RS. **Anais do XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**. Porto Alegre: ABRH, v. 1, 2013.

CAMMERAAT, L. H. Scale dependent thresholds in hydrological and erosion response of a semi-arid catchment in southeast Spain. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 104, n. 2, p. 317-332, 2004.

CARVALHO, E. C. D. **Estrutura e Estágios de Sucessão Ecológica da vegetação de caatinga em ambiente serrano no Cariri paraibano**. 2009. 68 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Ambiental), Centro de Ciências e Tecnologias, Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande. 2009.

COBOS, D.; CAMPBELL, C.; DEVICES, D. Correcting temperature sensitivity of ECH2O soil moisture sensors. *Appl. Note. Decagon Devices, Pullman, WA*, 2007.

CROW, W. T. *et al.* Upscaling sparse ground-based soil moisture observations for the validation of coarse-resolution satellite soil moisture products. **Reviews of Geophysics**, v. 50, n. 2, 2012.

CHAMIZO, S. *et al.* Runoff at contrasting scales in a semiarid ecosystem: a complex balance between biological soil crust features and rainfall characteristics. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v. 452, n. 1 - 4, p. 130-138 2012.

DANELICHEN, V. H. D. M. *et al.* Relations of vegetation and water indices to volumetric soil water content in the Pantanal of Mato Grosso, Brazil. **International Journal of Remote Sensing**, v. 37, n. 18, p. 4261-4275, 2016.

DARI, J. *et al.* Spatial-temporal variability of soil moisture: Addressing the monitoring at the catchment scale. **Journal of hydrology**, v. 570, p. 436-444, 2019.

DIAS, F. P. M. *et al.* Eficiência de Malhas Amostrais na Caracterização da Variabilidade Espacial de Atributos Físicos do Solo. **Anuário do Instituto de Geociências**, v. 40, n. 2, p. 31-36, 2017.

DIEK, S.; TEMME, A. J. A. M.; TEULING, A. J. The effect of spatial soil variation on the hydrology of a semi-arid Rocky Mountains catchment. **Geoderma**, v. 235, p. 113-126, 2014.

- DUVDEVANI, S. Dew em Israel e seu efeito nas plantas. **Ciência do Solo**, v. 98, n. 1, p. 14-21, 1964.
- FANG, K. *et al.* Comparative analysis on spatial variability of soil moisture under different land use types in orchard. **Scientia horticulturae**, v. 207, p. 65-72, 2016.
- FENG, H.; LIU, Y. Combined effects of precipitation and air temperature on soil moisture in different land covers in a humid basin. **Journal of Hydrology**, v. 531, p. 1129-1140, 2015.
- FRY, J. E.; GUBER, A. K. Temporal stability of field-scale patterns in soil water content across topographically diverse agricultural landscapes. **Journal of Hydrology**, v. 580, p. 124-260, 2020.
- FUNCEME, **Séries pluviométricas do posto Iguatu – Ce (1974 – 2019)**. Disponível em: <http://www.funceme.br/produtos/script/chuvas/Download_de_series_historicas/DownloadChuvasPublico.php>. Acesso em: 29 abr. 2019.
- FUNDAJ - Fundação Joaquim Nabuco. Caracterização do Semiárido Brasileiro. Disponível em: http://www.fundaj.gov.br/index.php?option=com_content&view=article&id=1122%3Acaracterizacao-do-semi-arido&catid=75&Itemid=717. Acesso em: 6. jul. 2016.
- GAO, L.; SHAO, M. Temporal stability of soil water storage in diverse soil layers. **Catena**, v. 95, p. 24-32, 2012.
- GAUR, N.; MOHANTY, B. P. Evolução dos controles físicos da umidade do solo em bacias úmidas e sub-úmidas. **Pesquisa de Recursos Hídricos**, v. 49, n. 3, p. 1244-1258, 2013.
- GUERREIRO M. J. S; ANDRADE, E. M.; ABREU, I; LAJINHA, T. Long-term variation of precipitation indices in Ceará State, Northeast Brazil. **International Journal of Climatology**, v. 33, n.14, p. 2929–2939, 2013.
- HANISCH, S.; LOHREY, C.; BUERKERT, A. Dewfall and its ecological significance in semi-arid coastal south-western Madagascar. **Journal of Arid Environments**, v. 121, p. 24-31, 2015.
- HAO, X. M. *et al.* Dew formation and its long-term trend in a desert riparian forest ecosystem on the eastern edge of the Taklimakan Desert in China. **Journal of Hydrology**, v. 472, p. 90-98, 2012.
- HE, Z. *et al.* The response of soil moisture to rainfall event size in subalpine grassland and meadows in a semi-arid mountain range: A case study in northwestern China's Qilian Mountains. **Journal of Hydrology**, v. 420, p. 183-190, 2012.
- HILL, A., REWALD, B.; RACHMILEVITCH, S. Belowground dynamics in two olive varieties as affected by saline irrigation. **Scientia horticulturae**, v. 162, p. 313-319, 2013.
- HOLANDA, A. E. R *et al.* How do leaf wetting events affect gas exchange and leaf lifespan of plants from seasonally dry tropical vegetation?. **Plant Biology**, v. 21, n. 6, p. 1097-1109, 2019.

HOLSTEN, A. *et al.* Impact of climate change on soil moisture dynamics in Brandenburg with a focus on nature conservation areas. **Ecological Modelling**, v. 220, n. 17, p. 2076-2087, 2009.

HUANG, X. *et al.* Soil moisture dynamics within soil profiles and associated environmental controls. **Catena**, v. 136, p. 189-196, 2016.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Mapa de biomas e de vegetação**. Disponível em:

<http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/21052004biomashtml.shtm>. Acesso em: 1 mar. 2019.

INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE. **Caatinga**. Disponível em:

<http://www.icmbio.gov.br/portal/unidadesdeconservacao/biomasbrasil/caatinga>. Acesso em: 8 de fev. de 2019.

IPCC, FIELD C. B. Climate change 2014: impacts, adaptation, and vulnerability. Part A: global and sectoral aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. **Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability**, p. 1132, 2014.

JORGE, J. A. **Física e manejo dos solos tropicais**. Campinas: Instituto Campineiro de Ensino Agrícola. 328p. 1985.

KABELA, E. D.; HORNBUCKLE, B. K.; COSH, M. H.; ANDERSON, M. C.; GLEASON, M. L. Dew frequency, duration, amount, and distribution in corn and soybean during SMEX05. **Agricultural and forest meteorology**, v. 149, n. 1, p. 11-24, 2009.

KANE, R. P. Prediction of droughts in north-east Brazil: Role of ENSO and use of periodicities. **International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society**, v. 17, n. 6, p. 655-665, 1997.

LAL, R. Saving global land resources by enhancing eco-efficiency of agroecosystems. **Journal of Soil and Water Conservation**, v. 73, n. 4, p. 100A-106A, 2018.

LEE, K.T.; YANG, C. C. Estimation of sediment yield during storms based on soil and watershed geomorphology characteristics. **Journal of hydrology**, v. 382, n. 1-4, p. 145-153, 2010.

LEGATES, D. R. *et al.* Soil moisture: A central and unifying theme in physical geography. **Progress in Physical Geography**, v. 35, n. 1, p. 65-86, 2011.

LI, B. *et al.* The impact of fog on soil moisture dynamics in the Namib Desert. **Advances in Water Resources**, v. 113, p. 23-29, 2018.

LIAO, K. *et al.* Applying fractal analysis to detect spatio-temporal variability of soil moisture content on two contrasting land use hillslopes. **Catena**, v. 157, p. 163-172, 2017.

LIU, R. *et al.* Runoff characteristics and nutrient loss mechanism from plain farmland under simulated rainfall conditions. **Science of the Total Environment**, v. 468–469, p. 1069–1077, 2014.

LIU, Y. Y. *et al.* Trend-preserving blending of passive and active microwave soil moisture retrievals. **Remote Sensing of Environment**, v. 123, p. 280-297, 2012.

LULU, J. **Duração do período de molhamento em vinhedo de ‘Niágara Rosada’ e sua relação com a ocorrência de míldio (Plasmoparavícolica)**. 188p. Tese Doutorado. Piracicaba: ESALQ/USP, 2008.

MAESTRE-VALERO, J. F. *et al.* Comparative analysis of two polyethylene foil materials for dew harvesting in a semi-arid climate. **Journal of hydrology**, v. 410, n. 1-2, p. 84-91, 2011.

MARENGO, J. A.; BERNASCONI, M. Regional differences in aridity/drought conditions over Northeast Brazil: present state and future projections. **Climatic Change**, v. 129, n. 1-2, p. 103-115, 2015.

MARENGO, J. A.; TORRES, R. R.; ALVES, L. M. Drought in Northeast Brazil—past, present, and future. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 129, n. 3–4, p. 1189–1200, 2017.

MARENGO, Jose A. *et al.* Two contrasting severe seasonal extremes in tropical South America in 2012: flood in Amazonia and drought in northeast Brazil. **Journal of climate**, v. 26, n. 22, p. 9137-9154, 2013.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Caatinga**. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/biomas/caatinga>. Acesso em: 06 de março de 2020.

MONTENEGRO, A. A. A.; ABRANTES, J. R. C. B.; LIMA, J. L. M. P.; SINGH, V. P.; SANTOS, T. E. M. Impact of mulching on soil and water dynamics under intermittent simulated rainfall. **Catena**, v.109, p.139-149, 2013.

MORO, M. J. *et al.* Dew measurement by Eddy covariance and wetness sensor in a semiarid ecosystem of SE Spain. **Journal of Hydrology** , v. 335, n. 3-4, p. 295-302, 2007.

MOURA, M. S. B. *et al.* Clima e a água de chuva no SemiÁrido. In: Brito, L. T. L.; Moura, M. S. B.; Gama, G. F. B. **Potencialidades da água de chuva no Semi-Árido brasileiro**. Petrolina, Embrapa Semi-Árido, 2007.

NATIONS, United. **2010–2020: UN Decade for Deserts and the Fight against Desertification**. 2019. Disponível em: https://www.un.org/en/events/desertification_decade/index.shtml. Acesso em: 26 dez. 2019.

OLIVEIRA, J. R. *et al.* Erosão hídrica em um argissolo vermelho-amarelo, sob diferentes padrões de chuva simulada. **Revista Brasileira de Engenharia agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, n. 2, p. 140-147, 2010.

PALÁCIO, H. A. Q *et al.* Emergency evaluation of semi-arid watersheds under different management strategies. **Transactions of the ASABE**, v. 56, n. 6, p. 1357-1363, 2013.

PAN, YX.; WANG, XP.; ZHANG, YF. Características de formação de orvalho em um ecossistema deserto estabilizado por revegetação na área de Shapotou, norte da China. **Journal of Hydrology** , v. 387, n. 3-4, p. 265-272, 2010.

PANG, G.; WANG, X.; YANG, M. Using the NDVI to identify variations in, and responses of, vegetation to climate change on the Tibetan Plateau from 1982 to 2012. **Quaternary International**, v. 444, p. 87-96, 2017.

PANSU, M.; GAUTHEYROU, J. **Handbook of soil analysis: mineralogical, organic and inorganic methods**. Springer Science & Business Media, 2007.

PEREIRA, E. R. R. **Índices pluviométricos na análise da intensidade e variabilidade regional das chuvas no nordeste do Brasil**. 2014. 100f. Tese (Doutorado em Meteorologia), Programa de Pós-graduação em Meteorologia, Universidade Federal de Campina, Campina Grande, 2014.

PINA, A. L. C. B. *et al.* Dew absorption by the trichomes of *Combretum leprosum* in the Brazilian semiarid region. **Functional Plant Biology**, v. 43, p. 851-861, 2016.

PINHEIRO, E. A. R.; COSTA, C. A. G.; ARAÚJO, J. C. Effective root depth of the Caatinga biome. **Journal of Arid Environments**, v. 89, p. 1-4, 2013.

POLTORADNEV, M.; INGWERSEN, J.; STRECK, T. Spatial and temporal variability of soil water content in two regions of southwest Germany during a three-year observation period. **Vadose Zone Journal**, v. 15, n. 6, 2016.

POORTER, L.; HAYASHIDA-OLIVER, Y. Effects of seasonal drought on gap and understorey seedlings in a Bolivian moist forest. **Journal of Tropical Ecology**, v. 16, p. 481-498, 2000.

PORPORATO, A. *et al.* Ecohidrologia de ecossistemas controlados pela água. **Avanços em Recursos Hídricos** , v. 25, n. 8-12, p. 1335-1348, 2002.

QUEIROZ, M. G. *et al.* Spatial and temporal dynamics of soil moisture for surfaces with a change in land use in the semi-arid region of Brazil. **CATENA**, v. 188, p. 104457, 2020.

RAN, Q. *et al.* Experimental study of the impact of rainfall characteristics on runoff generation and soil erosion. **Journal of Hydrology**, v. 424-425, p. 99-111, 2012.

REID, Walter V. *et al.* **Ecosystems and human well-being-Synthesis: A report of the Millennium Ecosystem Assessment**. Island Press, 2005.

REY, A. *et al.* Changes in soil moisture predict soil carbon losses upon rewetting in a perennial semiarid steppe in SE Spain. **Geoderma**, v. 287, p. 135-146, 2017.

- RIBEIRO FILHO, J. C. *et al.* Estrato herbáceo e fatores hidrossedimentológicos em microbacias experimentais com diferentes manejos no semiárido cearense. **Conexões-Ciência e Tecnologia**, Fortaleza, v. 8, n. 2, 2014.
- RICHARDS, K. Urban and rural dewfall, surface moisture, and associated canopy-level air temperature and humidity measurements for Vancouver, Canada. **Boundary-Layer Meteorology**, v. 114, n. 1, p. 143-163, 2005.
- ROBINSON, D. *et al.* Soil moisture measurement for ecological and hydrological watershed-scale observatories: A review. **Vadose Zone Journal**, v. 7, n. 1, p. 358-389, 2008.
- RODRIGUES, J. O. *et al.* Sediment loss in semiarid small watershed due to the land use. **Revista Ciência Agronômica** (UFC. Online), Fortaleza, v. 44, n. 3, p. 488-498, 2013.
- ROMANO, N. Soil moisture at local scale: Measurements and simulations. **Journal of Hydrology**, v. 516, p. 6-20, 2014.
- RYAN, C.; ELSNER, P. The potential for sand dams to increase the adaptive capacity of East African drylands to climate change. **Regional Environmental Change**, v. 16, n. 7, p. 2087-2096, 2016.
- SANTOS, H. G *et al.* Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 5. ed. Brasília, DF: EMBRAPA SOLOS 2018. 590 p.
- SANTOS, J. C. N. *et al.* Effect of dry spells and soil cracking on runoff generation in a semiarid micro watershed under land use change. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v. 541, n. 1-4, p. 1057-1066, 2016.
- SANTOS, J. C. N. *et al.* Fatores controladores de processos erosivos no semiárido brasileiro. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 31, n. 3, p. 695-703, 2018.
- SANTOS, M.G. *et al.* Caatinga, the Brazilian dry tropical forest: can it tolerate climate changes? **Theoretical and Experimental Plant Physiology**, v. 26, p. 83-99, 2014.
- SATHYANADH, A. *et al.* Evaluation of soil moisture data products over Indian region and analysis of spatio-temporal characteristics with respect to monsoon rainfall. **Journal of hydrology**, v. 542, p. 47-62, 2016.
- SILVA, V. P. R. DA *et al.* Análise da pluviometria e dias chuvosos na região Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, n. 2, p. 131-138, 2011.
- SILVA, V. P. R. On climate variability in Northeast of Brazil. **Journal of Arid Environments**, v. 58, p. 574-596, 2004.
- SILVA, V. P. R.; PEREIRA, E. R. R.; ALMEIDA, R. S. R. Estudo da variabilidade anual e intra-anual da precipitação na região Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia (Impresso)**, v. 27, n. 2, p. 163-172, 2012.

- SOME'E, B. S. *et al.* Investigation of spatial variability and pattern analysis of soil properties in the northwest of Iran. **Environmental Earth Sciences**, v. 64, n. 7, p. 1849-1864, 2011.
- SOUSA, M. M. M. *et al.* Influência do manejo da vegetação em microbacias hidrográficas e suas respostas hidrossedimentológicas. **Revista Equador**, Piauí, v. 5, n. 4, p. 43-55, 2016.
- 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.
- STERLING, S. M.; DUCHARNE, A.; POLCHER, J. The impact of global land-cover change on the terrestrial water cycle. **Nature Climate Change**, v. 3, n. 4, p. 385, 2013.
- SUO, L. *et al.* Soil moisture dynamics and dominant controls at different spatial scales over semiarid and semi-humid areas. **Journal of hydrology**, v. 562, p. 635-647, 2018.
- THORNTHWAITE, C. W. An approach toward a rational classification of climate. **Geographical Review**, v. 38, p. 55-94, 1948.
- TUTTLE, S. E.; SALVUCCI, G. D. A new approach for validating satellite estimates of soil moisture using large-scale precipitation: Comparing AMSR-E products. **Remote sensing of environment**, v. 142, p. 207-222, 2014.
- VAN OUDENHOVEN, A. P. *et al.* Effects of different management regimes on soil erosion and surface runoff in semi-arid to sub-humid rangelands. **Journal of Arid Environments**, Amsterdam, v.121, n. 4, p. 100-111, 2015.
- VIEIRA, R. M. S. P. *et al.* Identifying areas susceptible to desertification in the Brazilian northeast. **Solid Earth**, v. 6, n. 1, p. 347-360, 2015.
- VIEIRA, S. R. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. H.; SCHAEFER, C. E. G. R. (Ed.). **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. v. 1, p. 1-54.
- WANG, C. *et al.* Formation and influencing factors of dew in sparse elm woods and grassland in a semi-arid area. **Acta Ecologica Sinica**, v. 37, n. 3, p. 125-132, 2017.
- WANG, L. *et al.* Dryland ecohydrology and climate change: critical issues and technical advances. **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 16, n. 8, p. 2585-2603, 2012.
- WANG, S. *et al.* An event-based approach to understanding the hydrological impacts of different land uses in semi-arid catchments. **Journal of hydrology**, v. 416, p. 50-59, 2012.
- WANG, X. *et al.* Spatial and temporal variations in surface soil moisture and vegetation cover in the Loess Plateau from 2000 to 2015. **Ecological indicators**, v. 95, p. 320-330, 2018.
- WEBSTER, Rudolph. Is soil variation random?. **Geoderma**, v. 97, n. 3-4, p. 149-163, 2000.
- WEI, P. *et al.* The effects of topography on aboveground biomass and soil moisture at local scale in dryland grassland ecosystem, China. **Ecological Indicators**, v. 105, p. 107-115, 2019.

WEI, W. *et al.* Effects of surficial condition and rainfall intensity on runoff in a loess hilly area, China. **Journal of hydrology**, Amsterdam, v. 513, n. 12, p. 115-126, 2014.

WEN, X.F. *et al.* Dew water isotopic ratios and their relationships to ecosystem water pools and fluxes in a cropland and a grassland in China. **Oecologia**, v. 168, p. 549-561, 2012.

WEN, Z. *et al.* NDVI indicated long-term interannual changes in vegetation activities and their responses to climatic and anthropogenic factors in the Three Gorges Reservoir Region, China. **Science of The Total Environment**, v. 574, p. 947-959, 2017.

WESTERN, A. W. *et al.* Spatial correlation of soil moisture in small catchments and its relationship to dominant spatial hydrological processes. **Journal of Hydrology**, v. 286, n. 1-4, p. 113-134, 2004.

WILCOX, B. P., *et al.* Ecohydrology: Processes and implications for rangelands. In: *Rangeland Systems*. Springer, Cham, p. 85-129, 2017.

XIAOHUA, W. *et al.* An ultrasonic humidification fluorescent tracing method for detecting unsaturated atmospheric water absorption by the aerial parts of desert plants. **Journal of Arid Land**, v. 8, n. 2, p. 272-283, 2016.

XU, Y.; YAN, B.; TANG, J. The effect of climate change on variations in dew amount in a paddy ecosystem of the Sanjiang Plain, China. **Advances in Meteorology**, v. 2015, article ID 793107, p. 9, 2015.

YANG, L. *et al.* Response of temporal variation of soil moisture to vegetation restoration in semi-arid Loess Plateau, China. **Catena**, v. 115, p. 123-133, 2014.

YANG, L. *et al.* Response of deep soil moisture to land use and afforestation in the semi-arid Loess Plateau, China. **Journal of hydrology**, v. 475, p. 111-122, 2012.

YANG, Lei, *et al.* Response of temporal variation of soil moisture to vegetation restoration in semi-arid Loess Plateau, China. **Catena**, v. 115, p. 123-133, 2014.

YU, B. *et al.* Soil moisture variations at different topographic domains and land use types in the semi-arid Loess Plateau, China. **Catena**, v. 165, p. 125-132, 2018.

ZHANG, K. *et al.* Ground observation-based analysis of soil moisture spatiotemporal variability across a humid to semi-humid transitional zone in China. **Journal of Hydrology**, v. 574, p. 903-914, 2019.

ZHANG, Q. *et al.* Characteristics of dew formation and distribution, and its contribution to the surface water budget in a semi-arid region in China. **Boundary-Layer Meteorology**, v. 154, n. 2, p. 317-331, 2015.

ZHAO, W. *et al.* Response of soil moisture of microtopography on precipitation characteristics in the loess region of Northern Shaanxi. **Nongye Jixie Xuebao= Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery**, v. 45, n. 5, p. 118-124, 2014.

ZHAO, Y. *et al.* Factors controlling the spatial patterns of soil moisture in a grazed semi-arid steppe investigated by multivariate geostatistics. **Ecohydrology**, v. 4, n. 1, p. 36-48, 2011.

ZHAO, Y. *et al.* Spatial variability of soil properties affected by grazing intensity in Inner Mongolia grassland. **Ecological modelling**, v. 205, n. 1-2, p. 241-254, 2007.

ZHOU, J. *et al.* Effects of precipitation and restoration vegetation on soil erosion in a semi-arid environment in the Loess Plateau, China. **Catena**, v. 137, n. 1 – 4, p. 1-11, 2016.

ZHU, H. D. *et al.* Soil moisture response to environmental factors following precipitation events in a small catchment. **Catena**, v. 120, p. 73-80, 2014.

ZHU, Q.; LIN, H. Influences of soil, terrain, and crop growth on soil moisture variation from transect to farm scales. **Geoderma**, v. 163, n. 1-2, p. 45-54, 2011.

ZHUANG, Y.; ZHAO, W. Dew formation and its variation in *Haloxylon ammodendron* plantations at the edge of a desert oasis, northwestern China. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 247, p. 541-550, 2017.

ZHUANG, Y.; ZHAO, W. The ecological role of dew in assisting seed germination of the annual desert plant species in a desert environment, northwestern China. **Journal Of Arid Land**, v. 8, n. 2, p. 264-271, 2015.