

MARIA GABRIELA DE QUEIROZ

**IMPACTO DO DESMATAMENTO NA INTERAÇÃO BIOSFERA-
ATMOSFERA DO DOMÍNIO CAATINGA**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Meteorologia Agrícola, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2018

**Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca Central da Universidade
Federal de Viçosa - Câmpus Viçosa**

T

Queiroz, Maria Gabriela de, 1989-
Q3i Impacto do desmatamento na interação biosfera-atmosfera
2018 do Domínio Caatinga / Maria Gabriela de Queiroz. – Viçosa,
MG, 2018.
xvii, 221f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Inclui apêndices.

Orientador: Sérgio Zolnier.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.

Inclui bibliografia.

1. Micrometeorologia. 2. Florestas tropicais. 3. Caatinga.
4. Evapotranspiração. 5. Solos - Umidade. 6. Solo - Uso.
7. Serapilheira. I. Universidade Federal de Viçosa. Departamento
de Engenharia Agrícola. Programa de Pós-Graduação em
Meteorologia Agrícola. II. Título.

CDD 22. ed. 630.2515

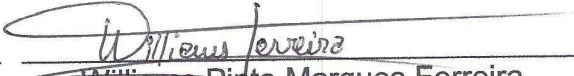
MARIA GABRIELA DE QUEIROZ

**IMPACTO DO DESMATAMENTO NA INTERAÇÃO BIOSFERA-
ATMOSFERA DO DOMÍNIO CAATINGA**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Meteorologia Agrícola, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.


APROVADA: 02 de março de 2018.


Francisca Zenaide de Lima


Williams Pinto Marques Ferreira


Antonio José Steidle Neto


Thieres George Freire da Silva
(Coorientador)


Sérgio Zolnier
(Orientador)

Dedico,

Aos meus pais,
José Arnaldo Alves de Queiroz e Josefa de Queiroz Alves,
por todo amor, carinho, confiança, incentivos e exemplo de vida, que me conduziram
às melhores escolhas, espero estar recompensando toda a dedicação recebida.

Aos meus irmãos,
João Alves de Queiroz Neto, Havanna Alves de Queiroz e José Arnaldo Alves de
Queiroz Filho,
pelas vibrações positivas, apoio, carinho, amizade e afeto.

A minha Avó,
Ana Neri de Queiroz,
pelas inesgotáveis orações, amor e fé, sem as quais eu não teria chegado aqui.

Aos meus sobrinhos,
João Kayk Alves de Almeida e Maria Isadora Alves de Almeida
vocês são benção em nossas vidas, e, meu estímulo para que um dia eu possa ser um
bom exemplo e motivo de orgulho.

Amo vocês incondicionalmente!

“Talvez não tenha conseguido fazer o melhor, mas lutei para que o melhor fosse feito. Não sou o que deveria ser, mas, Graças a Deus, não sou o que era antes.”

(Marthin Luther King)

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela imensa bondade e presença em minha vida, por me acalmar e ser porto seguro nos momentos difíceis e, por seu maravilhoso amor. *“Alegram-se na esperança, sejam pacientes na tribulação, perseverem na oração.” (Romanos 12:12)*

Ao meu orientador, professor Sérgio Zolnier, pela confiança, profissionalismo e pela oportunidade em me receber na Universidade Federal de Viçosa. Foi uma experiência indescritível, e que muito contribuiu para minha formação profissional e pessoal. Agradeço sua valiosa colaboração e apoio prestado.

Ao meu coorientador, Thieres George Freire da Silva pela confiança e excepcional profissionalismo. O Thieres é um verdadeiro mestre, seu entusiasmo, dedicação e comprometimento pela pesquisa são admiráveis, e sua orientação foi um presente. És uma das pessoas mais generosas que pude conhecer, viu em mim um potencial desde a graduação que nem eu mesma acreditava, e sempre se empenhou para me proporcionar o melhor. Assim, como com todos seus orientandos, nunca mediu esforços em transmitir seus ensinamentos. Agradeço-lhe pela oportunidade dada, espero um dia retribuí-la.

À minha coorientadora Magna Soelma Beserra de Moura, por fornecer sensores e equipamentos necessários para execução da pesquisa, e pelas colaborações prestadas.

Ao Grupo de Agrometeorologia no Semiárido (GAS) pela contribuição na execução da pesquisa, apoio, carinho, dedicação e respeito incondicionais que recebi. Vocês são maravilhosos, nunca hesitaram em me ajudar e transformaram nosso lugar de trabalho e de estudos em um ambiente fraterno, alegre e descontraído. Em nome de todos do grupo, quero em especial agradecer à Carlos André, o qual foi extremamente importante na realização desta pesquisa, um amigo paciente e bondoso, prestativo, competente e dedicado ao extremo. Foi uma dádiva partilhar destes anos em sua companhia. Para todos vocês, o meu carinho mais sincero e a certeza de que estarão sempre guardados em meu coração.

Agradeço à família Barros, em nome do senhor Luiz e dona Socorro, proprietários da fazenda Algodões, por disponibilizarem suas terras para execução deste estudo e por todo apoio logístico.

Aos verdadeiros amigos, que a vida me deu a oportunidade de escolher. Aqueles mais presentes, aos mais ausentes, aos mais distantes, aos antigos e os recentes. Vocês são insubstituíveis e únicos em minha vida. Agradeço a Karina Miranda, Taíza Nogueira, Cristina Almeida, Jackson Meirellys, Mirian Miranda, Olga Maria, Eliane Cristina, Fernanda Bottega, Ane Francielly, Marcela Barbosa, Poliana de Caldas, Angélica da Mata, Ana Paula Vilela, Mariana Reis, Valéria Cavalcante, Vágna Pereira, João Vitor e Fabiana Vieira.

A todos os amigos do Departamento de Engenharia Agrícola e do Programa de Pós-Graduação em Meteorologia Aplicada (Agrícola), com os quais dividi durante minha estadia em Viçosa-MG, incontáveis momentos especiais e, agora nostálgicos. Tenho enorme satisfação de tê-los conhecido.

Aos meus amigos da empresa SEBRAE, unidade Serra Talhada, pelo apoio, torcida, carinho e pelos momentos agradáveis sempre ofertados.

“Quem tem um amigo, mesmo que um só, não importa onde se encontre, jamais sofrerá de solidão; poderá morrer de saudades, mas não estará só.” (Almir Klink)

Aos demais familiares e amigos, tios e tias, padrinhos e madrinhas, primos e primas, pelo apoio, carinho e vibrações positivas.

À secretária do programa de Pós-Graduação em Meteorologia Aplicada, Graça Freitas, pelo seu admirável ofício. Graça, você é incrivelmente competente e bondosa, uma verdadeira mãe para nós. Sua sala sempre foi local de encontro em todos os momentos, nas angústias diárias e nas alegrias compartilhadas. Obrigada pelo apoio e carinho.

À Universidade Federal de Viçosa - UFV, pela excepcional estrutura de ensino e pesquisa.

À Unidade Acadêmica de Serra Talhada/Universidade Federal Rural de Pernambuco (UAST/UFRPE), pelo apoio institucional na execução de minhas pesquisas.

Aos colegas do Programa de Pós-graduação em Produção Vegetal da UAST/UFRPE, pelo acolhimento e os bons momentos partilhados.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia de Pernambuco (FACEPE), pelo financiamento do projeto.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo incentivo financeiro, vigente entre os anos de 2014 e 2018.

Agradeço aqueles que de alguma forma não foram lembrados, contudo, contribuíram para minha formação profissional e pessoal, e lembro-os: se a memória falha, o coração, não.

Meus sinceros agradecimentos!

BIOGRAFIA

MARIA GABRIELA DE QUEIROZ, filha de Josefa de Queiroz Alves e José Arnaldo Alves de Queiroz, nasceu em 14 de julho de 1989, na cidade de Carnaíba, Pernambuco.

Em Março de 2007, iniciou o curso de Agronomia pela Unidade Acadêmica de Serra Talhada, campus da Universidade Federal Rural de Pernambuco, localizada na cidade de Serra Talhada. Durante três anos, participou de atividades de iniciação científica, graduando-se no segundo semestre de 2011.

Em março de 2012, ingressou no Programa de Pós-Graduação em Meteorologia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa-MG, em nível de mestrado, submetendo-se à defesa de tese em 27 de fevereiro de 2014.

Em março de 2014, iniciou o doutorado na área de Meteorologia Agrícola pela Universidade Federal de Viçosa-MG, submetendo-se à defesa de tese em 02 de março de 2018.

SUMÁRIO

LISTA DE SÍMBOLOS	x
RESUMO	xiv
ABSTRACT	xvi
INTRODUÇÃO GERAL	1
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	4
I ARTIGO	8
BALANÇO DE ENERGIA E EVAPOTRANSPIRAÇÃO CONDICIONADAS PELO DESMATAMENTO DA CAATINGA	8
Resumo	8
Abstract	10
1. Introdução	12
2. Material e Métodos	14
3. Resultados	20
4. Discussões	26
5. Conclusões	33
Agradecimentos	33
Referências	33
II ARTIGO	50
ATRIBUTOS FÍSICO-QUÍMICOS DO SOLO E CONDIÇÕES METEOROLÓGICAS EM PAISAGENS SOB PERTURBAÇÃO ANTRÓPICA NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO	50
Resumo:	50
Abstract	51
1. Introdução	51
2. Material e Métodos	53
3. Resultados	57
4. Discussões	60
5. Conclusões	62
Agradecimentos	62
Referências	63
III ARTIGO	73
DINÂMICA ESPAÇO-TEMPORAL DA UMIDADE DO SOLO EM SUPERFÍCIES COM MUDANÇA NO USO DA TERRA NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO	73
Resumo:	73
Abstract:	74

1. Introdução.....	76
2. Material e Métodos	78
3. Resultados.....	85
4. Discussões	91
5. Conclusões.....	100
Agradecimentos	100
Referências	100
IV ARTIGO.....	120
IMPACTOS DA REMOÇÃO DA VEGETAÇÃO DE CAATINGA NAS RESPOSTAS BIO-HIDROLÓGICAS EM REGIÃO SEMIÁRIDA.....	120
Resumo	120
Abstract.....	121
1. Introdução.....	122
2. Material e métodos.....	125
3. Resultados.....	130
4. Discussões	137
5. Conclusões.....	148
Agradecimentos	148
Referências	149
V ARTIGO	166
PADRÕES SAZONAIS DE DEPOSIÇÃO E CICLAGEM DE NUTRIENTES DE SERAPILHEIRA EM FLORESTA TROPICAL SECA	166
Resumo	166
Abstract.....	167
1. Introdução.....	168
2. Material e Métodos	170
3. Resultados.....	176
4. Discussões	183
5. Conclusões.....	194
Agradecimentos	194
Referências	195
CONCLUSÕES GERAIS	215
APÊNDICE	216

LISTA DE SÍMBOLOS

A	Amplitude	-
AC	Área do coletor	m ²
ACAH	Análise de Cluster Aglomerativa Hierárquica	-
ACP	Análise de componentes principais	-
ADA	Área desmatada adjacente	-
Ai	Área da calha do solo	m ²
Al ³⁺	Acidez trocável	cmol _c dm ⁻³
AP	Área de projeção do dossel	m ²
Arg.	Argila	g kg ⁻¹
At.	Areia total	g kg ⁻¹
BERB	Balanço de energia pela razão de Bowen	-
C	Carbono orgânico	g kg ⁻¹
Ca	Cálcio	cmol _c dm ⁻³
CAA	Caatinga	-
CAAM-DES-AT	Vegetação CAatinga, Plantas CAM e áreas em DESertificação em interação com a ATmosfera	-
CAP	Circunferência na altura do peito	cm
CC	Capacidade de campo	MPa
C.E	Condutividade elétrica	mS cm ⁻¹
Cu	Cobre	mg dm ⁻³
CP	Componentes principais	-
C _p	Calor específico à pressão constante	J kg ⁻¹ K ⁻¹
CTC	Capacidade de troca de cátions	cmol _c dm ⁻³
CV	Coefficiente de variação	%
DAP	Diâmetro na altura do peito	cm
DC	Duração da chuva	h
DNB	Diâmetro médio na base	cm
DPV	Déficit de pressão de vapor d'água	kPa
DPV _M	Déficit de pressão de vapor d'água médio	kPa
DPV _N	Déficit de pressão de vapor d'água mínimo	kPa

DPV _x	Déficit de pressão de vapor d'água máximo	kPa
Dp	Densidade da partícula	kg m ⁻³
Ds	Densidade do solo	kg m ⁻³
DV	Direção do vento	°
ES	Escoamento superficial	mm
ET	Evapotranspiração real	mm
ET _(d)	Evapotranspiração real diária	mm dia ⁻¹
Et	Escoamento de água pelo tronco	mm
ETo	Evapotranspiração de referência	mm
Fe	Ferro	mg dm ⁻³
FR	Frequência relativa	unitário
f _{REA}	Fração interceptada da radiação fotossinteticamente ativa	unitário
G	Fluxo de calor do solo	MJ m ⁻² dia ⁻¹
H	Fluxo de calor sensível	MJ m ⁻² dia ⁻¹
H+Al	Acidez potencial	cmol _c dm ⁻³
I	Interceptação de água pelo dossel	mm
IAF	Índice de área foliar	m ² m ⁻²
IAP	Índice de área de planta	m ² m ⁻²
IC	Intensidade da chuva	mm h ⁻¹
ICV	Índice de cobertura vegetal	m ² m ⁻²
K	Constante de deposição de serapilheira	kg MS ha ⁻¹ ano ⁻¹
kh	Coefficiente de transferência turbulenta de calor sensível	-
kv	Coefficiente de transferência turbulenta de calor latente	-
L	Quantidade de serapilheira produzida anualmente	kg ha ⁻¹ ano ⁻¹
LE	Fluxo de calor latente	MJ m ⁻² dia ⁻¹
Mg	Magnésio	cmol _c dm ⁻³
Mn	Manganês	mg dm ⁻³
M.O.	Matéria orgânica	mg dm ⁻³
Na	Sódio	cmol _c dm ⁻³
NC	Número de condição	-
P	Fósforo	mg dm ⁻³
PE	Precipitação efetiva	mm

pH	Potencial hidrogeniônico	-
Pi	Precipitação interna	mm
PM	Ponto de murcha permanente	MPa
Prec.	Precipitação pluviométrica	mm
PT	Precipitação total	mm
Pt	Porosidade total	%
RFA	Radiação fotossinteticamente ativa	MJ m ⁻² dia ⁻¹
RFA(ac)	Radiação fotossinteticamente ativa acima do dossel	MJ m ⁻² dia ⁻¹
RFA(ab)	Radiação fotossinteticamente ativa abaixo do dossel	MJ m ⁻² dia ⁻¹
R _G	Radiação solar global	MJ m ⁻² dia ⁻¹
R _N	Saldo de radiação	MJ m ⁻² dia ⁻¹
R _{N(d)}	Saldo de radiação diário	MJ m ⁻² dia ⁻¹
r _s	Coefficiente de Spearman	unitário
SB	Soma de bases	cmol _c dm ⁻³
Sil.	Silte	g kg ⁻¹
SRP-Estruturas reprodutivas	Serapilheira da fração estruturas reprodutivas	kg MS ha ⁻¹
SRP-Folha	Serapilheira da fração folha	kg MS ha ⁻¹
SRP-Galho	Serapilheira da fração galho	kg MS ha ⁻¹
SRP Miscelânea	Serapilheira da fração miscelânea	kg MS ha ⁻¹
SRP-Total	Serapilheira total	kg MS ha ⁻¹
T	Temperatura do ar	°C
T _C	Temperatura do dossel	°C
T _M	Temperatura do ar média	°C
T _N	Temperatura do ar mínima	°C
T _S	Temperatura média do solo	°C
T _X	Temperatura do ar máxima	°C
u	Velocidade do vento	m s ⁻¹
UR	Umidade relativa do ar	%
UR _M	Umidade relativa do ar média	%
UR _N	Umidade relativa do ar mínima	%
UR _X	Umidade relativa do ar máxima	%
V	Saturação de bases	%

V_{Et}	Volume de água do fluxo do tronco	L
V_i	Volume de água escoado nas calhas do solo	L
V_{Pi}	Volume de água que atravessou o dossel	L
X_{SS}	Média anual de serapilheira acumulada sobre o solo	$\text{kg ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$
Z	Zinco	mg dm^{-3}
γ	Constante psicrométrica	$\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$
θ_v	Umidade volumétrica do solo	$\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$
β	Razão de Bowen	-
ΔT	Gradiente de temperatura	$^\circ\text{C}$
Δe	Gradiente de pressão de vapor d'água no ar	kPa
λ	Calor latente de vaporização	kJ kg^{-1}
μ	Média	-
$\bar{\delta}_i$	Diferença relativa	unitário
$\sigma(\delta_i)$	Desvio padrão da diferença relativa	unitário

RESUMO

QUEIROZ, Maria Gabriela de, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, março de 2018. **Impacto do desmatamento na interação biosfera-atmosfera do domínio caatinga**. Orientador: Sérgio Zolnier. Coorientadores: Thieres George Freire da Silva e Magna Soelma Beserra de Moura.

A região Semiárida brasileira e a vegetação de caatinga sofrem constante mudança do uso da terra, devido ao processo de desmatamento para a extração de lenha e implantação de culturas agrícolas e pastagens, resultando em paisagens com distintos níveis de perturbação antrópica. Assim, o objetivo desta pesquisa foi avaliar as mudanças na interação biosfera-atmosfera do Domínio de Caatinga, com reflexos na transferência de água e de energia, condições micrometeorológicas, umidade do solo, interceptação de água pelo dossel, atributos físicos e químicos do extrato do solo e produção de serapilheira. Foram estudadas duas paisagens: área com vegetação de caatinga (CAA) e área desmatada adjacente (ADA), ambas situadas no Eixo Norte-Sul da região central do Estado de Pernambuco. O período experimental estendeu-se de 01 de novembro de 2014 a 31 de outubro de 2017, com a delimitação de períodos chuvosos, secos e transições, agrupados de acordo com o regime hídrico local. Foram instaladas torres de aço galvanizado em cada sítio para aquisição de dados micrometeorológicos. Assim, foram realizadas comparações das respostas das condições micrometeorológicas, da evapotranspiração real, e dos componentes do balanço de energia nos diferentes regimes hídricos e entre as superfícies, por meio do método do balanço de energia com base na razão de Bowen para estimar os fluxos diários, mensais e sazonais do calor sensível (H) e latente (LE). Dados de atributos físico-químicos dos sítios e climáticos da área de estudo foram avaliados por meio da aplicação das estatísticas descritiva e multivariada. O monitoramento da umidade volumétrica (θ_v) no perfil do solo foi realizado por uma sonda capacitiva, em um período total de 157 dias. Adicionalmente, foi examinado o particionamento das chuvas em precipitação interna (P_i), escoamento do tronco (E_t) e interceptação pelo dossel (I) por espécies da vegetação de caatinga. Por fim, determinou-se a deposição mensal de serapilheira (total, por fração e por espécies), a taxa de decomposição e a exportação de nutrientes via material decíduo de espécies vegetais da caatinga. Os resultados indicaram que houve diferenças significativas na densidade de fluxos diurnos do saldo de radiação (R_N), LE, H e fluxo de calor no solo (G), com maiores

médias na CAA, com exceção dos valores médios de G, provavelmente devido ao aumento do albedo na ADA. A evapotranspiração média na CAA e ADA foi de 2,19 e 1,97 mm, nesta ordem. Cerca de 48% do R_N recebido foi utilizado no LE, 44% para H e 9% para G na CAA, versus 34% de R_N para LE, 50% para H e 16% para G na ADA. Não houve diferença na maioria dos atributos físico-químicos do solo entre os dois sítios. Exclusivamente para o estudo da umidade do solo, uma terceira paisagem foi incluída, a palma forrageira. A θ_v foi superior na caatinga ($0,086 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$), intermediária na palma forrageira ($0,064 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$), e inferior na área desmatada ($0,045 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$). Para a vegetação de caatinga, a P_i e a E_t representam 81,2% e 0,8% da precipitação total, enquanto a interceptação pelo dossel foi de 18%. A remoção da vegetação resultou em aumentos de 10% no escoamento superficial para locais desmatados, com maiores incrementos nos primeiros eventos de chuva. A Caatinga depositou em média $1.177 \text{ kg MS ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ de serapilheira, sendo 56% de folhas; 24% de galhos; 15% de estruturas reprodutivas e, 5% de miscelânea. A taxa de decomposição da serapilheira foi de $0,33 \text{ Kg MS ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, sendo exportados anualmente $23,76 \text{ kg ha}^{-1}$ de nutrientes. Conclui-se que a conversão da vegetação de caatinga em outras superfícies promoveu maior degradação de paisagens, ocasionando reduções do R_N , com valores elevados de H e G, e ET ligeiramente reduzida na área desmatada. A remoção da vegetação de caatinga resultou em declínios da θ_v e perda de interceptação de água pelo dossel vegetativo. Em áreas de caatinga com intervenção antrópica, a perda de matéria seca depositada sobre o solo pode chegar a $1,18 \text{ ton. ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$.

ABSTRACT

QUEIROZ, Maria Gabriela de, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, March, 2018. **Impact of deforestation on the biosphere-atmosphere interaction of the Caatinga domain.** Adviser: Sérgio Zolnier. Co-Advisers: Thieres George Freire da Silva and Magna Soelma Beserra de Moura.

The Brazilian semi-arid region and caatinga vegetation are constantly changing land use due to the deforestation process, the extraction of firewood and the implantation of agricultural crops and pastures, resulting in landscapes with different levels of anthropic disturbance. Thus, the objective of this research was to evaluate the changes in the biosphere-atmosphere interaction of the Caatinga domain, with a reflection on water and energy transfer, micrometeorological conditions, soil moisture, canopy water interception, physical and chemical attributes of soil extract and production of litterfall. Two landscapes were studied: area with caatinga vegetation (CAA) and adjacent deforested area (ADA), both located in the North-South Axis of the central region of the State of Pernambuco. The experimental period lasted from November 1, 2014, to October 31, 2017, with the delimitation of wet, dry and transitions periods, grouped according to the local of water regime. Galvanized steel towers were installed at each site for the acquisition of micrometeorological data. Thus, comparisons of the responses of micrometeorological conditions, real evapotranspiration and energy balance components in the different water regimes and between the surfaces were carried out, using the Bowen ratio energy balance method to estimate the daily, monthly and seasonal of the sensible (H) and latent (LE) heat fluxes. Physical and chemical attributes data of the sites and climatic conditions of the study area were evaluated through the application of descriptive and multivariate statistics. The monitoring of the volumetric moisture (θ_v) in the soil profile was carried out by a capacitive probe, in a total period of 157 days. In addition, partitioning of rains into throughfall (TF), stemflow (SF) and interception loss (IL) of caatinga vegetation species was examined. Finally, monthly deposition of litterfall (total, by fraction and by species), the rate of decomposition and the export of nutrients via deciduous material plant species of the caatinga were determined. The results indicated that there were significant differences in the diurnal flux density of the radiation net (R_N), LE, H and

soil heat flux (G), with highest averages in the CAA, except for the mean values of G, probably due to the albedo increase in ADA. The mean daily evapotranspiration in the CAA and ADA was 2.19 and 1.97 mm, respectively. About 48% of the received R_N was used in the LE, 44% for H and 9% for G in the CAA, versus 34% from R_N to LE, 50% to H and 16% to G in ADA. There was no difference in most of the physical-chemical attributes of the soil between the two sites. Exclusively for the study of soil moisture, a third landscape was included, the forage cactus. The θ_v was highest in the caatinga ($0.086 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$), intermediate in the forage cactus ($0.064 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$), and lowest in the deforested area ($0.045 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$). For the caatinga vegetation, the TF and SF represent 81.2% and 0.8% of the total precipitation, while the interception loss was 18%. The removal of vegetation resulted in 10% increases in ES for deforested sites, with highest increases in early rainfall events. The caatinga deposited on average $1177 \text{ kg DM ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$ of litterfall, being 56% of leaves; 24% of branches; 15% of reproductive structures and 5% of miscellaneous. The litterfall decomposition rate was $0.33 \text{ kg DM ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$, with annual exportation of 23.76 kg ha^{-1} of nutrients. It is concluded that the conversion of the caatinga vegetation to other surfaces promoted greater degradation of landscapes, causing reductions of the R_N , with high values of H and G, and slightly reduced ET in deforested area. Removal of the caatinga vegetation resulted in declines of θ_v and loss of interception of water through the canopy. In areas of caatinga with anthropic intervention, the loss of dry matter deposited on the soil can reach $1.18 \text{ tons ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$.

INTRODUÇÃO GERAL

A Caatinga é um Domínio brasileiro (Andrade et al., 2008), que representa 17% das florestas secas tropicais do mundo (Portillo-Quintero and Sánchez-Azofeifa, 2010), e caracteriza bem o nordeste semiárido do Brasil, o qual possui uma cobertura estimada de 969.589,4 km². É uma das áreas semiáridas mais povoadas do mundo, com cerca de 27 milhões de habitantes vivendo em seus limites (Andrade et al., 2008; Schulz et al., 2016; L. S. B. de Souza et al., 2015).

É um Domínio bastante heterogêneo e endêmico, constituído por um mosaico de árvores e arbustos de baixo porte, que durante estações secas perdem suas folhas em resposta às condições edafoclimáticas do ambiente, além de plantas suculentas espinhosas e de espécies herbáceas com rápido desenvolvimento após eventos de chuva (Beuchle et al., 2015; Costa et al., 2010; Oliveira et al., 2006),

Esta região possui precipitações escassas e irregulares, com média anual entre 300 e 800 mm e, no mínimo, cinco meses secos consecutivos. A chuva é a principal fonte de reabastecimento de água no sistema, logo, é uma região com insuficiência hídrica, com apenas 3% do volume total de água do país (Dória et al., 2016; Medeiros et al., 2009; Montenegro and Ragab, 2012). Neste ambiente, o estresse hídrico é de extrema relevância socioeconômica (Giglio and Kobiyama, 2013).

Atrelada à susceptibilidade e sazonalidade climática natural, o Domínio de Caatinga foi submetido a uma extensa alteração da superfície ao longo do tempo, de ordem antropogênica, logo, estima-se que metade da superfície original deste domínio já foi modificada (Schulz et al., 2016; Vieira et al., 2013), e que apenas 6,2% da sua área são unidades de conservação (Portillo-Quintero and Sánchez-Azofeifa, 2010). De acordo com Beuchle et al. (2015), a perda líquida contínua de vegetação natural do Domínio de Caatinga é da ordem de 0,3% ano⁻¹.

Neste ambiente, a degradação é sobretudo devido ao processo de desmatamento para a extração de lenha, atividades de pecuária extensiva, e implantação de culturas agrícolas e pastagens, resultando em paisagens fragmentadas (Coelho et al., 2014; Lima Júnior et al., 2014). Estes fragmentos consistem em restos de cobertura florestal contínua original (Portillo-Quintero and Sánchez-Azofeifa, 2010), e aqui, podem ser vislumbrados os impactos da degradação ambiental sobre a interação biosfera-atmosfera, a exemplo da transferência de água e de energia,

condições microclimáticas, processos hidrodinâmicos, atributos físicos e químicos do extrato do solo e produção de serapilheira do Domínio de Caatinga.

A modificação na magnitude dos fluxos não radioativos (i.e. fluxos de calor latente - LE e sensível - H) configura-se como importante consequência do desmatamento (Beltrán-Przekurat et al., 2012). O balanço de energia à superfície indica como a energia disponível no sistema é particionada em fluxos de H e LE (Salazar et al., 2016; Wolf et al., 2011).

Dentre as formas de obter os fluxos, o método do balanço de energia da razão de Bowen, propostos por Perez et al. (1999), tornou-se uma técnica padrão, uma vez que, diferentemente de outras técnicas de fluxo-gradiente, não requer informações sobre velocidade do vento e propriedades aerodinâmicas da superfície (Biudes et al., 2015; Heilman et al., 1989; Jamiyansharav et al., 2011; Verma et al., 1978). Este método utiliza medidas que caracterizam as condições de temperatura e concentração de vapor d'água em duas alturas imediatamente acima da superfície, as quais são suficientes para caracterizar os gradientes de concentração de LE e H (Biudes et al., 2015; Perez et al., 1999).

As consequências hidrológicas da conversão de ambientes naturais têm alterado consideravelmente os padrões do balanço de água, sentidas em termos de variações na precipitação, evapotranspiração, umidade do solo, interceptação de água pelo dossel, e escoamento superficial (Bäse et al., 2012; Deng et al., 2015; Panday et al., 2015; Rodrigues et al., 2013; Wolf et al., 2011; Zhang et al., 2016).

A umidade do solo é a principal fonte de água para a agricultura e vegetação natural. Em se tratando de ecossistemas, está diretamente associada à evapotranspiração e crescimento da vegetação, sendo influenciada por efeitos combinados de fatores edafoclimáticos e da cobertura vegetal (He et al., 2017; Peng et al., 2017). A presença da vegetação nos ecossistemas florestais atua na redistribuição de água local. Assim, a interceptação pelo dossel destaca-se como um importante processo hidrológico, influenciando na distribuição de água infiltrada, na variação de umidade no solo, processos de erosão e escoamento superficial (He et al., 2014; Zhang et al., 2015). Este último é um componente importante em ambientes semiáridos, devido à ocorrência de chuvas intensas em curtos períodos de tempo (R. M. S. Souza et al., 2015).

Além dos processos supracitados, a cobertura vegetal das florestas forma uma camada superficial constituída de material senescente ou da queda de partes da

planta, conhecido como serapilheira, que reduz o impacto direto de gotas de chuva e limita a evaporação do solo (Limin et al., 2015). O acúmulo da serapilheira sobre o solo, e a sucessiva liberação de nutrientes, é um importante processo de transferência de energia na interação do sistema solo-planta-serapilheira dentro dos ecossistemas florestais (Rai et al., 2016; Santana and Souto, 2011).

Zhang et al. (2014) analisaram a deposição e os padrões sazonais de serapilheira em diferentes ecossistemas florestais do mundo e encontraram valores expressivos, compreendendo uma faixa de 3 a 11 ton. ha⁻¹ ano⁻¹. Para ecossistemas florestais secos, a deposição anual de serapilheira em nível mundial apresenta ampla variação espaço-temporal, ocasionada por estímulos bióticos e, ou, abióticos (Santana and Souto, 2011).

Estudos sobre os impactos da mudança de uso da terra em ecossistemas não amazônicos são considerados escassos, embora haja evidências consistentes que há intensas transformações de florestas nativas em outros tipos de superfície, como consequências do desmatamento nestas regiões (Beltrán-Przekurat et al., 2012).

O presente estudo objetivou avaliar os impactos da mudança no uso da terra na interação biosfera-atmosfera, induzidas pelo desmatamento da vegetação de caatinga que, até então, permanecem desconhecidos. Para tal, foram avaliadas as alterações de processos naturais, a exemplo da transferência de água e de energia, condições micrometeorológicas, atributos físicos e químicos do extrato do solo, umidade do solo, escoamento superficial, interceptação de água pelo dossel, e produção de serapilheira em áreas com vegetação de caatinga e outra desmatada adjacente. Adicionalmente, com este estudo almeja-se gerar informações qualitativas e quantitativas consistentes com as respostas locais e regionais dos ecossistemas naturais, sob influência antrópica, e assim potencializar a transferência de informações representativas da região Semiárida brasileira.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Andrade, R.L. de, Souto, J.S., Souto, P.C., Bezerra, D.M., 2008. Deposição De Serrapilheira Em Área De Caatinga Na RPPN “Fazenda Tamanduá”, Santa Terezinha-PB. *Rev. Caatinga* 21, 223–230.
- Bäse, F., Elsenbeer, H., Neill, C., Krusche, A. V., 2012. Differences in throughfall and net precipitation between soybean and transitional tropical forest in the southern Amazon, Brazil. *Agric. Ecosyst. Environ.* 159, 19–28. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2012.06.013>
- Beltrán-Przekurat, A., Pielke, R.A., Eastman, J.L., Coughenour, M.B., 2012. Modelling the effects of land-use/land-cover changes on the near-surface atmosphere in southern South America. *Int. J. Climatol.* 32, 1206–1225. <https://doi.org/10.1002/joc.2346>
- Beuchle, R., Grecchi, R.C., Shimabukuro, Y.E., Seliger, R., Eva, H.D., Sano, E., Achard, F., 2015. Land cover changes in the Brazilian Cerrado and Caatinga biomes from 1990 to 2010 based on a systematic remote sensing sampling approach. *Appl. Geogr.* 58, 116–127. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2015.01.017>
- Biudes, M.S., Vourlitis, G.L., Machado, N.G., de Arruda, P.H.Z., Neves, G.A.R., de Almeida Lobo, F., Neale, C.M.U., de Souza Nogueira, J., 2015. Patterns of energy exchange for tropical ecosystems across a climate gradient in Mato Grosso, Brazil. *Agric. For. Meteorol.* 202, 112–124. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2014.12.008>
- Coelho, V.H.R., Montenegro, S.M.G.L., Almeida, C. das N., Lima, E.R.V. de, Ribeiro Neto, A., Moura, G.S.S. de, 2014. Dinâmica do uso e ocupação do solo em uma bacia hidrográfica do semiárido brasileiro. *Rev. Bras. Eng. Agrícola e Ambient.* 18, 64–72. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662014000100009>
- Costa, C.C. de A., Camacho, R.G.V., Macedo, I.D. de, Silva, P.C.M. da, 2010. Análise comparativa da produção de serrapilheira em fragmentos arbóreos e arbustivos em área de caatinga na FLONA de Açú-RN. *Rev. Árvore* 34, 259–265.
- Deng, X., Shi, Q., Zhang, Q., Shi, C., Yin, F., 2015. Impacts of land use and land cover changes on surface energy and water balance in the Heihe River Basin of China, 2000–2010. *Phys. Chem. Earth, Parts A/B/C* 79–82, 2–10. <https://doi.org/10.1016/j.pce.2015.01.002>
- Dória, L.C., Podadera, D.S., Batalha, M.A., Lima, R.S., Marcati, C.R., 2016. Do woody plants of the Caatinga show a higher degree of xeromorphism than in the Cerrado? *Flora* 224, 244–251. <https://doi.org/10.1016/j.flora.2016.09.002>

- Giglio, J.N., Kobiyama, M., 2013. Interceptação da Chuva: Uma Revisão com Ênfase no Monitoramento em Florestas Brasileiras. *Rev. Bras. Recur. Hídricos* 18, 297–317. <https://doi.org/10.21168/rbrh.v18n2.p297-317>
- He, B., Wang, H., Huang, L., Liu, J., Chen, Z., 2017. A new indicator of ecosystem water use efficiency based on surface soil moisture retrieved from remote sensing. *Ecol. Indic.* 75, 10–16. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.12.017>
- He, Z. Bin, Yang, J.J., Du, J., Zhao, W.Z., Liu, H., Chang, X.X., 2014. Spatial variability of canopy interception in a spruce forest of the semiarid mountain regions of China. *Agric. For. Meteorol.* 188, 58–63. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2013.12.008>
- Heilman, J.L., Brittin, C.L., Neale, C.M.U., 1989. Fetch requirements for Bowen ratio measurements of latent and sensible heat fluxes. *Agric. For. Meteorol.* 44.
- Jamiyansharav, K., Ojima, D., Pielke, R.A., Parton, W., Morgan, J., Beltrán-Przekurat, A., LeCain, D., Smith, D., 2011. Seasonal and interannual variability in surface energy partitioning and vegetation cover with grazing at shortgrass steppe. *J. Arid Environ.* 75, 360–370. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2010.11.008>
- Lima Júnior, C. de, Acciol, L.J. de O., Giongo, V., Lima, R.L.F. de A., Sampaio, E.V. de S.B., Menezes, R.S.C., 2014. Estimativa de biomassa lenhosa da caatinga com uso de equações alométricas e índice de vegetação Estimation of “ caatinga ” woody biomass using allometric equations and vegetation index. *Sientia Florestalis* 42, 289–298.
- Limin, S.G., Oue, H., Sato, Y., Budiasa, I.W., setiawan, B.I., 2015. Partitioning Rainfall into Throughfall, Stemflow, and Interception Loss in Clove (*Syzygium Aromaticum*) Plantation in Upstream Saba River Basin, Bali. *Procedia Environ. Sci.* 28, 280–285. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2015.07.036>
- Medeiros, P.H.A., Araújo, J.C. de, Bronstert, A., 2009. Interception measurements and assessment of Gash model performance for a tropical semi-arid region. *Rev. Ciência Agronômica* 40, 165–174.
- Montenegro, S., Ragab, R., 2012. Impact of possible climate and land use changes in the semi arid regions: A case study from North Eastern Brazil. *J. Hydrol.* 434–435, 55–68. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2012.02.036>

- Oliveira, M.B.L., Santos, A.J.B., Manzi, A.O., Alvalá, R.C. dos S., Correia, M. de F., Soelma, M., Moura, M.S.B. De, 2006. Trocas de Energia e Fluxo de Carbono entre a Vegetação de Caatinga e Atmosfera no Nordeste Brasileiro. *Rev. Bras. Meteorol.* 21, 378–386. <https://doi.org/0102-7786>
- Panday, P.K., Coe, M.T., Macedo, M.N., Lefebvre, P., Castanho, A.D. de A., 2015. Deforestation offsets water balance changes due to climate variability in the Xingu River in eastern Amazonia. *J. Hydrol.* 523, 822–829. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.02.018>
- Peng, F., Mu, M., Sun, G., 2017. Responses of soil moisture to climate change based on projections by the end of the 21st century under the high emission scenario in the “Huang–Huai–Hai Plain” region of China. *J. Hydro-Environment Res.* 14, 105–118. <https://doi.org/10.1016/j.jher.2016.10.003>
- Perez, P.J., Castellvi, F., Ibañez, M., Rosell, J.I., 1999. Assessment of reliability of Bowen ratio method for partitioning fluxes. *Agric. For. Meteorol.* 97, 141–150. [https://doi.org/10.1016/S0168-1923\(99\)00080-5](https://doi.org/10.1016/S0168-1923(99)00080-5)
- Portillo-Quintero, C.A., Sánchez-Azofeifa, G.A., 2010. Extent and conservation of tropical dry forests in the Americas. *Biol. Conserv.* 143, 144–155. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2009.09.020>
- Rai, A., Singh, A.K., Ghosal, N., Singh, N., 2016. Understanding the effectiveness of litter from tropical dry forests for the restoration of degraded lands. *Ecol. Eng.* 93, 76–81. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2016.05.014>
- Rodrigues, J.O., Andrade, E.A., Mendonça, L.A., Araújo, J.C., Palácio, H.A. de Q., Araújo, E.M., 2013. Respostas hidrológicas em pequenas bacias na região semiárida em função do uso do solo. *Rev. Bras. Eng. Agrícola e Ambient.* 17, 312–318. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662013000300010>
- Salazar, A., Katzfey, J., Thatcher, M., Syktus, J., Wong, K., McAlpine, C., 2016. Deforestation changes land-atmosphere interactions across South American biomes. *Glob. Planet. Change* 139, 97–108. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2016.01.004>
- Santana, J.A. da S., Souto, J.S., 2011. Produção de serapilheira na Caatinga da região semi-árida do Rio Grande do Norte, Brasil. *Idesia (Arica)* 29, 87–94. <https://doi.org/10.4067/S0718-34292011000200011>

- Schulz, K., Voigt, K., Beusch, C., Almeida-Cortez, J.S., Kowarik, I., Walz, A., Cierjacks, A., 2016. Grazing deteriorates the soil carbon stocks of Caatinga forest ecosystems in Brazil. *For. Ecol. Manage.* 367, 62–70. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2016.02.011>
- Souza, R.M.S., de Souza, E.S., Antonino, A.C.D., Lima, J.R. de S., 2015. Water balance in pasture area in semi-arid region of Pernambuco. *Rev. Bras. Eng. Agrícola e Ambient.* 19, 449–455. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v19n5p449-455>
- Souza, L.S.B. de, Moura, M.S.B. de, Sedyama, G.C., Silva, T.G.F. da, 2015. Balanço de energia e controle biofísico da evapotranspiração na Caatinga em condições de seca intensa. *Pesqui. Agropecuária Bras.* 50, 627–636. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2015000800001>
- Verma, S.B., Rosenberg, N.J., Blad, B.L., 1978. Turbulent exchange coefficients for sensible heat and water vapor under advective conditions. *J. Appl. Meteorol.* [https://doi.org/10.1175/1520-0450\(1978\)017<0330:TECFSH>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0450(1978)017<0330:TECFSH>2.0.CO;2)
- Vieira, I.R., de Araújo, F.S., Zandavalli, R.B., 2013. Shrubs promote nucleation in the Brazilian semi-arid region. *J. Arid Environ.* 92, 42–45. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2013.01.009>
- Wolf, S., Eugster, W., Majorek, S., Buchmann, N., 2011. Afforestation of Tropical Pasture Only Marginally Affects Ecosystem-Scale Evapotranspiration. *Ecosystems* 14, 1264–1275. <https://doi.org/10.1007/s10021-011-9478-y>
- Zhang, H., Yuan, W., Dong, W., Liu, S., 2014. Seasonal patterns of litterfall in forest ecosystem worldwide. *Ecol. Complex.* 20, 240–247. <https://doi.org/10.1016/j.ecocom.2014.01.003>
- Zhang, X., Zhao, W., Liu, Y., Fang, X., Feng, Q., 2016. The relationships between grasslands and soil moisture on the Loess Plateau of China: A review. *Catena* 145, 56–67. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2016.05.022>
- Zhang, Y. feng, Wang, X. ping, Hu, R., Pan, Y. xia, Paradeloc, M., 2015. Rainfall partitioning into throughfall, stemflow and interception loss by two xerophytic shrubs within a rain-fed re-vegetated desert ecosystem, northwestern China. *J. Hydrol.* 527, 1084–1095. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.05.060>

I ARTIGO

BALANÇO DE ENERGIA E EVAPOTRANSPIRAÇÃO CONDICIONADAS PELO DESMATAMENTO DA CAATINGA

Resumo: O Domínio de Caatinga é constantemente afetado pelas alterações no uso e cobertura do solo, e seus impactos são pouco compreendidos, principalmente em termos de variações espaciais e temporais do balanço de energia e evapotranspiração.

Com este estudo, objetivou-se avaliar os impactos da mudança no uso da terra na variação micrometeorológica, nas respostas da partição de energia em fluxos de calor latente (LE) e sensível (H), e na evapotranspiração real (ET) para uma região semiárida do Brasil, durante o período de 01 de novembro de 2014 e 31 de outubro de 2017, em que duas paisagens representativas foram selecionadas: floresta com vegetação de caatinga (CAA) e área desmatada adjacente (ADA), ambas situadas no Eixo Norte-Sul da região central do Estado de Pernambuco. Dados micrometeorológicos foram obtidos de sensores instalados em duas torres de aço galvanizado. Foi feita a delimitação de períodos chuvosos, secos e transições de acordo com o regime hídrico local. O balanço de energia foi avaliado com base no método da Razão de Bowen, a partir de estimativas dos fluxos diários, mensais e sazonais do calor sensível (H) e latente (LE), sendo o último utilizado para determinar os valores de ET. O monitoramento da umidade do solo foi realizado por meio de uma sonda capacitiva. Dados do índice de cobertura vegetal (ICV) foram obtidos a partir de medições de radiação fotossinteticamente ativa acima e abaixo do dossel, realizadas por um ceptômetro. Os resultados indicam que as condições micrometeorológicas (temperatura e umidade do ar, e déficit de pressão de vapor d'água) observadas na CAA e ADA não diferiram estatisticamente ($P > 0,05$). Observaram-se diferenças significativas na densidade de fluxos diurnos do saldo de radiação (R_N), LE, H e fluxo de calor no solo (G), com maiores médias na paisagem composta por vegetação de caatinga e mínimas na área desmatada, com exceção dos valores médios de G, provavelmente devido ao aumento do albedo na ADA. A evapotranspiração média diária na CAA e ADA foi de 2,19 e 1,97 mm, nesta ordem, com padrões sazonais consistentes com o comportamento do ICV e umidade do solo. Notou-se que, apenas nos subperíodos seco e, ou, chuvoso, as médias dos

componentes do balanço de energia, evapotranspiração e partição da energia disponível não se diferenciam entre as superfícies e que, nos subperíodos de transição, são obtidas maiores diferenças entre os sítios experimentais. Cerca de 48% do R_N recebido foi utilizado para o LE, 44% para H e 9% para G no sítio com vegetação de caatinga, versus 34% de R_N para LE, 50% para H e 16% para G na área desmatada adjacente. Conclui-se que as variações dos componentes micrometeorológicos mostraram-se dependentes do regime hídrico local, e que a remoção da vegetação de caatinga resultou em menor energia disponível, com tendência de maiores valores particionados para os fluxos de H e G e, conseqüentemente, redução da ET.

Palavras-chave: Mudança no uso da terra, razão de Bowen, micrometeorologia, região semiárida.

ENERGY BALANCE AND EVAPOTRANSPIRATION CONDITIONED BY THE CAATINGA DEFORESTATION

Abstract: Caatinga domain is constantly affected by soil use and cover changes. However, these impacts are poorly understood, mainly in terms of spatial and temporal variations of energy balance and evapotranspiration. This study aimed to evaluate the impacts of land use change on micrometeorological variation, in the responses of the energy partition in latent heat (LE) and sensible heat (H) fluxes, and in the real evapotranspiration (ET) for a semi-arid region of Brazil during the period of November 1, 2014, and October 31, 2017, in which two representative landscapes were selected: forest with caatinga vegetation (CAA) and adjacent deforested area (ADA), both located in the North-South axis of the central region of the State of Pernambuco. Micrometeorological data were obtained from sensors installed in two

galvanized steel towers. It was made the delimitation of wet, dry and transitions periods, according to the local water regime. The energy balance was evaluated based on the Bowen ratio method, from estimates of the daily, monthly and seasonal fluxes of sensible heat (H) and latent heat (LE), the latter used to determined ET values. The soil moisture monitoring was performed using a capacitive probe. The vegetation index data (IV) were obtained from photosynthetically active radiation measurements above and below the canopy made by a ceptometer. The results indicate that micrometeorological conditions (air temperature and humidity, and water vapor pressure deficit) observed in the CAA and ADA did not differ statistically ($P>0.05$). Significant differences in the diurnal flux density of radiation net (R_N), LE, H and soil heat flux (G) were observed, with maximum mean values in the landscape composed of caatinga vegetation and minimum in the deforested area, with the exception of the mean values of G, probably due to increased albedo in the ADA. The mean daily evapotranspiration in the CAA and ADA was 2.19 and 1.97 mm, respectively, with seasonal patterns consistent with the IV behavior and soil moisture. It was observed that only in the dry and/or wet subperiods the mean energy balance components, evapotranspiration and available energy partition did not differ between the surfaces, and that in the transition subperiods, greater differences are obtained between the sites experiments. About 48% of the incoming R_N was used for LE, 44% for H and 9% for G at the site with caatinga vegetation, versus 34% from R_N to LE, 50% to H and 16% to G in the adjacent deforested area. It was concluded that the variations of the micrometeorological components showed to be dependent on the local water regime, and that the removal of the caatinga vegetation resulted in lower available energy, with a tendency of higher values partitioned for the fluxes of H and G and, consequently, reduction of ET.

Keywords: Land use change, Bowen's ratio, micrometeorology, semi-arid region.

1. Introdução

Mudanças no uso e na cobertura da terra podem ser ocasionadas por diversas atividades, dentre as quais se destacam o desmatamento, implantação de culturas agrícolas, pastagens, conversão em perímetros irrigados, aumento de áreas urbanas, entre outros (Beltrán-Przekurat et al., 2012; Panday et al., 2015). Os impactos da conversão da terra produzem incertezas sobre as consequências do desmatamento nos diversos ecossistemas terrestres (Sun et al., 2010; Wolf et al., 2011).

Salazar et al. (2016) relataram que até do ano 2000, 55% dos biomas do planeta haviam sido convertidos em outros tipos de paisagens, as quais resultam em modificações das características da vegetação, e na demanda hídrica e de energia, devido à alteração da superfície subjacente (Beltrán-Przekurat et al., 2012; Salazar et al., 2015). Para florestas tropicais secas, cerca de 48,5% de sua extensão já foi severamente degradada devido à ação antropogênica intensiva, e portanto, é um dos ecossistemas mais ameaçados do mundo, com um percentual de áreas protegidas de apenas 6,2% (Portillo-Quintero and Sánchez-Azofeifa, 2010).

A caatinga brasileira, uma das maiores florestas secas do mundo (Schulz et al., 2016), tem há décadas experimentado expressivo desmatamento, com um percentual de degradação estimado entre 30 e 52%, tornando este ecossistema o terceiro mais modificado no Brasil, depois do Cerrado e da Mata Atlântica, em ordem crescente (Salazar et al., 2015; Schulz et al., 2016). Assim, a supressão das áreas de floresta nativa, ocasionadas pela mudança no uso da terra, é um problema grave. Essa prática promove perdas e vulnerabilidade dos ecossistemas, e modifica o acoplamento local e regional da superfície pelas interferências nos *feedback* climáticos (Deng et al., 2015; Panday et al., 2015; Salazar et al., 2016, 2015). Para o

semiárido brasileiro, tais condições aumentam a susceptibilidade da região à variabilidade climática (Salazar et al., 2016, 2015).

A avaliação das respostas dos ecossistemas induzidas pelo desmatamento pode ser conhecida por meio do balanço de energia à superfície, analisando a forma como a energia disponível no sistema biosfera-atmosfera é particionada em fluxos de calor sensível (H) e latente (LE), e conseqüentemente, supostas modificações nos padrões e oscilação da evapotranspiração (Biudes et al., 2015; Deng et al., 2015; Panday et al., 2015; Salazar et al., 2016; Souza et al., 2015; Wolf et al., 2011).

Estimativas de H e LE, a partir da aplicação do método do balanço de energia com base na razão de Bowen (BERB), são amplamente descritas na literatura (Biudes et al., 2015; Gondim et al., 2015; Hu et al., 2014; Jamiyansharav et al., 2011; Ma et al., 2015; Soares et al., 2007; Sun et al., 2010), tendo como vantagens a exigência de poucos parâmetros, cálculos básicos e conceito físico simples (Biudes et al., 2015). Para o cálculo da razão de Bowen (β), o método fornece a relação de proporcionalidade no balanço energético entre os fluxos de LE e H, utilizando medições dos gradientes de temperatura e de pressão de vapor d'água em dois níveis acima da superfície (Biudes et al., 2015; Hu et al., 2014; Perez et al., 1999).

O componente LE representa a transferência de vapor d'água, e pode ser amplamente examinado em estudos hidrológicos, agronômicos, agrometeorológicos e de modelagem atmosférica, sendo um dos processos de maior importância nas trocas de energia e água na interface solo-planta-atmosfera (Souza et al., 2015; Sun et al., 2010; Wolf et al., 2011), em que os ciclos energéticos, hídricos e de carbono estão intimamente vinculados ao processo de evapotranspiração (Sun et al., 2010).

Insuficientes estudos investigaram os padrões e as variações diurnas e sazonais dos fluxos de H e LE para a vegetação de caatinga no semiárido brasileiro,

com destaque para os trabalhos de Silva et al. (2017); Souza et al., (2015) e Teixeira et al. (2008), e de Gondim et al. (2015) para áreas de pastagens. Ademais, trabalhos relacionados aos efeitos da mudança do uso da terra sobre o balanço de energia nessa região são praticamente escassos, motivando a realização de maiores estudos até que se possa incluir a vasta diversidade fisionômica do Domínio de Caatinga.

Ante ao exposto, objetivou-se com a presente pesquisa comparar os padrões e as magnitudes das variáveis micrometeorológicas, da partição de energia em fluxos de calor sensível e latente e da evapotranspiração, em áreas com vegetação de caatinga e outra desmatada, numa região semiárida do estado de Pernambuco, durante os anos de 2014 a 2017.

2. Material e Métodos

2.1. Descrição dos sítios experimentais

O local de estudo está situado na área do Sistema CAAM-DES-AT (Vegetação CAatinga, Plantas CAM e áreas em DESertificação em interação com a ATmosfera), localizada na Fazenda Algodões, divisa entre os municípios de Floresta e Serra Talhada, na região central do Estado de Pernambuco, nordeste do Brasil. O clima local é classificado como Semiárido (Alvares et al., 2013), com temperatura média anual de 26,1°C, e precipitação pluviométrica em torno de 489,3 mm ano⁻¹, com chuvas sazonais e estação seca que se estende de junho a setembro, em que 75% das chuvas são concentradas nos meses de dezembro e abril (Tabela 1). O solo é classificado como Luvisolo Crômico (nomenclatura na nova classificação dos solos) (Embrapa, 2006).

Nesta área de estudo, dois sítios experimentais foram avaliados: floresta com vegetação nativa de caatinga (CAA) e área com modificações antrópicas, denominada de desmatada adjacente (ADA) (Tabela 2). A área de caatinga

experimentou, no passado, alguns ciclos de extração seletiva de madeira empregada na confecção de cercas e currais e para o consumo doméstico. Apresenta paisagem com ampla diversidade de espécies, que compõem o extrato herbáceo, arbustivo e arbóreo. Dentre estas, há predominância de espécies arbustivo-arbóreas de pequeno porte, frequentemente com altura inferior a 7 m, como a *Cenostigma pyramidale* (Tul.) Gagnon & Lewis, *Aspidosperma pyriformium* Mart., *Jatropha mollissima* (Pohl) Baill, *Commiphora leptophloeos* (Mart.) Gillett, e *Spondias tuberosa* Arruda., sendo a vegetação esparsa e com predominância de espécies endêmicas e decíduas.

O sítio da área desmatada adjacente era composto, originalmente, por floresta nativa com vegetação de caatinga, a qual foi desmatada e, posteriormente, utilizada para fins agrícolas com o cultivo de *Gossypium hirsutum* L., *Allium cepa*, *Phaseolus vulgaris*, *Zea mays* e, por último, *Urochloa mosambicensis* (Hanck). No entanto, a área não tem sido cultivada desde 2005. Atualmente, ela é caracterizada pela presença de gramíneas rasteiras e arbustos de até 1,0 m, e pelo solo exposto. A distância entre os sítios experimentais é de 1,5 km. Em ambas as áreas, ainda são realizadas atividades de pecuária extensiva, com pastoreio de animais domésticos (bovinos, caprinos, ovinos e equinos) (informação pessoal).

2.2. Delimitação de períodos chuvosos e secos

Para definir os períodos chuvosos e secos para a área de estudo, foi criada a delimitação do regime hídrico em subperíodos com base no número de eventos e lâminas de precipitação acumulada, semelhante à metodologia descrita por Wolf et al. (2011). Consideraram-se os seguintes períodos: chuvoso, seco e transições. Como critério de seleção, foi estabelecido que, se a soma dos valores de precipitação dos 30 dias que antecedem e sucedem o dia em análise for inferior a 20 mm e forem registrados menos que 5 dias chuvosos, tem-se um período seco; enquanto que, se

neste mesmo intervalo de tempo, forem registrados valores de chuva superiores a 20 mm em 5 ou mais dias, o período é dito chuvoso. Se nenhum desses critérios se aplica, o período é dito em transição: seco-chuvoso, caso suceda um período seco, ou chuvoso-seco, se ocorrer após um período chuvoso.

2.3. Instrumentação micrometeorológica

A aquisição de dados micrometeorológicos foi feita a partir de sensores eletrônicos, instalados em torres de ferro galvanizado. A torre localizada na CAA tem 8 m de altura, sendo composta pelos seguintes instrumentos: um saldo radiômetro (NR-Lite, Inc, Logan, Utah, USA) para medição do saldo de radiação; um piranômetro (SQ300, Apogee/Campbell Scientific, Inc, Logan, Utah, USA) para a radiação solar global; um sensor quântico (LI-190SB, Li-cor, Nebraska, USA) para medição da radiação fotossinteticamente ativa (RFA); e um pluviômetro automático (CS700-L, Hydrological Services, Liverpool, Austrália) para registro da precipitação pluviométrica; todos instalados no topo da torre. Dois sensores quânticos lineares (Q321, Apogee/Campbell Scientific, Inc, Logan, Utah, USA) instalados em duas posições abaixo do dossel vegetativo, sobre a superfície do solo, para medição da RFA. Três psicrômetros aspirados confeccionados com PVC e termopares do tipo T (cobre-constantan) utilizados para medições da temperatura do bulbo seco e bulbo úmido, em três níveis acima da vegetação, sendo o primeiro a 0,50 m acima do dossel vegetativo (aproximadamente 4,5 m de altura), o segundo a 1 m acima do primeiro e o terceiro a 1 m acima do segundo. Dois fluxímetros (HFT3-REBS, Campbell Scientific, Inc, Logan, Utah, USA), colocados à profundidade de 0,05 m, para medir o fluxo de calor no solo.

Na ADA, a torre tem 3 metros de altura, sendo o saldo radiômetro, o piranômetro, o sensor quântico e o pluviômetro instalados no topo da torre. Nesta

área, foram acomodados dois conjuntos psicrométricos, sendo o primeiro localizado a 0,50 m acima da superfície do solo e distanciado a 1 m do segundo conjunto. Além disso, um fluxímetro foi instalado a 0,05 m abaixo da superfície do solo. Todos os sensores e equipamentos são do mesmo modelo e, portanto, oriundos dos fabricantes já citados para a área de caatinga.

A aquisição dos dados foi realizada por meio de um datalogger modelo CR10X (Campbell Scientific Inc, Logan, Utah, USA), programado para obter leituras em intervalos de 1 min e armazenar os dados a cada 10 min. As torres da CAA e ADA apresentam razão altura:bordadura na direção predominante do vento superior a 1:100 e, 1:60, respectivamente.

2.4. Balanço de energia em área desmatada e com vegetação de caatinga

O monitoramento micrometeorológico dos sítios experimentais foi realizado por meio da quantificação da partição do saldo de radiação (R_N) em fluxos de calor sensível (H), de calor latente (LE) e de calor no solo (G), nas escalas diária, mensal e sazonal, compreendendo os períodos chuvoso e seco da região.

Os efeitos de advecção e as variações no armazenamento de energia e na energia utilizada pelo processo de fotossíntese (~3%) foram negligenciados (Jamiyansharav et al., 2011; Sun et al., 2010). Logo, baseado no princípio da conservação de energia, a sua partição na superfície foi estimada por meio da equação simplificada (Eq. (1)) (Hu et al., 2014; Perez et al., 1999):

$$R_N = LE + H + G \text{ (W m}^{-2}\text{)} \quad (1)$$

As estimativas de LE, H e da evapotranspiração (ET) foram realizadas por meio do método do balanço de energia pela razão de Bowen (BERB), proposto por Perez et al. (1999). Tais estimativas foram obtidas em intervalos médios de 10 min, conforme as Eqs. (2) e (3), nesta ordem:

$$LE = \frac{R_n - G}{1 + \beta} \quad (2)$$

$$H = \frac{\beta(R_n - G)}{1 + \beta} \quad (3)$$

em que, β é razão de Bowen (adimensional).

No método BERB, assume-se $k_h = k_v$ (coeficientes de transferência turbulenta de calor sensível e latente, respectivamente) (Verma et al., 1978). Assim, garantindo que as medições de temperatura e de pressão de vapor d'água, obtidas em dois níveis acima da superfície, estejam dentro da camada de fluxo constante, a razão de Bowen é calculada pela Eq. (4) (Biudes et al., 2015; Hu et al., 2014):

$$\beta = \frac{H}{\lambda E} = \gamma \frac{\Delta T}{\Delta e} = \left(\frac{C_p}{\lambda 0,622} \right) \left(\frac{\Delta T}{\Delta e} \right) \quad (4)$$

em que, γ é a constante psicrométrica ($\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$); ΔT e Δe são respectivamente as diferenças de temperatura ($^\circ\text{C}$) e de pressão de vapor d'água no ar (kPa), em dois níveis de medição acima da superfície; C_p é o calor específico à pressão constante ($1.004,67 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$), e 0,622 representa a proporção de pesos moleculares da água e do ar seco. λ é o calor latente de vaporização, dado pela Eq. (5) :

$$\lambda = 1,9198 \cdot 10^6 \left[\frac{T + 273,16}{(T + 273,16) - 33,91} \right]^2 \quad (5)$$

em que, T é temperatura média do ar. Por fim, a evapotranspiração média (mm, a cada 10 min) em cada sítio foi obtida pela Eq. (6):

$$ET = \frac{LE}{\lambda} \quad (6)$$

Os valores diários de evapotranspiração foram obtidos a partir da soma de 144 dados nos intervalos médios de 10 minutos.

Os critérios descritos por Perez et al. (1999) foram utilizados para aceitar ou rejeitar os dados obtidos pelo método BERB. A partir dos dados de β , considerados consistentes, foram estimados os valores de LE e H para o período de energia disponível positiva ($R_N - G > 0$).

Foi delimitado o percentual de 50% para que os dados fossem considerados como consistentes no período diurno (dias “válidos”), permitindo assim, a integração dos valores horários dos fluxos. Lacunas com dados inconsistentes de LE e H, devido a falhas de sensores e, ou, rejeição pelo método de Perez et al. (1999), foram preenchidas por cálculos de médias ou interpolação dos seus vizinhos mais próximos, em condições meteorológicas semelhantes no intervalo de oito dias. Nos casos do nascer e pôr do sol, foi assumido que os fluxos de LE e H são iguais a zero, logo no primeiro valor negativo de ($R_N - G$). O período de coleta de dados foi de 01 de novembro de 2014 a 31 de outubro de 2017 (1.102 dias ou 36 meses).

2.5. Medições auxiliares

Medições auxiliares consistiram em umidade volumétrica do solo (θ_v) e em índice de cobertura vegetal (ICV): O monitoramento do θ_v no perfil do solo, a cada 0,10 m até a profundidade de 0,60 m, foi realizado semanalmente por meio da sonda capacitiva (Diviner 2000®, Sentek Pty Ltda, Austrália), instalada periodicamente em dez tubos de acesso no solo (cinco em cada sítio experimental) situados em torno das torres micrometeorológicas (distâncias variando de 3 a 20 metros).

Os dados de ICV foram coletados mensalmente, a partir de medições de radiação fotossinteticamente ativa (RFA) realizadas por um ceptômetro (AccuPAR, modelo LP-80, Decagon Devices Inc., Pulman, EUA). Para cada leitura, foi obtida uma medição de RFA acima do dossel, em áreas abertas e distante de impedimentos, enquanto as medições de RFA transmitida foram realizadas em quatro diferentes

direções abaixo do dossel vegetativo (pontos cardeais: norte, leste, sul e oeste). Para tal, na CAA foram realizadas 43 leituras em indivíduos de espécies predominantes na área, enquanto na ADA foram realizadas em três locais fixos, totalizando 215 e 15 leituras em cada campanha. As medidas foram realizadas entre 11:00 e 13:00 horas, em condições atmosféricas de céu claro para evitar efeitos de nebulosidade.

2.6. Análises estatísticas

O programa Statistical Software and Data Analysis in Excel, XLSTAT, versão 2017 (Addinsoft, Paris, França, www.xlstat.com) foi utilizado para as análises. Os dados experimentais foram avaliados em escala de tempo diária, mensal e sazonal, inicialmente por meio de estatística descritiva, com a determinação dos valores médios, desvios-padrões, intervalo de confiança e coeficiente de variação. Verificou-se a distribuição normal dos dados das variáveis micrometeorológicas, componentes do balanço de energia, partição da energia disponível e da evapotranspiração real, de ambos os sítios experimentais, de acordo com os testes de Shapiro-Wilk, Anderson-Darling, Lilliefors e Jarque-Bera. Devido à ausência de normalidade, foi adotada a estatística não paramétrica. Assim, o teste de Kruskal-Wallis (comparação de k amostras) e o teste de Mann-Whitney (comparação entre duas amostras) foram aplicados ($P < 0,05$) para comparar os valores médios entre os períodos e nas diferentes superfícies, respectivamente, considerando-se que os dados são independentes.

3. Resultados

3.1. Variáveis ambientais e delimitação dos períodos

O comportamento da radiação solar global (R_G), radiação fotossinteticamente ativa e da precipitação pluviométrica (Prec.) durante os 36 meses (1.102 dias) nos

sítios experimentais compostos por vegetação de caatinga e área desmatada adjacente é apresentado na Fig. 1. A média anual de R_G é de $18,5 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$, com maiores magnitudes ocorrendo entre os meses de setembro e dezembro ($\sim 21,2 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$) e os menores de maio a julho ($\sim 14,9 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$). A RFA exibiu comportamento semelhante a R_G , representando cerca de 47% desta, com média de $8,8 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$, e mínimos e máximos oscilando entre 4,8 e $11,2 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$, nesta ordem (Fig. 1). O padrão e as magnitudes destas variáveis seguem aqueles relatados por Silva (2004) para outros municípios do Semiárido brasileiro.

Durante os 1.102 dias avaliados, a lâmina de precipitação pluviométrica acumulada foi de 1.240 e 1.151 mm, para o sítio CAA e ADA, respectivamente (Fig. 1). Em 2015, choveu na CAA e ADA o equivalente a 507 e 465 mm, com percentual de 82% da chuva ocorrida entre os meses de março a julho. Para 2016, registraram-se 319 mm em ambos os sítios, com 80% deste total ocorrido entre janeiro e março. Ainda neste ano, foi registrado o maior volume mensal de chuva, constatado em janeiro ($\sim 155 \text{ mm}$). Já em 2017, foram medidos 414 e 367 mm na CAA e ADA respectivamente, com chuvas de maiores volumes estendendo-se até julho deste ano, correspondente a 89 e 87% da chuva total. Nota-se que, para os anos de 2015 e 2017, a chuva nos sítios experimentais estendeu-se por seis meses consecutivos, de janeiro a julho (Fig. 1).

A distribuição do regime hídrico entre os anos de 2014 e 2017 resultou na delimitação de doze (12) subperíodos distintos (Fig. 2). Confirmando a abordagem anterior, para os anos de 2015 e 2017, o subperíodo chuvoso terminou no mês de julho (subperíodos 2 e 10) e os subperíodos chuvosos-secos em agosto e setembro, nesta ordem. Em 2016, porém, o término do subperíodo chuvoso ocorreu em fevereiro (subperíodo 6), e o subperíodo subsequente (chuvoso-seco, 7) finalizou no

mês de julho (Fig. 2). A sequência dos subperíodos é: chuvoso; chuvoso-seco, seco, seco-chuvoso, chuvoso, e assim sucessivamente.

3.2. Padrões sazonais e espaciais das condições micrometeorológicas

As variações das condições micrometeorológicas nos doze subperíodos em cada superfície isoladamente (Tabela 3) indicaram que, tanto para a CAA como para a ADA, a temperatura média do ar (T_M) foi estatisticamente superior nos subperíodos secos (4; 8 e 12) e transição seco-chuvoso (1; 5 e 9) ($P < 0,05$), com valores médios superiores a 28 °C, enquanto nos demais subperíodos, as médias estiveram em torno de 25 °C (Tabela 3). Maiores médias significativas ($P < 0,05$) também foram observadas para a temperatura máxima (T_X) e mínima (T_N), com valores superiores a 36 °C e entre 21 e 23 °C, respectivamente, nos períodos secos e suas transições.

Os menores valores de T_N (~18°C) foram registrados nos subperíodos de transição chuvoso-seco (3; 7 e 11), sendo estatisticamente inferiores às demais ($P < 0,05$), os quais correspondem aos meses de julho a agosto; fevereiro a julho e, julho a setembro, respectivamente. Estes resultados sugerem que pode haver associação dos baixos valores de T_N devido à transição da estação de outono e inverno (Tabela 3).

Contrariamente, valores significativamente superiores da umidade relativa do ar média, máxima e mínima (UR_M , UR_X , UR_N) foram observadas nos subperíodos chuvosos e chuvosos-secos (2; 3; 6; 7; 10 e 11) (Tabela 3). Para a UR_M , os valores foram superiores a 70% nestes subperíodos, enquanto a UR_X chegou a valores superiores a 97% no subperíodo 6 (chuvoso). O menor valor de UR_N foi de 50% e 52% para a CAA e ADA, respectivamente, com padrões semelhantes aos obtidos para UR_M e UR_X .

Os valores do déficit de pressão de vapor d'água médio (DPV_M), em ambas as superfícies, foram estatisticamente superiores nos subperíodos mais secos ($P < 0,05$), com valores entre 1,8 e 2,1 kPa; e menores nos subperíodos chuvosos (faixa de 0,8 a 1,1, kPa) (Tabela 3). Para os valores máximos (DPV_X), as médias foram superiores a 3 kPa na maioria dos períodos, com 3,97 kPa no subperíodo 9 na CAA e 4,25 kPa na ADA (subperíodo 1), ambos na delimitação seco-chuvoso, sendo estatisticamente superiores ($P < 0,05$) (Tabela 3).

A maior das médias do DPV_N (mínimo) foram obtidas a partir dos intervalos de 0,05 a 0,61 kPa, e de 0,05 a 0,65 kPa, na CAA e ADA, nesta ordem. Nos subperíodos 4; 5; 8; 9 e 12, classificados como seco e seco-chuvoso, as médias foram estatisticamente superiores aos demais, com valores de DPV_N maiores que 0,38 kPa. O menor valor significativamente inferior ($P < 0,05$) de DPV_N foi obtido no subperíodo 6 (chuvoso), igual a 0,05 kPa em ambas as superfícies, provavelmente devido a maior precipitação acumulada (139,7 mm) no subperíodo curto (07/01/2016 a 01/02/2016; ~1 mês) (Fig. 2).

De modo geral, os dois sítios apresentaram valores elevados dos dados micrometeorológicas durante a estação seca (Tabela 3).

Com base na comparação das variáveis micrometeorológicas, entre as superfícies dentro de um mesmo período, identificou-se que praticamente não houve diferenças estatísticas entre os sítios de CAA e ADA (Tabela 3). Os valores médios dos doze subperíodos para a T_M , T_X , T_N , UR_M , UR_X , UR_N , DPV_M , DPV_X , DPV_N , na CAA e ADA, foram respectivamente: 26,8, 34,0, e 20,6 (°C); 64,4, 89,8 e 39,4 (%); 1,44, 3,17 e 0,25 (kPa), e de 27,0; 34,6 e 20,4 (°C); 63,2, 89,1 e 39,68 (%); 1,46, 3,24 e 0,27 (kPa).

3.3. Balanço de energia e evapotranspiração em áreas de caatinga e desmatada

As tendências mensais das densidades dos fluxos de energia (LE - fluxo de calor latente, H - fluxo de calor sensível, G - fluxo de calor no solo e R_N - saldo de radiação) e umidade volumétrica do solo média no perfil de 0,0 a 0,6 m dos sítios CAA e ADA, são mostradas na Fig. 3. O saldo de radiação (R_N) na vegetação de caatinga ($\sim 10,2 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$) foi superior à área desmatada ($\sim 7,2 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$) (Fig. 3). O fluxo de calor do solo foi relativamente baixo ao longo dos meses de avaliação, com média de $-0,08$ e $0,20 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ para a CAA e ADA, respectivamente (Fig.3).

Obteve-se valores médios de LE superiores a H na superfície de CAA ($6,25$ e $5,1 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$, respectivamente), enquanto na ADA foi verificado o inverso ($H - 4,85 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$; $LE - 3,20 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$) (Fig. 3B). Foram observados aumentos de R_N e LE em meses com maior conteúdo de água no solo, enquanto aumentos em H e G em relação a R_N ocorreram em meses com menor umidade do solo (Fig. 3).

De modo geral, os totais sazonais dos fluxos de energia estiveram consistentes com os dados de umidade do solo (Fig. 3) e precipitação pluviométrica (Tabela 3). Para a densidade de fluxos diurnos de R_N , maiores valores foram obtidos nos subperíodos seco-chuvoso e seco (1 e 4) ($P < 0,05$) e um menor valor estatisticamente inferior no subperíodo 11 (chuvoso-seco), com valores de $\sim 14,6$ e $9,8 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ na CAA, e de $10,4$ e $7,8 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ na ADA, nesta ordem (Tabela 4).

Para os fluxos de LE, valores significativamente superiores ($P < 0,05$) ocorreram nos subperíodos chuvosos e chuvoso-seco (i.e. 6, 7, 9 e 10; $> 7,9 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$) e menores nos subperíodos secos (i.e. 4 e 8; $< 3,9 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$) para a CAA. A área desmatada adjacente (ADA) apresentou padrão semelhante, com o subperíodo 6 (chuvoso) estatisticamente superior ($7 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$) e os subperíodos 4, 5 e 8 (seco e transição) inferiores ($1,0$ a $2,1 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$), avaliados pelo teste de Kruskal-Wallis ($P < 0,05$).

Opostamente ao LE, em ambos os sítios, médias por subperíodos da densidade de fluxo de calor sensível (H) foram estaticamente superiores ($P < 0,05$) nos subperíodos secos, e inferiores naqueles classificados como chuvosos e transições, com valores oscilando entre 2,5 e 11,1 MJ m⁻² dia⁻¹ e; 2,0 a 6,9 MJ m⁻² dia⁻¹, para a vegetação de caatinga e área desmatada, nesta ordem (Tabela 4). De forma semelhante, o fluxo diurno de calor no solo (G) manteve elevadas médias nos subperíodos secos e suas transições (seco-chuvoso), e menores nos subperíodos chuvosos e suas transições (chuvoso-seco), diferindo significativamente ($P < 0,05$) (Tabela 4).

Entre as superfícies avaliadas, observou-se diferença significativa na densidade de fluxos diurnos de R_N, LE, H e G, segundo o teste de Mann-Whitney ($P < 0,05$), com maiores médias na paisagem composta por vegetação de caatinga e mínimas na área desmatada ($P < 0,05$), com exceção dos valores médios de G, que foi maior nesta última superfície ($P < 0,05$) (Tabela 4). Nota-se que, apenas nos subperíodos secos e, ou, chuvosos (i.e. subperíodos 4, 6, 10 e 12), as médias dos componentes do balanço de energia não se diferenciam entre as superfícies (Tabela 4).

Assim como observado para as oscilações dos fluxos de calor latente (evaporação e transpiração), os valores de evapotranspiração real (ET) oscilaram entre os meses e entre as superfícies (Fig. 4 e Tabela 5). Avaliando os fluxos diários (subscrito “d”) do saldo de radiação (R_{N(d)}) e evapotranspiração real (ET_(d)) entre os períodos e nas diferentes superfícies (CAA e ADA) (Tabela 5), verificaram-se as mesmas tendências obtidas para as demais variáveis (Tabelas 3 e 4), com maiores valores médios nos períodos chuvosos e chuvoso-secos, e menores nos secos e suas transições. Para o fluxo de calor no solo (G_(d)), comportamento inverso ao de R_N e ET foram observados.

Padrões semelhantes dos ciclos mensais de evapotranspiração entre as superfícies de CAA e ADA foram obtidas (Fig. 4A). A evapotranspiração na CAA e ADA foi igual a 2.415 e 2.166 mm, resultando em valores médios diários de 2,19 e 1,97 mm (Fig. 4), respectivamente. Percebe-se que os maiores valores de ET, em ambas as superfícies (Fig. 4A), respondem aos incrementos nos valores do Índice de Cobertura Vegetal (ICV) (Fig. 4B). Maiores taxas de ET foram observadas nos subperíodos chuvosos e chuvoso-seco ($P<0,05$), em ambos os sítios (Tabela 4). Taxas semelhantes entre as superfícies de CAA e ADA ocorreram nos subperíodos 4, 6 e 12 (seco e chuvoso), enquanto nos demais subperíodos a vegetação de caatinga manteve altas taxas de ET (Fig. 4A e Tabela 5).

Em termos da partição do balanço de energia, cerca de 48% do R_N recebido foi utilizado no LE, 44% para H e 9% para G no sítio experimental composto por vegetação de caatinga, enquanto na área desmatada, aproximadamente 34% de R_N foi utilizado para fluxos de LE, 50% para H e 16% para G. Assim, nos doze períodos avaliados, a partição G/R_N foi superior estatisticamente no sítio ADA ($P<0,05$), enquanto as partições LE/R_N e H/R_N não apresentaram diferenças entre as superfícies para os subperíodos secos e chuvosos, ao passo que, durante subperíodos de transição, LE/R_N e H/R_N foram significativamente superiores na CAA e ADA, nesta ordem (Tabela 6).

4. Discussões

4.1. Micrometeorologia e balanço de energia em área de caatinga e desmatada

Com base nos dados, observa-se que as tendências do regime hídrico local são responsáveis pelas oscilações sazonais dos componentes do balanço de energia, da energia disponível e suas partições, e da evapotranspiração para as superfícies avaliadas (Tabelas 3 a 6).

Os diferentes tipos de uso e cobertura do solo podem promover oscilações diárias, sazonais e anuais das variáveis meteorológicas, a exemplo da temperatura do ar e do solo, déficit de pressão de vapor d'água e umidade relativa do ar, as quais são expressas principalmente em termos de amplitudes e magnitudes de seus valores (Biudes et al., 2015; Hardwick et al., 2015).

Biudes et al. (2015) verificaram que os valores médios anuais da temperatura do ar de seis ecossistemas foram próximos, variando de 24 a 28°C. No entanto, as amplitudes térmicas para os sítios experimentais da bacia amazônica foram consideravelmente menores que aquelas dos ecossistemas cerrado e pantanal. O déficit de pressão de vapor d'água variou de 0,78 a 1,19 kPa, com oscilações sazonais opostas a observada para chuvas (maiores valores registrados na estação seca). Os picos do déficit de pressão de vapor d'água foram menores nos meses de julho a agosto nos ecossistemas mais ao norte (Floresta amazônica) e em setembro naqueles localizados mais ao sul. Nos ecossistemas amazônicos, a radiação solar global aumentou durante a estação seca, enquanto nos outros diminuiu.

Hardwick et al. (2015) constataram, em estudos com diferentes usos da terra (plantação de dendê, floresta explorada e floresta primária), que a floresta explorada e a plantação de dendezeiro obtiveram temperaturas máximas médias de 2,5 e 6,5°C maiores que na floresta primária, respectivamente. As variações dos valores máximos diários para a plantação de dendê, floresta explorada e floresta primária foram: umidade relativa do ar: 76, 92 e 94%; déficit de pressão de vapor d'água: 1,2; 0,3 e 0,2 kPa; e temperatura do solo: 27, 24 e 23,5°C. Além disso, maiores valores do desvio padrão das variáveis meteorológicas foram verificados em ambientes de vegetação com menores IAFs (plantação de dendê).

Já Jamiyansharav et al. (2011) verificaram que os valores sazonais das temperaturas média, máxima e mínima, em diferentes pastagens semiáridas, não se diferenciaram estatisticamente. No presente estudo, a remoção da vegetação de caatinga pelo processo de desmatamento não afetou as variáveis micrometeorológicas (Tabela 3). Valores de DPV_M para áreas com vegetação de caatinga estão em torno de 1,50 a 1,95 kPa (Souza et al., 2015; Teixeira et al., 2008), que estão próximos ao obtidos no presente estudo (1,45 kPa). No entanto, o balanço de energia foi alterado pela mudança do uso da terra.

4.3. Balanço de energia e evapotranspiração em áreas de caatinga e desmatada

Conforme verificado, a troca de energia superfície-atmosfera para o sítio composto por vegetação de caatinga foi dominada pelo fluxo de calor latente (LE), com valores de evapotranspiração e Índice de Cobertura Vegetal (ICV) menores na área desmatada (Fig. 4).

Bäse et al. (2012) verificaram que a ET em plantações de soja é menor que na floresta, enquanto a proporção de precipitação evaporada é maior na soja. Além disso, o aumento do albedo e da temperatura do ar próximo à superfície, oriundos da conversão de floresta para a produção de soja, pode ter sido responsável pela diminuição da ET e precipitação. Sampaio et al. (2007) demonstraram a redução de 18% da evapotranspiração quando houve conversão de 50% das áreas de floresta em plantações de soja na Amazônia oriental.

Hardwick et al. (2015) citam que o IAF desempenha importante controle microclimático em dosséis de ecossistemas florestais. Logo, valores de IAF reduzidos permitem maior passagem da radiação solar, enquanto copas com maiores IAF absorvem boa parte da radiação incidente. Isso faz com que, na primeira condição, a intensidade e quantidade de radiação que atinge a superfície do solo

sejam dependentes da cobertura de nuvens e, no segundo caso, esta interdependência não exista, pois a radiação que irá atingir o solo será semelhante tanto em dias nublados quanto em dias ensolarados.

Aumentos da partição de energia para fluxos de H e G, durante meses com baixa precipitação, menor conteúdo de água no solo e cobertura vegetal reduzida, ocorrem devido à copa das árvores serem mais esparsas e com menor cobertura, permitindo maior incidência de radiação solar na superfície do solo. Assim, ocorre o aumento da temperatura do ar, que sobre superfícies desmatadas pode facilitar os processos convectivos e promover a remoção do ar úmido (Hardwick et al., 2015; Jamiyansharav et al., 2011).

A condutividade térmica do solo é maior em condições de elevada disponibilidade hídrica, resultando em valores de G maiores durante a estação úmida. Porém, devido ao maior crescimento e cobertura vegetal nessa estação, há sombreamento da superfície do solo, limitando incrementos da condutividade térmica do solo (Rodrigues et al., 2013). Para locais de copas com maiores IAFs, há maior absorção de momentum, permitindo menor mistura vertical do ar no interior do dossel e condições mais amenas próximas à superfície do solo.

Na literatura internacional, verifica-se que a ocorrência de períodos secos intra-anual e, ou, interanual promovem variações na partição de energia, com alterações nos fluxos de LE e H mais significativas e pronunciadas (Biudes et al., 2015; Deng et al., 2015; Panday et al., 2015; Salazar et al., 2015; Sun et al., 2010). Esta informação é extremamente importante diante de cenários de avanço da exploração agrícola, integradas a mudanças no uso e cobertura da terra, principalmente porque as previsões climáticas já indicam a redução no valor total de precipitação. Além disso, devem ocorrer chuvas de maior intensidade e variabilidade,

associadas a estações secas mais susceptíveis a aumentos em termos de duração e intensidade (Costa and Pires, 2010; Panday et al., 2015; Wolf et al., 2011).

O processo de evapotranspiração é responsável por acoplar os ciclos de energia, água e carbono nos ecossistemas (Sun et al., 2010). A maior evapotranspiração obtida no sítio CAA (2,56 mm, contra 1,26 mm na ADA) é reflexo dos incrementos dos valores de LE, bem como da maior energia disponível e a presença de vegetação neste sítio. Jamiyansharav et al. (2011) observaram que a biomassa verde aumentou nas estações úmidas, com incrementos do fluxo de calor latente e redução do fluxo de calor sensível.

A cobertura por florestas tropicais está desaparecendo devido ao desmatamento e, por isso, atualmente prevalecem ecossistemas manejados, como implantação de culturas agrícolas e pastagens, as quais alteram os padrões e a variabilidade da evapotranspiração (Wolf et al., 2011). Estes autores analisaram dois sítios experimentais: área de refloresta com espécies arbóreas nativas e uma área de pastagem. Quantificou-se uma evapotranspiração anual de $1.034 \text{ mm ano}^{-1}$ na área de pastagem, com uma ET média diária de $2,6 \text{ mm d}^{-1}$. Já na floresta, a ET foi de $1.114 \text{ mm ano}^{-1}$, com média diária igual a $3,0 \text{ mm d}^{-1}$, indicando que a ET na pastagem foi ligeiramente inferior quando comparada à floresta, sendo as variações sazonais de ET mais identificadas na pastagem.

Deng et al. (2015) constataram que a evapotranspiração da bacia do rio Heine foi controlada principalmente pela disponibilidade de energia, corroborando com Wolf et al. (2011) em que a radiação solar foi o principal controlador ambiental de ET, seguido da umidade do solo, em ambos os ecossistemas estudados por estes autores (área de refloresta e pastagem). Wolf et al. (2011) notaram que o saldo de radiação (R_N) na pastagem explica 77% da variação da ET, sendo o conteúdo de água

do solo a 0,05 m o principal erro residual (3,5%), seguido da temperatura do solo (1,5%) e da velocidade do vento (0,9%).

Em termos de variações entre subperíodos, verificou-se que, durante os subperíodos úmidos e secos, a ET em ambos os sítios CAA e ADA não diferem entre si e que, em ambas as superfícies, a ET foi superior nos subperíodos chuvosos e de transições (Tabela 5). A redução da evapotranspiração na estação seca é fortemente influenciada pela diminuição da transpiração das plantas. Além do mais, os padrões de alterações da ET seguem o comportamento das oscilações verificadas para o fluxo de calor latente (Salazar et al., 2016).

Os resultados desta pesquisa também são corroborados por Wolf et al. (2011), os quais destacam que menores diferenças foram obtidas no período úmido entre os sítios, com percentagens de ET iguais a 27% e 28% do total precipitado, para pastagem e floresta, respectivamente. Nos meses de máximas e mínimas ET, a pastagem sempre apresentou valores inferiores quando comparada à floresta. Em ambos os ecossistemas, durante a transição dos períodos úmidos para secos, quando não houve limitação de radiação e umidade, a ET foi superior, ao passo que maiores diferenças nos valores médios da ET entre os ecossistemas ocorreram durante a estação seca.

Sun et al. (2010) avaliaram a evapotranspiração em dois sítios experimentais de *Pinus taeda* com diferentes idades e manejos: plantas jovens e plantio rotacional. Os autores encontraram valores de ET diária de 2,35 mm e 3,0 mm, respectivamente para plantas jovens e plantio rotacional, com maiores diferenças nos períodos secos. Estes autores ainda destacam que as menores taxas de ET observadas em plantio rotacional estão relacionadas com a menor interceptação de água pelo dossel, enquanto em plantios jovens, as causas de redução da ET foram atribuídas a menor

transpiração das plantas, devido à presença de raízes rasas e com menor condutividade elétrica.

A diferença relativa na quantidade de R_N particionada em LE e H foi parcialmente controlada pelo regime hídrico local e pela cobertura vegetal. Substancialmente, mais R_N foi dividido em LE na superfície de caatinga (48%), fato este que pode estar relacionado à distribuição das chuvas ocorridas nos anos de 2015 e 2017, em que o subperíodo chuvoso se estendeu até o mês de julho (Fig. 1 e 2). Além disso, o pico de chuvas ocorridas em janeiro de 2016 (~155 mm), associadas aos maiores valores de umidade do solo (Fig. 3A), permitiram que a vegetação de caatinga mantivesse maior ICV durante boa parte do período experimental, elevando a partição média LE/ R_N .

De forma semelhante, as maiores proporções de R_N , divididas em H e G na ADA, estão relacionadas à maior exposição da superfície do solo, já que a cobertura vegetal alterna-se entre superfície sem vegetação e composta por espécies herbáceas, apenas após eventos de chuva. Assim, em superfícies desmatadas, a energia disponível é utilizada inicialmente para o aquecimento do ar e do solo, e apenas o restante disponível é destinado aos processos de evaporação e transpiração (Hardwick et al., 2015; Jamiyansharav et al., 2011).

Para outras áreas de vegetação caatinga, valores da partição do R_N foram superiores aos obtidos neste estudo. Souza et al. (2015) encontraram partição H/ R_N em média de 77%, oscilando em torno de 63%, nos meses de maior disponibilidade hídrica e 89% naqueles mais secos do ano, ao passo que, maiores partições de LE/ R_N foram obtidas em dias chuvosos (60%). No entanto, o estudo conduzido por estes autores foi em um ano com condições de seca intensa (92 mm ano⁻¹).

Teixeira et al. (2008) obtiveram valores da relação LE/R_N e H/R_N iguais a 33% e 53%, respectivamente. Silva et al. (2017) observaram maiores relações H/R_N durante os períodos secos para áreas de pastagens (58%) e menores em vegetação de caatinga (43%), e para a fração LE/R_N , sendo que os percentuais foram de 11 e 23%, nesta ordem. Nos períodos de maior disponibilidade hídrica, a proporção H/R_N foi de 37% na pastagem e 33% na caatinga, enquanto para LE/R_N os percentuais foram de 21% e 38%, respectivamente. Vale salientar que estes autores utilizaram o método dos vórtices turbulentos para medição dos fluxos LE e H , em que, diferentemente do método da razão de Bowen, não há forçamento do fechamento do balanço de energia, podendo assim ser justificados as menores relações de LE/R_N .

5. Conclusões

A remoção da vegetação de caatinga alterou as características da superfície, reduzindo a energia disponível, com tendência de maiores valores particionados para os fluxos de calor sensível e do solo. Neste estudo, a evapotranspiração em área desmatada foi 10% inferior à área com vegetação de caatinga.

Agradecimentos

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Pernambuco (FACEPE - APQ-1159-1.07/14) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq - n.º. 475279/2010-7 e n.º. 476372/2012-7) pelos auxílios financeiros, e à CAPES pela bolsa de estudo do primeiro autor.

Referências

Alvares, C.A., Stape, J.L., Sentelhas, P.C., Gonçalves, J.L.M., Sparovek, G., 2013.

Köppen's climate classification map for Brazil. Meteorol. Zeitschrift 22, 711–

728.

- Bäse, F., Elsenbeer, H., Neill, C., Krusche, A. V., 2012. Differences in throughfall and net precipitation between soybean and transitional tropical forest in the southern Amazon, Brazil. *Agric. Ecosyst. Environ.* 159, 19–28. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2012.06.013>
- Beltrán-Przekurat, A., Pielke, R.A., Eastman, J.L., Coughenour, M.B., 2012. Modelling the effects of land-use/land-cover changes on the near-surface atmosphere in southern South America. *Int. J. Climatol.* 32, 1206–1225. <https://doi.org/10.1002/joc.2346>
- Biudes, M.S., Vourlitis, G.L., Machado, N.G., de Arruda, P.H.Z., Neves, G.A.R., de Almeida Lobo, F., Neale, C.M.U., de Souza Nogueira, J., 2015. Patterns of energy exchange for tropical ecosystems across a climate gradient in Mato Grosso, Brazil. *Agric. For. Meteorol.* 202, 112–124. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2014.12.008>
- Costa, M.H., Pires, G.F., 2010. Effects of Amazon and Central Brazil deforestation scenarios on the duration of the dry season in the arc of deforestation. *Int. J. Climatol.* 30, 1970–1979. <https://doi.org/10.1002/joc.2048>
- Deng, X., Shi, Q., Zhang, Q., Shi, C., Yin, F., 2015. Impacts of land use and land cover changes on surface energy and water balance in the Heihe River Basin of China, 2000–2010. *Phys. Chem. Earth, Parts A/B/C* 79–82, 2–10. <https://doi.org/10.1016/j.pce.2015.01.002>
- Embrapa, 2006. Sistema brasileiro de classificação de solos. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, Rio de Janeiro, RJ.
- Gondim, P.S. de S., Lima, J.R. de S., Antonino, A.C. de, Hammecker, C., Silva, R.A.B. da, Gomes, C.A., 2015. Environmental control on water vapour and

energy exchanges over grasslands in semiarid region of Brazil em pastagens na região semiárida brasileira. *Rev. Bras. Eng. Agrícola e Ambient.* 19, 3–8. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v19n1p3-8>

- Hardwick, S.R., Toumi, R., Pfeifer, M., Turner, E.C., Nilus, R., Ewers, R.M., 2015. The relationship between leaf area index and microclimate in tropical forest and oil palm plantation: Forest disturbance drives changes in microclimate. *Agric. For. Meteorol.* 201, 187–195. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2014.11.010>
- Hu, S., Zhao, C., Li, J., Wang, F., Chen, Y., 2014. Discussion and reassessment of the method used for accepting or rejecting data observed by a Bowen ratio system. *Hydrol. Process.* 28, 4506–4510. <https://doi.org/10.1002/hyp.9962>
- Jamiyansharav, K., Ojima, D., Pielke, R.A., Parton, W., Morgan, J., Beltrán-Przekurat, A., LeCain, D., Smith, D., 2011. Seasonal and interannual variability in surface energy partitioning and vegetation cover with grazing at shortgrass steppe. *J. Arid Environ.* 75, 360–370. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2010.11.008>
- Ma, N., Zhang, Y., Guo, Y., Gao, H., Zhang, H., Wang, Y., 2015. Environmental and biophysical controls on the evapotranspiration over the highest alpine steppe. *J. Hydrol.* 529, 980–992. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.09.013>
- Panday, P.K., Coe, M.T., Macedo, M.N., Lefebvre, P., Castanho, A.D. de A., 2015. Deforestation offsets water balance changes due to climate variability in the Xingu River in eastern Amazonia. *J. Hydrol.* 523, 822–829. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.02.018>
- Perez, P.J., Castellvi, F., Ibañez, M., Rosell, J.I., 1999. Assessment of reliability of Bowen ratio method for partitioning fluxes. *Agric. For. Meteorol.* 97, 141–150. [https://doi.org/10.1016/S0168-1923\(99\)00080-5](https://doi.org/10.1016/S0168-1923(99)00080-5)

- Portillo-Quintero, C.A., Sánchez-Azofeifa, G.A., 2010. Extent and conservation of tropical dry forests in the Americas. *Biol. Conserv.* 143, 144–155. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2009.09.020>
- Rodrigues, T.R., Paulo, S.R. de, Novais, J.W.Z., Curado, L.F. a., Nogueira, J.S., Oliveira, R.G. de, Lobo, F.D. a., Vourlitis, G.L., 2013. Temporal Patterns of Energy Balance for a Brazilian Tropical Savanna under Contrasting Seasonal Conditions. *Int. J. Atmos. Sci.* 2013, 1–9. <https://doi.org/10.1155/2013/326010>
- Salazar, A., Baldi, G., Hirota, M., Syktus, J., McAlpine, C., 2015. Land use and land cover change impacts on the regional climate of non-Amazonian South America: A review. *Glob. Planet. Change* 128, 103–119. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2015.02.009>
- Salazar, A., Katzfey, J., Thatcher, M., Syktus, J., Wong, K., McAlpine, C., 2016. Deforestation changes land-atmosphere interactions across South American biomes. *Glob. Planet. Change* 139, 97–108. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2016.01.004>
- Sampaio, G., Nobre, C., Costa, M.H., Satyamurty, P., Soares-Filho, B.S., Manoel Cardoso, 2007. Regional climate change over eastern Amazonia caused by pasture and soybean cropland expansion. *Geophys. Res. Lett.* 34, L17709. <https://doi.org/10.1029/2007GL030612>, 2007
- Schulz, K., Voigt, K., Beusch, C., Almeida-Cortez, J.S., Kowarik, I., Walz, A., Cierjacks, A., 2016. Grazing deteriorates the soil carbon stocks of Caatinga forest ecosystems in Brazil. *For. Ecol. Manage.* 367, 62–70. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2016.02.011>
- Silva, P.F.D., Lima, J.R.D.S., Antonino, A.C.D., Souza, R., de Souza, E.S., Silva, J.R.I., Alves, E.M., 2017. Seasonal patterns of carbon dioxide, water and energy

- fluxes over the Caatinga and grassland in the semi-arid region of Brazil. *J. Arid Environ.* 147, 71–82. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2017.09.003>
- Silva, V. de P.R. da, 2004. On climate variability in Northeast of Brazil. *J. Arid Environ.* 58, 575–596. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2003.12.002>
- Soares, J.M., Azevedo, P.V. de, Barbosa, B., Silva, D., 2007. Bowen ratio-energy balance associated errors in vineyards under dripping irrigation. *Rev. Bras. Meteorol.* 22, 233–240.
- Souza, L.S.B. de, Moura, M.S.B. de, Sedyama, G.C., Silva, T.G.F. da, 2015. Balanço de energia e controle biofísico da evapotranspiração na Caatinga em condições de seca intensa. *Pesqui. Agropecuária Bras.* 50, 627–636. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2015000800001>
- Sun, G., Noormets, A., Gavazzi, M.J., McNulty, S.G., Chen, J., Domec, J.C., King, J.S., Amatya, D.M., Skaggs, R.W., 2010. Energy and water balance of two contrasting loblolly pine plantations on the lower coastal plain of North Carolina, USA. *For. Ecol. Manage.* 259, 1299–1310. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2009.09.016>
- Teixeira, A.H. de C., Bastiaanssen, W.G.M., Ahmad, M.D., Moura, M.S.B., Bos, M.G., 2008. Analysis of energy fluxes and vegetation-atmosphere parameters in irrigated and natural ecosystems of semi-arid Brazil. *J. Hydrol.* 362, 110–127. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2008.08.011>
- Verma, S.B., Rosenberg, N.J., Blad, B.L., 1978. Turbulent exchange coefficients for sensible heat and water vapor under advective conditions. *J. Appl. Meteorol.* [https://doi.org/10.1175/1520-0450\(1978\)017<0330:TECFSH>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0450(1978)017<0330:TECFSH>2.0.CO;2)
- Wolf, S., Eugster, W., Majorek, S., Buchmann, N., 2011. Afforestation of Tropical Pasture Only Marginally Affects Ecosystem-Scale Evapotranspiration.

Tabela 1

Série histórica da área de estudo do Sistema CAAM-DES-AT, situada no Eixo Norte-Sul da região central do Estado de Pernambuco, Sertão Central do Brasil.

Mês	R _G MJ m ² dia ⁻¹	T _M °C	T _X °C	T _N °C	UR %	u m s ⁻¹	Prec. mm	ET _o mm
Janeiro	23,4	27,4	34,7	21,7	59,9	2,0	66,1	182,5
Fevereiro	23,6	26,7	33,9	21,5	63,8	1,9	79,4	159,8
Março	23,2	26,5	33,6	21,4	68,5	1,9	104,3	169,4
Abril	21,5	26,0	32,8	21,0	70,4	1,9	66,7	150,2
Mai	18,7	25,0	31,8	20,2	70,4	2,0	37,2	137,8
Junho	16,9	23,8	30,7	18,9	70,1	2,4	19,9	124,7
Julho	17,9	23,3	30,4	18,1	69,0	2,5	16,6	133,5
Agosto	21,8	24,1	31,7	18,1	61,1	2,7	7,0	167,0

Setembro	23,8	25,9	33,7	19,3	54,1	2,9	7,6	188,2
Outubro	25,5	27,6	35,3	20,8	50,3	2,7	12,1	211,9
Novembro	25,7	28,3	36,0	21,8	50,8	2,4	22,6	203,7
Dezembro	24,1	28,0	35,2	22,0	54,2	2,1	49,8	194,3
Ano	22,2	26,1	33,3	20,4	61,9	2,3	489,3	2.023,1

R_G - radiação solar global; T_M, T_X e T_N - temperatura média, máxima e mínima; UR - umidade relativa do ar; u - velocidade do vento; Prec. - precipitação pluviométrica; ETo - evapotranspiração de referência.

Tabela 2

Descrição dos sítios experimentais da área de estudo do Sistema CAAM-DES-AT, situada no Eixo Norte-Sul da região central do Estado de Pernambuco, Sertão Central do Brasil.

	Domínio de Caatinga	Área desmatada
Localização	08°18'31"S. 38°31'37"W	08°18'00"S. 38°30'36"W
Área (ha)	> 200	4
Elevação (m)	378	380
Altura do dossel (m)	3 - 15	Até 1
Vegetação		
Período úmido	Espécies arbóreo-arbustivo e, extrato herbáceo	Dominada por espécies herbáceas e arbustos

Período seco		Espécies arbóreo-arbustivo sem folhas e solo exposto	Solo exposto
Manejo		Pecuária extensiva	Pecuária extensiva
CC	0,01 MPa	15,0	13,9
PM	1,5 MPa	8,1	6,2
Ds	kg m ⁻³	1,47	1,39
Dp	kg m ⁻³	2,54	2,54
Pt	%	41,8	44,9
Areia	g kg ⁻¹	672,4	697,0
Silte	g kg ⁻¹	201,4	217,3
Argila	g kg ⁻¹	126,2	83,3
C.E	mS cm ⁻¹	0,9	0,5
pH	-	6,4	6,2
C	g kg ⁻¹	3,4	2,5
M.O.	mg dm ⁻³	6,7	4,6

CC - capacidade de campo; PM - ponto de murcha permanente; Ds - densidade do solo; Dp - densidade da partícula; Pt - porosidade total; C.E - condutividade elétrica; pH - potencial hidrogeniônico; C - carbono orgânico; M.O. - matéria orgânica.

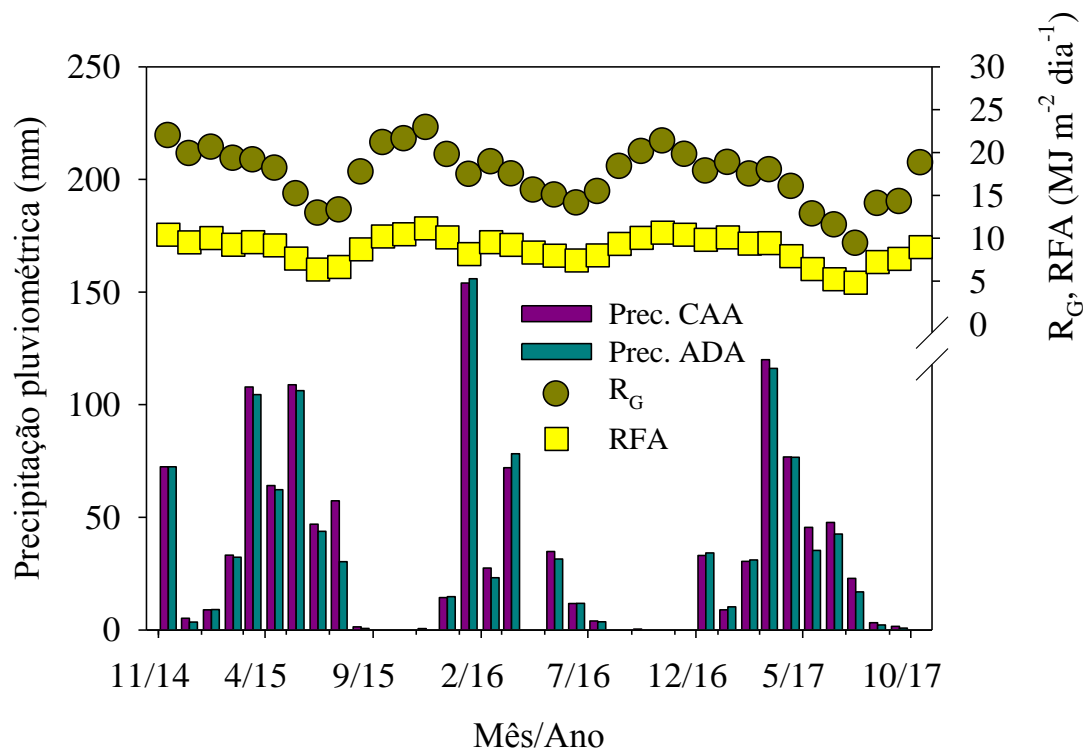
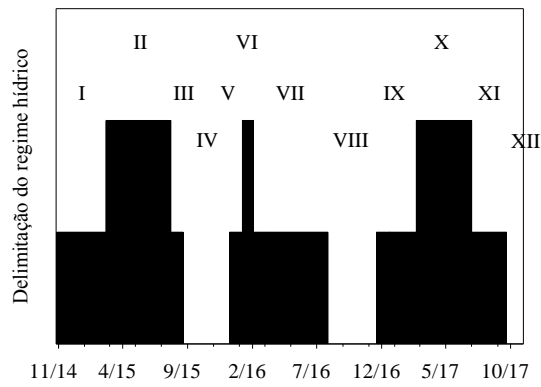


Fig. 1. Precipitação pluviométrica (Prec.), radiação solar global (R_G) e radiação fotossinteticamente ativa (RFA), dos sítios do Domínio de Caatinga (CAA) e área desmatada adjacente (ADA) da área de estudo do Sistema CAAM-DES-AT, situada no Eixo Norte-Sul da região central do Estado de Pernambuco, Sertão Central do Brasil.



	Subperíodos	Início	Final	P_{acum}
I	Seco-Chuvoso	26-Out-14	20-Fev-15	107,8
II	Chuvoso	21-Fev-15	23-Jul-15	380,9
III	Chuvoso-Seco	24-Jul-15	21-Ago-15	17,5
IV	Seco	22-Ago-15	7-Dez-15	0,6
V	Seco-Chuvoso	8-Dez-15	6-Jan-16	48,6
VI	Chuvoso	7-Jan-16	1-Fev-16	139,7
VII	Chuvoso-Seco	2-Fev-16	26-Jul-16	128,4
VIII	Seco	27-Jul-16	17-Nov-16	2,4
IX	Seco-Chuvoso	18-Nov-16	07-Fev-17	67,2
X	Chuvoso	08-Fev-17	1-Jul-17	323,77
XI	Chuvoso-Seco	2-Jul-17	21-Set-17	22,69
XII	Seco	22-Set-17	31-Out-17	1,00

Fig. 2. Delimitação do regime hídrico em subperíodos com base no número de eventos e lâminas de precipitação acumulada (P_{acum} , mm).

Tabela 3

Temperatura (°C), umidade relativa (%) e déficit de pressão do vapor d'água (kPa) médio (μ), máximo (α) e mínimo ($1-\alpha$) por subperíodos de regime hídrico (1 - 12), dos sítios do Domínio de Caatinga (CAA) e área desmatada adjacente (ADA) da área de estudo do Sistema CAAM-DES-AT, situada no Eixo Norte-Sul da região central do Estado de Pernambuco, Sertão Central do Brasil.

	T_M						T_X						T_N						
	CAA			ADA			CAA			ADA			CAA			ADA			
	α	μ	$1-\alpha$	α	μ	$1-\alpha$	α	μ	$1-\alpha$	α	μ	$1-\alpha$	α	μ	$1-\alpha$	α	μ	$1-\alpha$	
1	28,3 ^{Aa}	28,6 ^{Aa}	28,3 ^{Aa}	28,6 ^{Aa}	28,6 ^{Aa}	28,3 ^{Aa}	36,4 ^{Aa}	33,6 ^{CD}	36,4 ^{Aa}	36,9 ^{Aa}	37,7 ^{Aa}	21,5 ^{BCa}	21,4 ^{BCa}	21,5 ^{BCa}	21,4 ^{BCa}	21,5 ^{BCa}	21,4 ^{BCa}	21,5 ^{BCa}	21,4 ^{BCa}
2	26,3 ^{Ca}	24,0 ^D	26,3 ^{Ca}	24,0 ^D	26,3 ^{Ca}	26,4 ^{Ca}	31,1 ^{Ea}	31,1 ^{Ea}	34,3 ^{Ca}	31,8 ^D	20,3 ^{Da}	17,7 ^{Ea}	17,7 ^{Ea}	20,3 ^{Da}	17,7 ^{Ea}	20,3 ^{Da}	17,7 ^{Ea}	20,3 ^{Da}	17,7 ^{Ea}
3	28,6 ^{Aa}	28,9 ^{Aa}	28,6 ^{Aa}	28,9 ^{Aa}	28,6 ^{Aa}	28,9 ^{Aa}	36,5 ^{Ab}	36,0 ^{AB}	36,5 ^{Ab}	37,7 ^{Aa}	21,0 ^{CDa}	22,6 ^{ABa}	22,6 ^{ABa}	21,0 ^{CDa}	22,6 ^{ABa}	22,6 ^{ABa}	21,0 ^{CDa}	22,6 ^{ABa}	22,6 ^{ABa}
4	28,6 ^{Aa}	25,8 ^C	26,2 ^{Ca}	25,8 ^C	26,2 ^{Ca}	25,8 ^C	32,3 ^{DE}	32,3 ^{DE}	34,0 ^{Ca}	32,3 ^D	33,2 ^{Ca}	21,6 ^{AB}	21,6 ^{AB}	33,2 ^{Ca}	21,6 ^{AB}	21,6 ^{AB}	33,2 ^{Ca}	21,6 ^{AB}	21,6 ^{AB}
5	28,6 ^{Aa}	26,7 ^B	27,2 ^B	26,7 ^B	27,2 ^B	26,7 ^B	34,0 ^{Ca}	34,6 ^{BC}	34,0 ^{Ca}	34,3 ^{Ca}	20,0 ^{Da}	20,0 ^{Da}	20,0 ^{Da}	20,0 ^{Da}	20,0 ^{Da}	20,0 ^{Da}	20,0 ^{Da}	20,0 ^{Da}	20,0 ^{Da}
6	27,3 ^{Ba}	27,3 ^{Ba}	27,3 ^{Ba}	27,3 ^{Ba}	27,3 ^{Ba}	27,3 ^{Ba}	30,3 ^{Ca}	30,3 ^{Ca}	34,8 ^{Ca}	34,8 ^{Ca}	20,3 ^{CDa}	23,2 ^{Aa}	23,2 ^{Aa}	20,3 ^{CDa}	23,2 ^{Aa}	23,2 ^{Aa}	20,3 ^{CDa}	23,2 ^{Aa}	23,2 ^{Aa}
7	29,3 ^{Aa}	26,2 ^{Ca}	26,2 ^{Ca}	26,2 ^{Ca}	26,2 ^{Ca}	26,2 ^{Ca}	32,6 ^{DE}	32,6 ^{DE}	36,2 ^{Ab}	36,9 ^{Aa}	23,2 ^{Aa}	21,2 ^{BCa}	21,2 ^{BCa}	36,2 ^{Ab}	36,9 ^{Aa}	23,2 ^{Aa}	21,2 ^{BCa}	21,2 ^{BCa}	36,2 ^{Ab}
8	23,3 ^{Ea}	23,3 ^{Ea}	23,3 ^{Ea}	23,3 ^{Ea}	23,3 ^{Ea}	23,3 ^{Ea}	29,7 ^{Fb}	29,7 ^{Fb}	30,8 ^{Ea}	30,8 ^{Ea}	18,1 ^{Ea}	18,1 ^{Ea}	18,1 ^{Ea}	30,8 ^{Ea}	30,8 ^{Ea}	18,1 ^{Ea}	18,1 ^{Ea}	18,1 ^{Ea}	30,8 ^{Ea}
9	26,9 ^B	27,2 ^B	26,9 ^B	27,2 ^B	26,9 ^B	27,2 ^B	34,4 ^{BC}	34,4 ^{BC}	35,1 ^B	35,1 ^B	20,2 ^{CDa}	20,2 ^{CDa}	20,2 ^{CDa}	34,4 ^{BC}	34,4 ^{BC}	35,1 ^B	35,1 ^B	20,2 ^{CDa}	20,2 ^{CDa}
10	26,2 ^{Ca}	26,2 ^{Ca}	26,2 ^{Ca}	26,2 ^{Ca}	26,2 ^{Ca}	26,2 ^{Ca}	32,6 ^{DE}	32,6 ^{DE}	33,2 ^{Ca}	33,2 ^{Ca}	21,2 ^{BCa}	21,2 ^{BCa}	21,2 ^{BCa}	32,6 ^{DE}	32,6 ^{DE}	33,2 ^{Ca}	33,2 ^{Ca}	21,2 ^{BCa}	21,2 ^{BCa}
11	23,3 ^{Ea}	23,3 ^{Ea}	23,3 ^{Ea}	23,3 ^{Ea}	23,3 ^{Ea}	23,3 ^{Ea}	29,7 ^{Fb}	29,7 ^{Fb}	30,8 ^{Ea}	30,8 ^{Ea}	18,1 ^{Ea}	18,1 ^{Ea}	18,1 ^{Ea}	29,7 ^{Fb}	29,7 ^{Fb}	30,8 ^{Ea}	30,8 ^{Ea}	18,1 ^{Ea}	18,1 ^{Ea}
12	26,9 ^B	27,2 ^B	26,9 ^B	27,2 ^B	26,9 ^B	27,2 ^B	34,4 ^{BC}	34,4 ^{BC}	35,1 ^B	35,1 ^B	20,2 ^{CDa}	20,2 ^{CDa}	20,2 ^{CDa}	34,4 ^{BC}	34,4 ^{BC}	35,1 ^B	35,1 ^B	20,2 ^{CDa}	20,2 ^{CDa}
13	57,2 ^{Ea}	57,2 ^{Ea}	57,2 ^{Ea}	57,2 ^{Ea}	57,2 ^{Ea}	57,2 ^{Ea}	84,3 ^{Da}	84,3 ^{Da}	85,8 ^{Ca}	85,8 ^{Ca}	32,9 ^{Da}	32,9 ^{Da}	32,9 ^{Da}	84,3 ^{Da}	84,3 ^{Da}	85,8 ^{Ca}	85,8 ^{Ca}	32,9 ^{Da}	32,9 ^{Da}
14	64,4 ^C	64,4 ^C	64,4 ^C	64,4 ^C	64,4 ^C	64,4 ^C	88,4 ^{CD}	88,4 ^{CD}	90,8 ^{Ca}	90,8 ^{Ca}	37,7 ^{CDa}	37,7 ^{CDa}	37,7 ^{CDa}	88,4 ^{CD}	88,4 ^{CD}	90,8 ^{Ca}	90,8 ^{Ca}	37,7 ^{CDa}	37,7 ^{CDa}
15	70,3 ^{Ba}	70,3 ^{Ba}	70,3 ^{Ba}	70,3 ^{Ba}	70,3 ^{Ba}	70,3 ^{Ba}	95,2 ^{Aa}	95,2 ^{Aa}	95,8 ^{Aa}	95,8 ^{Aa}	43,5 ^{Aa}	43,5 ^{Aa}	43,5 ^{Aa}	95,2 ^{Aa}	95,2 ^{Aa}	95,8 ^{Aa}	95,8 ^{Aa}	43,5 ^{Aa}	43,5 ^{Aa}
16	69,0 ^B	69,0 ^B	69,0 ^B	69,0 ^B	69,0 ^B	69,0 ^B	96,4 ^{Aa}	96,4 ^{Aa}	96,6 ^{Aa}	96,6 ^{Aa}	42,8 ^{ABa}	42,8 ^{ABa}	42,8 ^{ABa}	96,4 ^{Aa}	96,4 ^{Aa}	96,6 ^{Aa}	96,6 ^{Aa}	42,8 ^{ABa}	42,8 ^{ABa}
17	56,8 ^{Ea}	56,8 ^{Ea}	56,8 ^{Ea}	56,8 ^{Ea}	56,8 ^{Ea}	56,8 ^{Ea}	84,9 ^{Ca}	84,9 ^{Ca}	84,9 ^{Ca}	84,9 ^{Ca}	33,4 ^{Da}	33,4 ^{Da}	33,4 ^{Da}	84,9 ^{Ca}	84,9 ^{Ca}	84,9 ^{Ca}	84,9 ^{Ca}	33,4 ^{Da}	33,4 ^{Da}
18	59,4 ^D	59,4 ^D	59,4 ^D	59,4 ^D	59,4 ^D	59,4 ^D	85,0 ^{CD}	85,0 ^{CD}	88,7 ^{Ca}	88,7 ^{Ca}	35,5 ^{CDa}	35,5 ^{CDa}	35,5 ^{CDa}	85,0 ^{CD}	85,0 ^{CD}	88,7 ^{Ca}	88,7 ^{Ca}	35,5 ^{CDa}	35,5 ^{CDa}
19	78,3 ^{Aa}	78,3 ^{Aa}	78,3 ^{Aa}	78,3 ^{Aa}	78,3 ^{Aa}	78,3 ^{Aa}	97,7 ^{Aa}	97,7 ^{Aa}	97,5 ^{Aa}	97,5 ^{Aa}	49,7 ^{Aa}	49,7 ^{Aa}	49,7 ^{Aa}	97,7 ^{Aa}	97,7 ^{Aa}	97,5 ^{Aa}	97,5 ^{Aa}	49,7 ^{Aa}	49,7 ^{Aa}
20	64,9 ^{Ca}	64,9 ^{Ca}	64,9 ^{Ca}	64,9 ^{Ca}	64,9 ^{Ca}	64,9 ^{Ca}	92,8 ^{Ba}	92,8 ^{Ba}	92,7 ^{Ba}	92,7 ^{Ba}	39,3 ^{BCb}	39,3 ^{BCb}	39,3 ^{BCb}	92,8 ^{Ba}	92,8 ^{Ba}	92,7 ^{Ba}	92,7 ^{Ba}	39,3 ^{BCb}	39,3 ^{BCb}
21	55,5 ^{Ea}	55,5 ^{Ea}	55,5 ^{Ea}	55,5 ^{Ea}	55,5 ^{Ea}	55,5 ^{Ea}	84,2 ^{Db}	84,2 ^{Db}	86,5 ^{Ca}	86,5 ^{Ca}	33,8 ^{Db}	33,8 ^{Db}	33,8 ^{Db}	84,2 ^{Db}	84,2 ^{Db}	86,5 ^{Ca}	86,5 ^{Ca}	33,8 ^{Db}	33,8 ^{Db}
22	55,6 ^{Ea}	55,6 ^{Ea}	55,6 ^{Ea}	55,6 ^{Ea}	55,6 ^{Ea}	55,6 ^{Ea}	81,2 ^{Da}	81,2 ^{Da}	75,1 ^{Db}	75,1 ^{Db}	33,5 ^{Da}	33,5 ^{Da}	33,5 ^{Da}	81,2 ^{Da}	81,2 ^{Da}	75,1 ^{Db}	75,1 ^{Db}	33,5 ^{Da}	33,5 ^{Da}
23	70,2 ^{Ba}	70,2 ^{Ba}	70,2 ^{Ba}	70,2 ^{Ba}	70,2 ^{Ba}	70,2 ^{Ba}	93,3 ^{AB}	93,3 ^{AB}	94,9 ^{Ba}	94,9 ^{Ba}	44,7 ^{Aa}	44,7 ^{Aa}	44,7 ^{Aa}	93,3 ^{AB}	93,3 ^{AB}	94,9 ^{Ba}	94,9 ^{Ba}	44,7 ^{Aa}	44,7 ^{Aa}
24	71,0 ^A	71,0 ^A	71,0 ^A	71,0 ^A	71,0 ^A	71,0 ^A	94,1 ^{AB}	94,1 ^{AB}	93,4 ^A	93,4 ^A	46,2 ^{Aa}	46,2 ^{Aa}	46,2 ^{Aa}	94,1 ^{AB}	94,1 ^{AB}	93,4 ^A	93,4 ^A	46,2 ^{Aa}	46,2 ^{Aa}
25	58,5 ^{Ea}	58,5 ^{Ea}	58,5 ^{Ea}	58,5 ^{Ea}	58,5 ^{Ea}	58,5 ^{Ea}	85,8 ^{Ca}	85,8 ^{Ca}	84,3 ^{Ca}	84,3 ^{Ca}	32,9 ^{Da}	32,9 ^{Da}	32,9 ^{Da}	85,8 ^{Ca}	85,8 ^{Ca}	84,3 ^{Ca}	84,3 ^{Ca}	32,9 ^{Da}	32,9 ^{Da}
26	57,2 ^{Ea}	57,2 ^{Ea}	57,2 ^{Ea}	57,2 ^{Ea}	57,2 ^{Ea}	57,2 ^{Ea}	84,3 ^{Da}	84,3 ^{Da}	85,8 ^{Ca}	85,8 ^{Ca}	32,9 ^{Da}	32,9 ^{Da}	32,9 ^{Da}	84,3 ^{Da}	84,3 ^{Da}	85,8 ^{Ca}	85,8 ^{Ca}	32,9 ^{Da}	32,9 ^{Da}
27	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	3,17 ^{BC}	3,17 ^{BC}	4,1	4,1	0,17 ^{Bb}	0,17 ^{Bb}	0,17 ^{Bb}	3,17 ^{BC}	3,17 ^{BC}	4,1	4,1	0,17 ^{Bb}	0,17 ^{Bb}
28	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	3,01 ^{CD}	3,01 ^{CD}	2,9	2,9	0,11 ^{BCa}	0,11 ^{BCa}	0,11 ^{BCa}	3,01 ^{CD}	3,01 ^{CD}	2,9	2,9	0,11 ^{BCa}	0,11 ^{BCa}
29	1,09 ^C	1,09 ^C	1,09 ^C	1,09 ^C	1,09 ^C	1,09 ^C	2,60 ^{DE}	2,60 ^{DE}	2,5	2,5	0,08 ^{BCa}	0,08 ^{BCa}	0,08 ^{BCa}	2,60 ^{DE}	2,60 ^{DE}	2,5	2,5	0,08 ^{BCa}	0,08 ^{BCa}
30	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	3,9	3,9	3,6	3,6	0,4	0,4	0,4	3,9	3,9	3,6	3,6	0,4	0,4
31	1,84 ^{Aa}	1,84 ^{Aa}	1,84 ^{Aa}	1,84 ^{Aa}	1,84 ^{Aa}	1,84 ^{Aa}	3,82 ^{Aa}	3,82 ^{Aa}	3,80 ^{Ba}	3,80 ^{Ba}	0,38 ^{Aa}	0,38 ^{Aa}	0,38 ^{Aa}	3,82 ^{Aa}	3,82 ^{Aa}	3,80 ^{Ba}	3,80 ^{Ba}	0,38 ^{Aa}	0,38 ^{Aa}
32	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	3,76 ^{AB}	3,76 ^{AB}	4,0	4,0	0,5	0,5	0,5	3,76 ^{AB}	3,76 ^{AB}	4,0	4,0	0,5	0,5
33	1,81 ^{Aa}	1,81 ^{Aa}	1,81 ^{Aa}	1,81 ^{Aa}	1,81 ^{Aa}	1,81 ^{Aa}	8	8	5	5	0,40 ^{Aa}	0,40 ^{Aa}	0,40 ^{Aa}	8	8	5	5	0,40 ^{Aa}	0,40 ^{Aa}
34	0,82 ^{Da}	0,82 ^{Da}	0,82 ^{Da}	0,82 ^{Da}	0,82 ^{Da}	0,82 ^{Da}	2,36 ^{Ea}	2,36 ^{Ea}	4	4	0,05 ^{Ca}	0,05 ^{Ca}	0,05 ^{Ca}	2,36 ^{Ea}	2,36 ^{Ea}	4	4	0,05 ^{Ca}	0,05 ^{Ca}
35	1,42 ^{Ba}	1,42 ^{Ba}	1,42 ^{Ba}	1,42 ^{Ba}	1,42 ^{Ba}	1,42 ^{Ba}	3,22 ^{Ca}	3,22 ^{Ca}	3,3	3,3	0,18 ^{Ba}	0,18 ^{Ba}	0,18 ^{Ba}	3,22 ^{Ca}	3,22 ^{Ca}	3,3	3,3	0,18 ^{Ba}	0,18 ^{Ba}
36	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	3,1	3,1	2,5	2,5	0,2	0,2	0,2	3,1	3,1	2,5	2,5	0,2	0,2

	6		8	6	Db	3	2		2	3	Db	9	6		0	1		6
	1,7		1,8	1,2		1,5	3,4	3,59 ^{AB}	3,7	2,6	2,89 ^C	3,1	0,3		0,4	0,3		0,4
8	1	1,80 ^{Aa}	9	9	1,42 ^{Bb}	5	3	a	5	4	Db	3	7	0,41 ^{Aa}	6	1	0,37 ^{Ba}	3
	1,9		2,1	1,9		2,3	3,8		4,1	3,9	4,16 ^A	4,4	0,5		0,6	0,5		0,7
9	6	2,07 ^{Aa}	7	9	2,15 ^{Aa}	1	2	3,97 ^{Aa}	2	0	Ba	2	3	0,61 ^{Aa}	9	4	0,65 ^{Aa}	7
1	1,0		1,2	1,1		1,2	2,5	2,73 ^{DE}	2,8	2,7	2,89 ^C	3,0	0,1		0,1	0,1		0,1
0	8	1,17 ^{Ca}	6	0	1,19 ^{Ca}	9	7	a	9	2	Da	5	1	0,15 ^{BCa}	9	0	0,14 ^{Ca}	8
1	0,8		1,0	0,9	1,03 ^C	1,1	2,0		2,4	2,3		2,6	0,0		0,1	0,1		0,1
1	8	0,96 ^{Da}	3	5	Da	1	9	2,26 ^{Fa}	2	0	2,47 ^{Da}	4	9	0,12 ^{BCa}	5	0	0,13 ^{Ca}	6
1	1,6		1,8	1,6		1,8	3,4	3,62 ^{AB}	3,7	3,5		3,8	0,3		0,4	0,3		0,4
2	2	1,73 ^{Aa}	2	4	1,74 ^{Aa}	4	0	a	8	0	3,69 ^{Ba}	8	5	0,39 ^{Aa}	3	4	0,38 ^{ABa}	3

Subperíodos: 1, 5 e 9 - seco/chuvoso; 2, 6 e 10 - chuvoso; 3, 7 e 11 - chuvoso/seco; 4, 8 e 12 - seco.

Médias (μ) na vertical seguidas pela mesma letra maiúscula não se diferem entre si ao nível de significância ($\alpha < 0,05$) pelo teste não paramétrico de Kruskal-Wallis (comparação de k amostras). Enquanto, médias na horizontal seguidas pela mesma letra minúscula não se diferem entre si ao nível de significância ($\alpha < 0,05$) pelo teste não paramétrico de Mann-Whitney (comparação entre duas amostras). α , $1-\alpha$ - indicam o intervalo de confiança.

■ LE ■ H ■ G ■ R_N ○ Umidade do solo

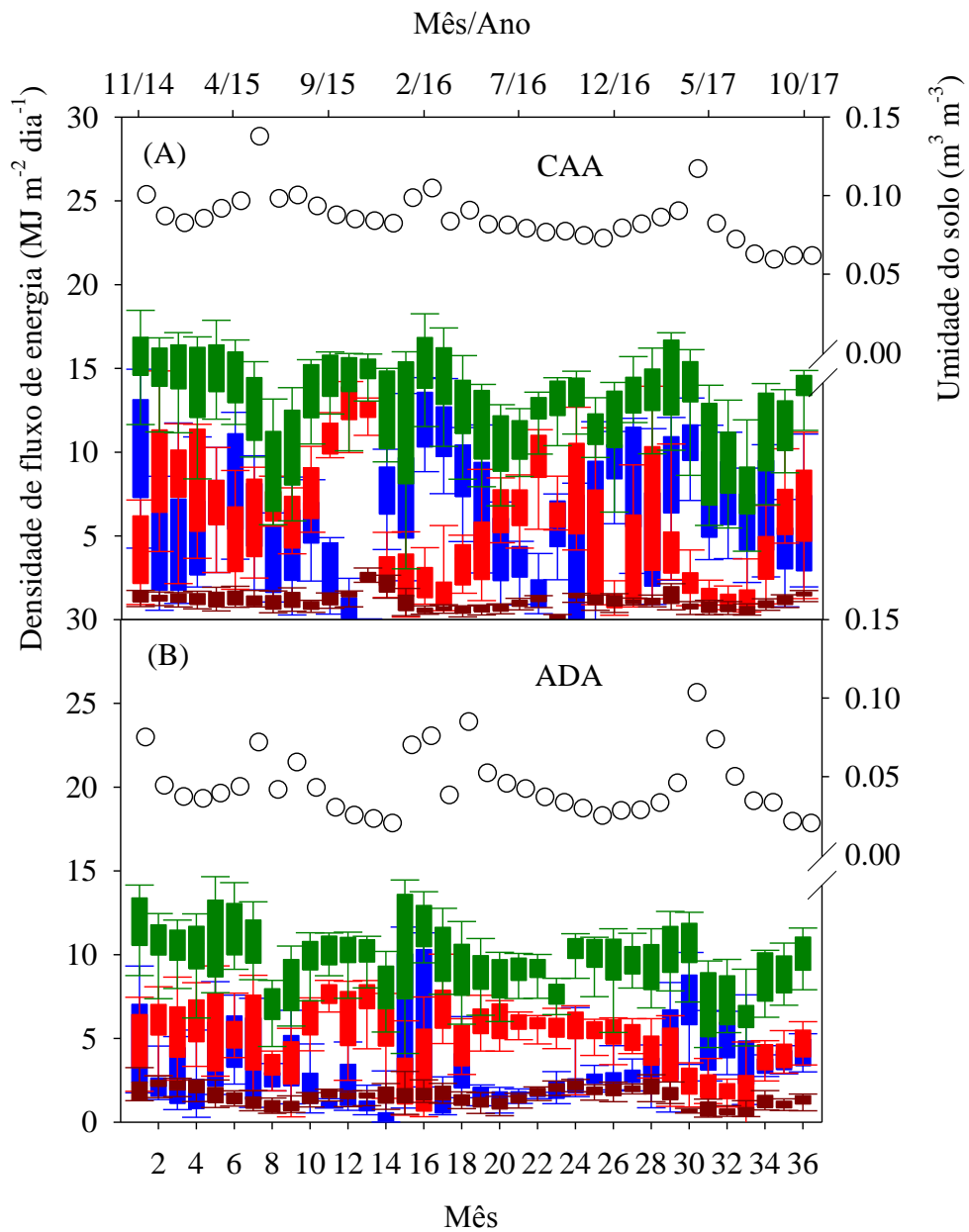


Fig. 3. Densidades de fluxo de energia (LE - fluxo de calor latente, H - fluxo de calor sensível, G - fluxo de calor no solo e R_N - saldo de radiação) e umidade do solo média no perfil de 0,00 a 0,60 m, dos sítios do Domínio de Caatinga (CAA, A) e área desmatada adjacente (ADA, B), da área de estudo do Sistema CAAM-DES-AT, situada no Eixo Norte-Sul da região central do Estado de Pernambuco, Sertão Central do Brasil.

Tabela 4

Densidades de fluxos de energia diurnos (R_N - saldo de radiação, LE - fluxo de calor latente, H - fluxo de calor sensível e G - fluxo de calor no solo, MJ m⁻² dia⁻¹) por subperíodos de regime hídrico, dos sítios do Domínio de Caatinga (CAA) e área desmatada adjacente (ADA), da área de estudo do Sistema CAAM-DES-AT, situada no Eixo Norte-Sul da região central do Estado de Pernambuco, Sertão Central do Brasil.

Subperíodos	$R_N(+)$						LE(+)					
	CAA			ADA			CAA			ADA		
	α	μ	1- α	α	μ	1- α	α	μ	1- α	α	μ	1- α
Seco-Chuvoso	14,3	14,8 ^{Aa}	15,2	10,3	10,7 ^{Ab}	11,1	5,4	6,2 ^{Ba}	7,0	2,6	3,0 ^{Cb}	3,5
Chuvoso	11,9	12,4 ^{Ba}	13,0	9,4	9,8 ^{ABb}	10,3	5,7	6,3 ^{Ba}	6,9	3,5	3,9 ^{Bb}	4,2
Chuvoso-Seco	11,1	12,2 ^{Ba}	13,3	8,7	9,4 ^{ABb}	10,1	5,2	6,2 ^{Ba}	7,1	2,6	3,3 ^{BCb}	4,1
Seco	14,2	14,5 ^{Aa}	14,9	9,8	10,1 ^{Ab}	10,4	1,5	2,0 ^{Da}	2,6	1,3	1,5 ^{Ea}	1,8
Seco-Chuvoso	11,6	12,6 ^{Ba}	13,6	7,5	8,3 ^{BCb}	9,1	6,6	7,4 ^{ABa}	8,2	0,4	1,0 ^{Eb}	1,7
Chuvoso	9,3	11,3 ^{Ba}	13,3	8,8	10,4 ^{Aa}	11,9	6,2	7,9 ^{Aa}	9,6	5,5	7,0 ^{Aa}	8,4
Chuvoso-Seco	11,9	12,3 ^{Ba}	12,8	9,3	9,6 ^{ABb}	9,9	7,3	7,9 ^{Aa}	8,5	2,3	2,7 ^{CDb}	3,1
Seco	12,4	12,8 ^{Ba}	13,1	9,5	9,7 ^{ABb}	9,9	3,3	3,9 ^{Ca}	4,5	1,9	2,1 ^{Db}	2,3
Seco-Chuvoso	12,2	12,8 ^{Ba}	13,4	9,1	9,5 ^{ABb}	9,9	7,5	8,4 ^{Aa}	9,2	2,5	2,9 ^{BCb}	3,3
Chuvoso	11,2	11,8 ^{Ba}	12,5	8,4	8,8 ^{BCb}	9,2	7,3	7,9 ^{Aa}	8,5	4,5	4,9 ^{ABb}	5,3
Chuvoso-Seco	9,1	9,8 ^{Ca}	10,5	7,4	7,8 ^{Cb}	8,2	5,4	6,1 ^{Ba}	6,7	3,3	3,6 ^{Bb}	4,0
Seco	12,9	13,4 ^{Ba}	13,8	9,5	9,9 ^{ABb}	10,4	4,1	5,1 ^{BCa}	6,2	3,8	4,1 ^{ABa}	4,4
Subperíodos	H(+)						G(+)					
	CAA			ADA			CAA			ADA		
	α	μ	1- α	α	μ	1- α	α	μ	1- α	α	μ	1- α
Seco-Chuvoso	6,9	7,6 ^{BCa}	8,3	5,2	5,5 ^{Bb}	5,9	1,2	1,3 ^{Bb}	1,3	2,0	2,1 ^{Aa}	2,2
Chuvoso	5,6	6,0 ^{Ca}	6,4	4,3	4,7 ^{Cb}	5,0	1,1	1,2 ^{BCb}	1,2	1,2	1,3 ^{Ca}	1,4
Chuvoso-Seco	5,6	6,4 ^{BCa}	7,3	4,2	4,9 ^{BCb}	5,6	0,7	0,8 ^{EFb}	0,9	1,0	1,2 ^{CDa}	1,4
Seco	10,5	11,1 ^{Aa}	11,7	6,5	6,9 ^{Ab}	7,2	1,5	1,7 ^{Aa}	1,8	1,5	1,6 ^{Ba}	1,7
Seco-Chuvoso	2,5	3,3 ^{Db}	4,0	4,6	5,5 ^{Ba}	6,3	1,7	1,9 ^{Aa}	2,2	1,5	1,8 ^{ABa}	2,1
Chuvoso	1,8	2,5 ^{Da}	3,2	1,2	2,0 ^{Da}	2,9	0,6	0,9 ^{DEFb}	1,1	1,1	1,4 ^{Ca}	1,6
Chuvoso-Seco	3,6	4,0 ^{Db}	4,4	5,2	5,5 ^{Ba}	5,8	0,6	0,7 ^{Fb}	0,7	1,3	1,4 ^{Ca}	1,5
Seco	7,2	7,7 ^{Ba}	8,2	5,4	5,6 ^{Bb}	5,8	1,2	1,3 ^{BCb}	1,3	1,9	2,0 ^{Aa}	2,0
Seco-Chuvoso	2,5	3,4 ^{Db}	4,3	4,0	4,6 ^{Ca}	5,2	1,0	1,1 ^{CDb}	1,1	1,8	1,9 ^{Aa}	2,0
Chuvoso	2,5	3,0 ^{Da}	3,5	2,4	2,7 ^{Da}	3,0	0,8	0,9 ^{DEa}	1,0	0,9	1,1 ^{Da}	1,2
Chuvoso-Seco	2,5	3,1 ^{Da}	3,7	2,8	3,2 ^{Da}	3,6	0,7	0,8 ^{EFb}	0,9	0,9	1,0 ^{Da}	1,1
Seco	5,8	6,9 ^{BCa}	7,9	4,3	4,6 ^{Cb}	4,9	1,4	1,5 ^{Aa}	1,5	1,1	1,2 ^{CDb}	1,4

Médias (μ) na vertical seguidas pela mesma letra maiúscula não se diferem entre si ao nível de significância ($\alpha < 0,05$) pelo teste não paramétrico de Kruskal-Wallis (comparação de k amostras). Enquanto, médias na horizontal seguidas pela mesma letra minúscula não se diferem entre si ao nível de significância ($\alpha < 0,05$) pelo teste não paramétrico de Mann-Whitney (comparação entre duas amostras). α , 1- α - indicam o intervalo de confiança.

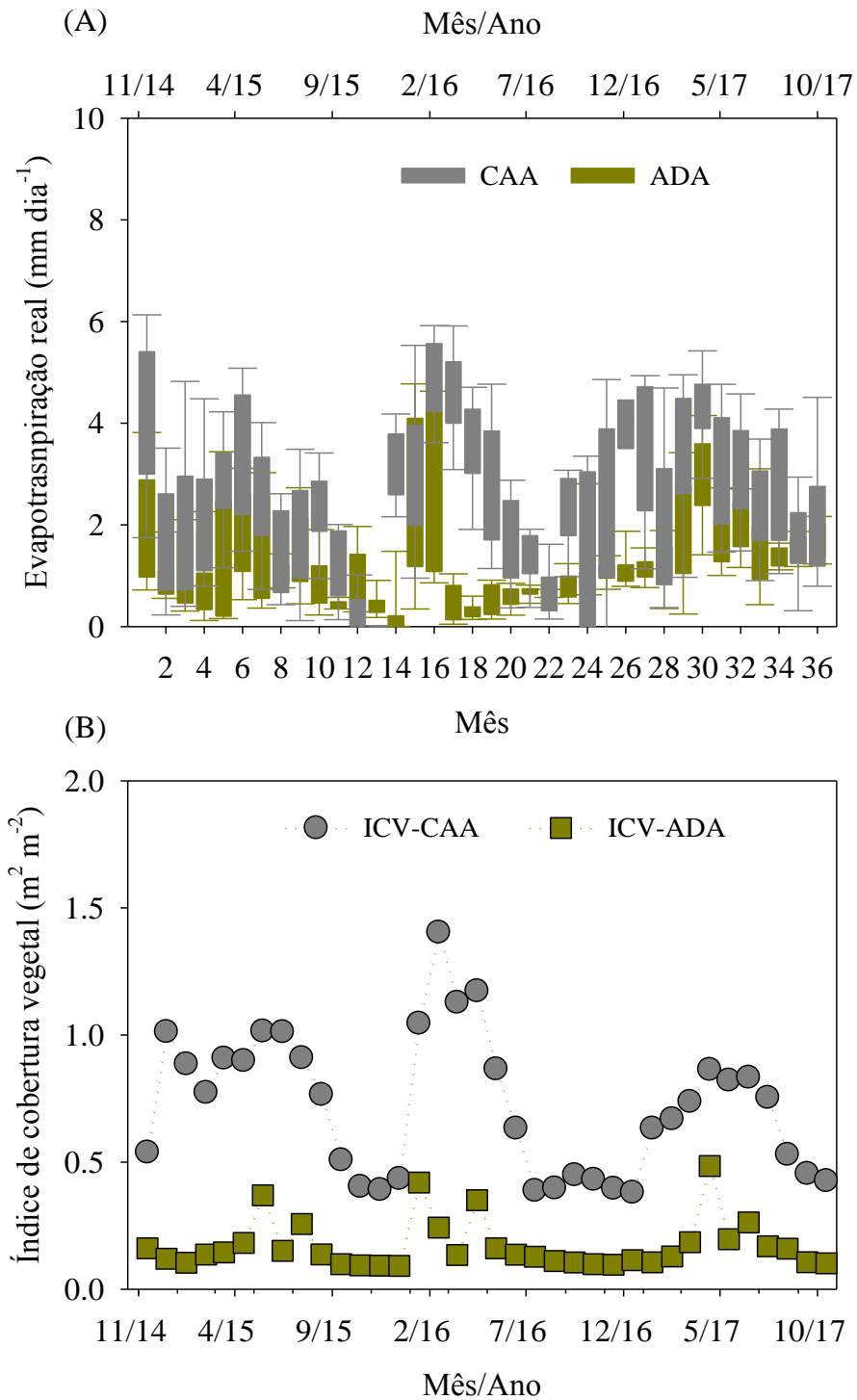


Fig. 4. Evapotranspiração real (A) e índice de cobertura vegetal (ICV) (B) dos sítios do Domínio de Caatinga (CAA) e área desmatada adjacente (ADA) da rea de estudo do Sistema CAAM-DES-AT, situada no Eixo Norte-Sul da região central do Estado de Pernambuco, Sertão Central do Brasil.

Tabela 5

Densidades de fluxos de energia diários ($R_{N(d)}$ - saldo de radiação e $G_{(d)}$ - fluxo de calor no solo, $MJ\ m^{-2}\ dia^{-1}$) e evapotranspiração real ($ET_{(d)}$, $mm\ dia^{-1}$), por subperíodos de regime hídrico (1 - 12), dos sítios do Domínio de Caatinga (CAA) e área desmatada adjacente (ADA), da área de estudo do Sistema CAAM-DES-AT, situada no Eixo Norte-Sul da região central do Estado de Pernambuco, Sertão Central do Brasil.

	$R_{N(d)}$						$G_{(d)}$						$ET_{(d)}$					
	CAA		ADA				CAA		ADA				CAA		ADA			
	α	μ	$1-\alpha$	α	μ	$1-\alpha$	α	μ	$1-\alpha$	α	μ	$1-\alpha$	α	μ	$1-\alpha$	α	μ	$1-\alpha$
1	11,7	12,2 ^{Aa}	12,6	7,9	8,2 ^{Ab}	8,6	-0,1	0,0 ^{BCb}	0,1	0,2	0,3 ^{ABa}	0,4	2,2	2,5 ^{Ba}	2,9	1,1	1,3 ^{Db}	1,4
2	9,8	10,4 ^{BCa}	10,9	7,5	8,0 ^{ABb}	8,4	-0,2	-0,1 ^{Da}	0,0	-0,1	0,0 ^{Ca}	0,1	2,4	2,6 ^{Ba}	2,8	1,3	1,5 ^{CDb}	1,6
3	8,5	9,5 ^{Ca}	10,5	6,5	7,2 ^{ABCb}	7,8	-0,6	-0,5 ^{Eb}	-0,4	0,0	0,2 ^{BCa}	0,4	2,1	2,5 ^{Ba}	2,9	1,0	1,4 ^{CDb}	1,7
4	11,0	11,3 ^{AaB}	11,6	6,9	7,1 ^{BCDb}	7,3	0,1	0,1 ^{ABCb}	0,2	0,3	0,3 ^{ABa}	0,4	0,6	0,8 ^{Da}	1,1	0,5	0,6 ^{Fa}	0,7
5	9,0	9,9 ^{BCa}	10,8	5,1	5,9 ^{DEb}	6,7	-0,3	-0,1 ^{BCDa}	0,2	-0,1	0,2 ^{BCa}	0,6	2,7	3,0 ^{ABa}	3,3	0,1	0,4 ^{Fb}	0,7
6	7,7	9,7 ^{ABCa}	11,7	7,3	8,8 ^{ABa}	10,4	-0,8	-0,5 ^{Ea}	-0,3	-0,5	-0,2 ^{Ca}	0,1	2,5	3,2 ^{ABa}	3,9	2,3	2,9 ^{Aa}	3,4
7	9,5	9,9 ^{Ca}	10,3	7,1	7,4 ^{BCb}	7,7	-0,6	-0,6 ^{Eb}	-0,6	0,2	0,3 ^{BCa}	0,4	3,0	3,2 ^{Aa}	3,5	0,7	0,9 ^{EFb}	1,0
8	9,6	9,8 ^{Ca}	10,1	6,6	6,8 ^{CDb}	7,0	0,0	0,1 ^{BCb}	0,1	0,4	0,5 ^{Aa}	0,6	1,4	1,6 ^{Ca}	1,8	0,8	0,9 ^{Eb}	0,9
9	9,8	10,3 ^{BCa}	10,9	6,8	7,1 ^{BCDb}	7,5	-0,1	0,0 ^{CDb}	0,1	0,3	0,5 ^{Aa}	0,6	3,0	3,4 ^{Aa}	3,8	1,0	1,2 ^{CDb}	1,3
10	9,2	9,7 ^{Ca}	10,3	6,5	6,9 ^{BCDb}	7,3	0,1	0,2 ^{ABa}	0,3	-0,2	-0,1 ^{Cb}	0,0	3,0	3,2 ^{Aa}	3,5	1,8	2,0 ^{ABb}	2,2
11	7,0	7,6 ^{Ea}	8,2	5,4	5,7 ^{Eb}	6,0	0,0	0,1 ^{BCa}	0,1	0,1	0,1 ^{BCa}	0,2	2,2	2,5 ^{Ba}	2,8	1,3	1,5 ^{BCb}	1,6
12	10,1	10,5 ^{BCa}	11,0	6,8	7,2 ^{ABCb}	7,6	0,3	0,4 ^{Aa}	0,4	0,0	0,1 ^{BCb}	0,2	1,6	2,0 ^{BCa}	2,4	1,6	1,7 ^{ABCa}	1,8

Subperíodos: 1, 5 e 9 - seco/chuvoso; 2, 6 e 10 - chuvoso; 3, 7 e 11 - chuvoso/seco; 4, 8 e 12 - seco.

Médias (μ) na vertical seguidas pela mesma letra maiúscula não se diferem entre si ao nível de significância ($\alpha < 0,05$) pelo teste não paramétrico de Kruskal-Wallis (comparação de k amostras). Enquanto, médias na horizontal seguidas pela mesma letra minúscula não se diferem entre si ao nível de significância ($\alpha < 0,05$) pelo teste não paramétrico de Mann-Whitney (comparação entre duas amostras). α , $1-\alpha$ - indicam o intervalo de confiança.

Tabela 6

Partição do balanço de energia por subperíodos do regime hídrico (1 - 12), dos sítios do Domínio de Caatinga (CAA) e área desmatada adjacente (ADA), da área de estudo do Sistema CAAM-DES-AT, situada no Eixo Norte-Sul da região central do Estado de Pernambuco, Sertão Central do Brasil.

	LE/R _N						H/R _N						G/R _N					
	CAA		ADA		CAA		ADA		CAA		ADA		CAA		ADA			
	α	μ	1- α	α	μ	1- α	α	μ	1- α	α	μ	1- α	α	μ	1- α	α	μ	1- α
1	0,35	0,40 ^{CDa}	0,45	0,25	0,28 ^{EFb}	0,32	0,47	0,51 ^{BCa}	0,56	0,49	0,52 ^{CDa}	0,55	0,08	0,09 ^{DEb}	0,09	0,19	0,20 ^{Aa}	0,20
2	0,41	0,45 ^{BCa}	0,49	0,36	0,39 ^{CDb}	0,43	0,42	0,46 ^{Ca}	0,49	0,44	0,47 ^{DEa}	0,50	0,09	0,09 ^{CDb}	0,10	0,13	0,14 ^{CDa}	0,15
3	0,39	0,45 ^{BCDa}	0,52	0,27	0,35 ^{DEb}	0,44	0,41	0,48 ^{BCa}	0,54	0,45	0,52 ^{CDa}	0,59	0,06	0,07 ^{GHb}	0,08	0,11	0,13 ^{CDEa}	0,14
4	0,10	0,13 ^{Eb}	0,17	0,13	0,16 ^{Ga}	0,18	0,72	0,76 ^{Aa}	0,79	0,66	0,68 ^{Ab}	0,71	0,11	0,11 ^{BCb}	0,12	0,15	0,16 ^{Ba}	0,16
5	0,55	0,60 ^{ABa}	0,65	0,05	0,14 ^{Gb}	0,22	0,20	0,25 ^{Db}	0,30	0,57	0,65 ^{ABa}	0,73	0,14	0,15 ^{Ab}	0,16	0,19	0,21 ^{Aa}	0,23
6	0,63	0,69 ^{Aa}	0,75	0,61	0,68 ^{Aa}	0,75	0,17	0,23 ^{Da}	0,29	0,12	0,19 ^{Fa}	0,26	0,06	0,08 ^{EFGb}	0,10	0,12	0,13 ^{CDEa}	0,14
7	0,57	0,61 ^{Aa}	0,64	0,23	0,26 ^{EFb}	0,29	0,30	0,34 ^{Db}	0,37	0,56	0,59 ^{BCa}	0,62	0,05	0,05 ^{Hb}	0,06	0,14	0,15 ^{BCa}	0,15
8	0,25	0,30 ^{Da}	0,34	0,20	0,22 ^{FGa}	0,24	0,56	0,61 ^{Ba}	0,65	0,56	0,58 ^{BCa}	0,60	0,09	0,10 ^{BCb}	0,10	0,20	0,20 ^{Aa}	0,21
9	0,60	0,66 ^{Aa}	0,72	0,28	0,32 ^{CDEb}	0,36	0,20	0,26 ^{Db}	0,32	0,39	0,47 ^{DEa}	0,55	0,08	0,08 ^{EFb}	0,09	0,18	0,21 ^{Aa}	0,20
10	0,64	0,68 ^{Aa}	0,71	0,53	0,57 ^{ABb}	0,60	0,21	0,25 ^{Db}	0,28	0,29	0,31 ^{Fa}	0,34	0,07	0,08 ^{FGb}	0,08	0,11	0,12 ^{Ea}	0,13
11	0,56	0,62 ^{Aa}	0,67	0,43	0,48 ^{BCb}	0,53	0,25	0,30 ^{Db}	0,36	0,35	0,40 ^{Ea}	0,44	0,08	0,08 ^{EFGb}	0,08	0,12	0,13 ^{DEa}	0,13
12	0,30	0,38 ^{CDa}	0,46	0,39	0,41 ^{BCDa}	0,43	0,43	0,51 ^{BCa}	0,59	0,44	0,46 ^{DEb}	0,48	0,11	0,11 ^{ABb}	0,11	0,12	0,13 ^{CDEa}	0,14

Subperíodos: 1, 5 e 9 - seco/chuvoso; 2, 6 e 10 - chuvoso; 3, 7 e 11 - chuvoso/seco; 4, 8 e 12 - seco.

R_N - saldo de radiação, LE - fluxo de calor latente, H - fluxo de calor sensível e G - fluxo de calor no solo. Médias (μ) na vertical seguidas pela mesma letra maiúscula não se diferem entre si ao nível de significância ($\alpha < 0,05$) pelo teste não paramétrico de Kruskal-Wallis (comparação de k amostras). Enquanto, médias na horizontal seguidas pela mesma letra minúscula não se diferem entre si ao nível de significância ($\alpha < 0,05$) pelo teste não paramétrico de Mann-Whitney (comparação entre duas amostras). α , 1- α - indicam o intervalo de confiança.

II ARTIGO

ATRIBUTOS FÍSICO-QUÍMICOS DO SOLO E CONDIÇÕES METEOROLÓGICAS EM PAISAGENS SOB PERTURBAÇÃO ANTRÓPICA NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO

Resumo: A caracterização de paisagens com distintos níveis de perturbação antrópica aprimora a compreensão do efeito da mudança do uso do solo sobre o clima. Comparações dos atributos físico-químicos do solo e das condições micrometeorológicas de duas paisagens do Semiárido brasileiro foram investigadas neste estudo. O experimento foi conduzido em dois sítios, sendo um em área de Caatinga com indícios de atividade pecuária e outro em uma área desmatada (ADA), ambos situados no Eixo Norte-Sul da região central do Estado de Pernambuco. As coletas de dados foram realizadas entre 01 de novembro de 2014 e 31 de outubro de 2017. Atributos físico-químicos dos sítios, condições climáticas da área de estudo e características micrometeorológicas das paisagens foram avaliadas por meio da aplicação das estatísticas descritiva e multivariada. Não houve diferença na maioria dos atributos físico-químicos do solo entre os dois sítios ($P > 0,05$). A temperatura mínima foi 2,3°C maior na ADA, e registrado a intensificação do déficit de pressão de vapor d'água máximo em aproximadamente 7%, e uma redução da chuva de 22 mm ano⁻¹. Conclui-se que a mudança da vegetação Caatinga por áreas desnudas resultará em alterações significativas do clima regional com diminuição da concentração de vapor d'água no ar e redução das chuvas.

Palavras chave: Caatinga, desmatamento, estatística multivariada, nutrientes do solo.

**PHYSICAL AND CHEMICAL CHARACTERISTICS OF SOIL AND
METEOROLOGICAL CONDITIONS IN LANDSCAPES UNDER
ANTHROPIC DISTURBANCE IN THE BRAZILIAN SEMI-ARID REGION**

Abstract: The characterization of landscapes with different levels of anthropic disturbance improves the understanding of the effect of changing land use on climate. Comparisons of the physical-chemical attributes of the soil and the micrometeorological conditions of two Brazilian semi-arid landscapes were investigated in this study. The experiment was conducted at two sites, first in the Caatinga area with signs of cattle activity and second in a deforested area (ADA), both located in the North-South Axis of the central region of the State of Pernambuco. Data collection was performed between November 1, 2014 and October 31, 2017. Physical and chemical attributes of the sites, climatic conditions of the study area and micrometeorological characteristics of the landscapes were evaluated by applying descriptive and multivariate statistics. There was no difference of the majority of the physical-chemical attributes of the soil ($P>0.05$). The minimum air temperature was 2.3 °C highest in ADA, and recorded the intensification of the maximum water vapor pressure deficit by approximately 7%, and a rain reduction of 22 mm year⁻¹. In conclusion, the exchange of the vegetation Caatinga by bare areas will result in significant alterations of the regional climate with decrease of the water vapor concentration in the air and reduction of the rains.

Keywords: Caatinga, deforestation, multivariate statistics, soil nutrients.

1. Introdução

O Semiárido brasileiro tem sofrido forte pressão antrópica desde a década 70 do século XX e, por conseguinte, culminado no surgimento de vários tipos de

paisagens. O clima, extrativismo, manejo inadequado da agricultura e o sobrepastejo são os principais fatores das alterações da cobertura vegetal nativa (“Caatinga”) (Althoff et al., 2018).

Na atualidade, estima-se que metade da superfície original deste domínio já foi modificada (Schulz et al., 2016). Dessa forma, áreas agrícolas de grande ocupação (i.e. cana-de-açúcar, fruteiras) ou de subsistência (i.e. feijão, milho), pastagens e Unidades de Conservação dividem espaço com áreas nativas que sofreram algum tipo de impacto antrópico. Além disso, observam-se paisagens com predomínio de herbáceas, que se alternam com solo nu (Akhzari et al., 2015; Silva et al., 2011; Silva et al., 2017; Souza et al., 2011; Souza et al., 2015; Teixeira et al., 2008).

A remoção da vegetação aumenta a fragilidade das terras e modifica os ciclos biogeofísicos (i.e. atributos físicos do solo) e biogeoquímicos (i.e. emissões de gases de efeito estufa), assim como as trocas de energia e água (Althoff et al., 2018; Beltrán-Przekurat et al., 2012; Menezes et al., 2012; Montenegro et al., 2012; Teixeira et al., 2008), intensificando a desertificação em ambientes áridos, semiáridos e subúmidos a secos (Becerril-Piña et al., 2015).

A caracterização de paisagens com distintos níveis de perturbação antrópica aprimora o entendimento do efeito da mudança do uso do solo sobre o clima, e deste sobre as paisagens nativas e cultivadas (Hardwick et al., 2015; Teixeira et al., 2008; Zhao et al., 2017). Vários textos da literatura citam os efeitos da mudança da cobertura vegetal no microclima e nos atributos físicos e químicos do extrato do solo, considerando os diversos tipos de paisagens (Medeiros et al., 2017; Özkan & Gökbülak, 2017; Panday et al., 2015; Salazar et al., 2016; Silva et al., 2017).

Neste estudo, objetivou-se analisar os atributos físico-químicos do solo e condições micrometeorológicas em duas paisagens com perturbações antrópicas no

Semiárido brasileiro, visando o incentivo à ampliação de ações de reflorestamento da Caatinga.

2. Material e Métodos

2.1. Área de estudo

O estudo foi conduzido na área do Sistema CAAM-DES-AT (Vegetação CAatinga, Plantas CAM e áreas em DESertificação em interação com a ATmosfera), situada na Fazenda Algodões, que fica localizada na divisa entre os municípios de Floresta e Serra Talhada, sendo circundada pelos municípios de Mirandiba, Carnaubeira da Penha e Betânia, no Eixo Norte-Sul da região central do estado de Pernambuco, Sertão Central do Brasil (Fig. 1).

O clima da região é do tipo semiárido, conforme descrito por Alvares et al. (2013). Na área de estudo, há dois tipos dominantes de paisagens: vegetação nativa de caatinga (CAA em 8°18'31''S; 38°31'04''O, 379 m) e áreas desmatadas (ADA em 8°18'22''S; 38°30'43''O, 380 m), dentro das quais foram montados dois sítios experimentais (Fig. 1), ambos com distintos níveis de perturbação antrópica.

Os solos dos sítios, conforme levantamento Exploratório-Reconhecimento dos Solos do Estado de Pernambuco (<http://www.uep.cnps.embrapa.br/solos/pe>) são Luvisolos Crômicos (nomenclatura na nova classificação dos solos) (Embrapa, 2006).

No sítio CAA, há indícios de atividade pecuária, com a ocorrência do pastoreio de animais bovinos, caprinos e ovinos e, esporadicamente, remoção de plantas para utilização como lenha. Em contraste, a ADA surgiu na década 20 do século XX, com o avanço de atividades agrícolas de pequena ocupação. Na maioria dos casos, ocorre cultivo de espécies alimentícias de subsistência ou plantio de pastos de espécies

exóticas para alimentação animal. Atualmente, a ADA é ocupada por espécies herbáceas, alternando com solo nu nos meses caracterizados por baixa pluviosidade.

2.2. Atributos físico-químicos dos solos dos sítios Caatinga e Área desmatada

Amostras de solo foram coletadas com um trado tipo Uhland, de forma aleatória, em seis datas, com intervalo médio de três meses, entre janeiro de 2016 e agosto de 2017. As coletas foram feitas até a profundidade de 0,60 m, resultando em seis camadas de 0,00-0,10 m a 0,50-0,60 m. Esta etapa foi conduzida para análise da diferença nos atributos químico-físicos entre as duas paisagens (CAA e ADA).

Os atributos físicos foram obtidos conforme a metodologia da Embrapa (2009): capacidade de campo (CC a 0,01 MPa), ponto de murcha permanente (PMP a 15 MPa), densidade do solo (D_s , kg m^{-3}) e de partículas (D_p , kg m^{-3}), porosidade total (Pt, %) e as frações de areia total (At., g kg^{-1}), silte (Sil., g kg^{-1}) e argila (Arg., g kg^{-1}). Essas frações foram usadas na classificação textural do solo dos dois sítios (Lemos e Santos, 1996). Por sua vez, os atributos químicos obtidos do extrato do solo foram: condutividade elétrica (C.E., dS m^{-1}), potencial hidrogeniônico (pH), carbono orgânico total (C, g kg^{-1}), fósforo (P, mg dm^{-3}), potássio (K, $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$), sódio (Na, $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$), cálcio (Ca^{2+} , $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$), magnésio (Mg^{2+} , $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$), acidez trocável (Al^{3+} , $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$), acidez potencial (H+Al, $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$), soma de bases (SB, $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$), capacidade troca de cátions (CTC, $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$), saturação de bases (V, %), cobre (Cu, mg dm^{-3}), ferro (Fe, mg dm^{-3}) e manganês (Mn, mg dm^{-3}) (Embrapa, 2009).

2.3. Dados meteorológicos da área do sistema CAAM-DES-AT

Dados de duas estações meteorológicas, sendo uma situada no município de Serra Talhada-PE e outra no município de Floresta-PE, além de seis postos

pluviométricos (Floresta-PE, Mirandiba-PE, Carnaubeira da Penha-PE, Betânia-PE e dois em Serra Talhada-PE) foram usados para a caracterização climática da área de estudo. Esses municípios estão situados em um raio de 44 km (norte), 36 km (sul), 31 km (leste) e 52 km (oeste) dos sítios experimentais (CAA e ADA), respectivamente.

Os postos pluviométricos pertencem à Agência Pernambucana de Águas e Clima (APAC, Sistema de Geoinformação Hidrometeorológico de Pernambuco, www.apac.pe.gov.br), os quais possuem séries de dados de 15 até 105 anos. A estação meteorológica de Serra Talhada-PE é uma plataforma de coleta de dados automática com série de 18 anos. Por sua vez, a estação meteorológica de Floresta-PE, classificada como convencional completa pelo Instituto Nacional de Meteorologia, possui uma série histórica com 22 anos (www.inmet.gov.br).

A partir das estações meteorológicas, foram usados dados de temperatura e umidade relativa do ar, radiação solar global e, ou, horas de brilho solar, pressão atmosférica e velocidade do vento para a estimativa da evapotranspiração de referência (ET_o) pelo método de Penman Monteith, descrito no boletim 56 da FAO (Allen et al., 1998). A utilização dos dados das estações meteorológicas e dos postos pluviométricos foi realizada a fim de obter dados que caracterizem climaticamente a região da área de estudo (normais climatológicas).

2.4. Medições micrometeorológicas nos sítios Caatinga e Área desmatada

Em novembro de 2014, duas torres de ferro galvanizado, sendo uma com 8 m de altura instalada na CAA e outra com 3 m na ADA, foram utilizadas para a identificação de diferenças micrometeorológicas entre essas paisagens. As torres foram montadas em áreas planas e homogêneas com razão altura:bordadura na direção predominante do vento superior a 1:100 no sítio CAA e de 1:60 na ADA. O

período de coleta de dados foi de 01 de novembro de 2014 a 31 de outubro de 2017 (1.102 dias ou 36 meses).

O sistema de aquisição de dados foi constituído por um datalogger (CR10X, Campbell Scientific Inc., Logan, Utah, USA), associado a um multiplexador (AM16/32, Campbell Scientific Inc., Logan, Utah, USA). No período experimental, o sistema foi programado para realizar medições em intervalos de 60 s, a partir da utilização de sensores eletrônicos, registrando valores médios a cada 10 min.

Em ambos os sítios experimentais, dados de temperatura (T , °C) e umidade relativa do ar (UR, %) foram medidos por meio de dois psicrômetros aspirados, constituídos de termopares de Cobre-Constantan (Tipo T), sendo um posicionado a 0,5 m acima da superfície vegetada e o segundo a 1,5 m acima do primeiro psicrômetro. A UR e o déficit de pressão de saturação de vapor d'água no ar (DPV, kPa) foram calculados por meio de equações psicrométricas, de acordo com procedimentos descritos por Silva et al. (2011).

2.5. Análises estatísticas

A estatística descritiva (valores máximos e mínimos; amplitude - A , média - μ e coeficiente de variação - CV) foi aplicada aos atributos físico-químicos do solo para avaliação das suas dispersões e o teste F de Snedecor para comparação entre os sítios. Além disso, foi adotada a análise multivariada de componentes principais (ACP) para identificação dos elementos mais associados a cada sítio ou das similaridades entre estes. A dispersão foi avaliada com base na classificação de Warrick e Nielsen (1980): baixa variabilidade ($CV < 12\%$), média ($12 \leq CV \leq 62\%$) e alta variabilidade ($CV > 62\%$).

Aos dados das duas estações meteorológicas e dos seis postos pluviométricos, aplicou-se a estatística descritiva para formação de dois grupos. O primeiro foi

referente à média anual histórica de “n” anos de cada estação meteorológica e posto pluviométrico (“n” variou conforme a estação e o posto). Já o segundo grupo considerou apenas as médias de novembro de 2014 a outubro de 2017 (3 anos) (período de medição micrometeorológica nos dos sítios CAA e ADA).

Este último procedimento foi adotado para a escolha da estação ou posto que representasse adequadamente o padrão de precipitação pluviométrica dos sítios. A análise de Cluster Aglomerativa Hierárquica (ACAH) foi empregada ao banco de dados de 3 anos e incluiu a média dos totais anuais das estações meteorológicas automática e convencional do INMET e dos seis postos, além da média oriunda das duas torres micrometeorológicas instaladas nos sítios (CAA e ADA). Assim, a média dos dados de precipitação entre essas duas torres foi utilizada, uma vez que a diferença do total anual médio entre as mesmas não superou 30 mm ano⁻¹.

A análise de regressão linear dos valores máximos (T_X , UR_X e DPV_X), médios (T_M , UR_M e DPV_M), mínimos (T_N , UR_N e DPV_N) e diários da T, UR e DPV entre os sítios foi utilizada para identificação de diferenças nas suas magnitudes. As regressões foram avaliadas por meio do teste F de Snedecor, considerando-se as equações como significativas quando $P < 0,05$.

3. Resultados

3.1. Atributos físico-químicos dos solos dos sítios Caatinga e Área desmatada

A classificação textural dos Luvisolos Crômicos das duas paisagens (CAA e ADA), com base na média do tamanho das partículas de seis camadas (0,0-0,10 m a 0,50-0,60 m), variou predominantemente de franco-arenoso a franco-argilo-arenoso (Fig. 2).

Os atributos físicos para ambas as paisagens, mesmo com as amostras de solo sendo coletadas em distintas datas (6) e profundidades (6), exibiram, em geral, baixo

CV (< 13%, Tabela 1), conforme a classificação proposta por Warrick e Nielsen (1980). Já para a maioria dos atributos químicos, o CV variou de médio ($12 \leq CV \leq 62\%$) a alto ($CV > 62\%$), sendo as exceções constatadas para o pH, C, Ca^{2+} , V e M.O, que tiveram CV baixo.

A ACP revelou similaridade na maioria dos atributos físico-químicos do solo dos dois sítios (Fig. 3). Três componentes principais (CP) foram suficientes para explicar 62,3% da variabilidade dos dados originais, com CP1, CP2 e CP3, respondendo por 29,1%, 18,6% e 14,4%, respectivamente. Em ordem decrescente de correlação, C, Ca^{2+} , H+Al, CC, Ds, Argila e PM exibiram peso positivo na CP1, enquanto Pt, V e Fe tiveram peso negativo (Fig. 3A). No CP2, as variáveis CTC, Na, SB e K mostraram correlação positiva e P negativa. Mn e Areia têm peso positivo na CP3, ao passo que silte e Mg^{2+} revelaram pesos negativos (Fig. 3C).

A CP1 e CP2 foram constituídas pelos atributos dos dois sítios (Fig. 3B), já a CP3 apenas pela ADA (Fig. 3D). No entanto, o CP3 apresentou baixo aporte na variação dos atributos físico-químicos (14,4%). Poucos atributos físico-químicos se diferenciaram entre os sítios ($p < 0,05$, F): Ds, PMP e Argila foram superiores na CAA e P na ADA ($p < 0,05$, F) (Tabela 1).

3.2. Caracterização climática da área de estudo do sistema CAAM-DES-AT

Para os dados climáticos, o método ACAH indicou que os postos pluviométricos situados na sede do próprio município de Floresta-PE e no município de Betânia são os que mais representam o padrão de chuvas dos sítios estudados (Fig. 4A), embora não sejam os mais próximos (36 e 52 km de distância dos sítios experimentais).

Na direção Norte-Sul, os sítios CAA e ADA estão localizados a 44 km de Serra Talhada-PE e 36 km de Floresta-PE, ou seja, eles estão localizados em uma área de

transição entre os dois municípios. Assim, o padrão dos demais elementos climáticos da região de estudo foi definido pela média dos dados das estações meteorológicas (INMET e APAC) situadas nestes dois municípios (Fig. 4B).

A precipitação pluviométrica do Eixo Norte-Sul da região central de Pernambuco, onde está situada a área de estudo do sistema CAAM-DES-AT, possui média histórica de 489 mm ano^{-1} , com 75% desse total concentrado nos meses de dezembro e abril. Por outro lado, a ETo anual é de 2023 mm ano^{-1} , com maiores magnitudes ocorrendo entre os meses de outubro e dezembro ($\sim 203 \text{ mm mês}^{-1}$) e menores de maio a junho ($\sim 132 \text{ mm mês}^{-1}$). Nesta ordem, esses meses são os de maiores e menores incidências de radiação solar global (Fig. 4B), sendo o valor médio anual igual a $22,2 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$. O DPV segue o padrão da radiação solar, aumentando a partir de julho quando há poucos eventos de chuva, fato que proporciona redução da umidade relativa e elevação da temperatura do ar. Em termos médios anuais, o DPV é de 1,3 kPa.

3.3. Medições micrometeorológicas nos sítios Caatinga e Área desmatada

Do ponto de vista micrometeorológico, observaram-se diferenças da T, UR e DPV entre os sítios (Fig. 5). A T_M na ADA foi, em média, 3% maior do que no sítio CAA (Fig. 5A), em especial, por causa do aumento da T_N , já que a T_X tendeu a reduzir 3,5%. A T_N exibiu um incremento de 11%, o que equivale $2,3^\circ\text{C}$. Assim, considerando o intervalo de confiança de 95% ($\alpha = 0,05$), é altamente provável que a substituição da Caatinga por vegetação herbácea promova aumento da T_M .

A UR_M , UR_X e UR_N também foram maiores no sítio ADA, porém as suas grandezas foram inferiores à significância $\alpha = 0,05$ (Fig. 5B). Todavia, quando foi considerado o efeito combinado da T e UR, verificou-se que o DPV foi, em média, 6% ($0,10 \text{ kPa}$) maior na ADA quando comparado ao sítio CAA, sobretudo por causa

do incremento do DPV_x (~7%) (Fig. 5C). Em termos de precipitação pluviométrica, a ADA apresentou redução de chuva na ordem de 22 mm ano^{-1} em comparação com o sítio CAA (Fig. 5D), o que equivale a -5%.

4. Discussões

4.1. Atributos físico-químicos dos solos dos sítios Caatinga e Área desmatada

Este tipo de solo é típico de ambientes com deficiência hídrica e recobre cerca de 15% do Semiárido brasileiro (Oliveira et al., 2009). A textura mais arenosa é resultado da rocha de origem (metamórfica) e do processo de intemperização.

A variabilidade física do solo depende do seu processo de intemperização, número de amostras, homogeneidade da área e manejo adotado (Oliveira et al., 2009; Akhzari et al., 2015; Medeiros et al., 2017; Mello et al., 2015). Nos dois sítios, o pastoreio foi baixo e, em especial, na ADA há anos que não são feitas práticas de mecanização, observando-se, por isso, pouca variação das características físicas do solo.

Os atributos químicos do extrato do solo, por sua vez, além dos fatores antes citados, sofrem efeito da flutuação das condições meteorológicas de curto prazo e, ou, fitossociológicas, bem como do processo de lixiviação ao longo do perfil do solo. Assim, ocorrem alterações nos teores dos nutrientes, no tempo e no espaço (Özkan e Gökbülak, 2017).

Como a ADA não está sendo utilizada recentemente para o desenvolvimento de atividades agrícolas, então não foi sujeita a práticas de fertilização nos últimos anos. Dessa maneira, era de se esperar o efeito da variação dos elementos meteorológicos nos teores de nutrientes do solo (dados não mostrados); mas esta evidência não foi constatada no presente estudo.

Os resultados obtidos da ACP indicaram que a mudança da cobertura pouco afetou os atributos do solo. A D_s foi menor na ADA, logo que este sítio já foi submetido a práticas de preparo convencional (i.e. aração e gradagem). O PMP depende da fração de argila; o maior teor desta fração na CAA implica na presença mais expressiva de microporos e, por conseguinte, maior adsorção de água no solo (Coelho et al., 2014). A correlação inversa da D_s , PMP e argila com o P mostra que os sucessivos anos de atividade agrícola aumentaram os teores deste elemento na ADA. Efeitos da mudança da cobertura e do uso da terra sobre as propriedades físico-químicas são citados em vários estudos (Bertossi et al., 2016; Schulz et al., 2016; Medeiros et al., 2017; Özkan e Gökbülak, 2017).

4.2. Caracterização climática da área de estudo do sistema CAAM-DES-AT

Constatou-se que o padrão e as magnitudes das variáveis meteorológicas obtidas para a área de estudo do sistema CAAM-DES-AT (Fig. 4B) seguem aqueles relatados por Silva (2004) para outros municípios do Semiárido brasileiro. A precipitação pluviométrica varia muito no tempo e no espaço, sendo no Estado de Pernambuco afetada pelo relevo (Planalto da Borborema), continentalidade/oceanalidade, e flutuações Norte-Sul da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e Leste-Oeste dos Distúrbios Ondulatórios de Leste (DOL) (Silva et al., 2011b).

4.3. Medições micrometeorológicas nos sítios Caatinga e Área desmatada

Segundo Salazar et al. (2016), o desmatamento de biomas causa acréscimo da T_M em até 1,4°C, a depender do tipo de vegetação, localização e época do ano. Nesta condição, ocorre aumento do DPV em área de pastagem comparada à Caatinga, como verificado por Silva et al. (2017). Resultado similar foi destacado por

Hardwick et al. (2015), em plantios de dendê e de florestas explorada e primária (DPV: 1,2; 0,3 e 0,2 kPa). Dessa forma, a evapotranspiração potencial é incrementada (Montenegro & Ragab, 2012).

Panday et al. (2015) citam que a ocorrência simultânea da variabilidade climática e do desmatamento mascaram os seus efeitos no balanço de água. No entanto, a remoção demasiada da vegetação nativa (>55% da superfície original) pode reduzir, de maneira significativa, o nível de chuva de uma região. Afirma-se que mais de 50% da cobertura vegetal da Caatinga já foi desmatada (Althoff et al., 2018), o que pode justificar a redução dos níveis pluviométricos da região de estudo.

5. Conclusões

1. Pela análise de componentes principais, a comparação entre um sítio de Caatinga e outro desmatado indica que a mudança do uso do solo não afeta a maioria dos atributos físico-químicos do solo.
2. O sítio caracterizado por área desmatada possuiu maiores magnitudes de temperatura e déficit de pressão de vapor d'água no ar quando comparado ao de vegetação nativa com Caatinga.
3. A precipitação pluviométrica na área desmatada é inferior àquela com Caatinga.
4. O desmatamento da Caatinga resulta em alterações significativas do clima regional, com a diminuição da concentração de vapor d'água no ar e redução da precipitação pluviométrica.

Agradecimentos

À FACEPE (APQ-1159-1.07/14) e ao CNPq (nº. 475279/2010-7 e nº. 476372/2012-7) pelos auxílios financeiros, e a CAPES pela bolsa de estudo do primeiro autor.

Referências

- Akhzari, D.; Pessarakli, M.; Ahandani, S. E., 2015. Effects of Grazing intensity on soil and vegetation properties in a Mediterranean Rangeland. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 1–9.
- Allen, R.G.; Pereira; L.S.; Raes, D. *Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements*. Rome: FAO, 1998. 300p.
- Althoff, T.D., Menezes, R.S.C.; Pinto, A.S.; Pareyn, F.G.C.; Carvalho, A.L.; Martins, J.C.R.; Carvalho, E.X.; Silva, A.S.A.; Dutra, E.D.; Sampaio, E.V.S.B., 2018. Adaptation of the century model to simulate C and N dynamics of Caatinga dry forest before and after deforestation. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 254, 26–38.
- Alvares, C.A., Stape, J.L., Sentelhas, P.C., Gonçalves, J.L.M., Sparovek, G., 2013. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorol. Zeitschrift* 22, 711–728.
- Becerril-Piña, R., Mastachi-loza, C.A., González-Sosa, E., Díaz-Delgado, C., Bâ, K.M., 2015. Assessing desertification risk in the semi-arid highlands of central Mexico. *Journal of Arid Environments*, 120, 4–13.
- Beltrán-Przekurat, A., Pielke, R.A., Eastman, J.L., Coughenour, M.B., 2012. Modelling the effects of land-use/land-cover changes on the near-surface atmosphere in southern South America. *Int. J. Climatol.* 32, 1206–1225.
- Bertossi, A.P.A., Rocha Júnior, P.R., Ribeiro, P.H., Menezes, J.P.C., Cecílio, R.A., Andrade, F.V., 2016. Soil cover and chemical and physical attributes in oxisol in the atlantic forest biome. *Revista Árvore*, 40, p.219–228.
- Coelho, V.H.R., Montenegro, S.M.G.L., Almeida, C. das N., Lima, E.R.V. de, Ribeiro Neto, A., Moura, G.S.S. de, 2014. Dinâmica do uso e ocupação do solo

em uma bacia hidrográfica do semiárido brasileiro. *Rev. Bras. Eng. Agrícola e Ambient.* 18, 64–72.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. Rio de Janeiro: Embrapa, 2006. 306p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Manual de Análises Químicas de Solos, Plantas e Fertilizantes. 2º ed. Brasília, DF: Embrapa, 2009. 627p.

Hardwick, S.R., Toumi, R., Pfeifer, M., Turner, E.C., Nilus, R., Ewers, R.M., 2015. The relationship between leaf area index and microclimate in tropical forest and oil palm plantation: Forest disturbance drives changes in microclimate. *Agric. For. Meteorol.* 201, 187–195.

Lemos, R.C., Santos, R.D. Manual de descrição e coleta de solo no campo. 3. ed. Campinas, SP: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1996. 84p.

Medeiros, E.V., Duda, G.P., Santos, L.A.R., Lima, J.R.S., Almeida-Cortêz, J.S., Hammecker, C., Lardy, L., Cournac, L., 2017. Soil organic carbon, microbial biomass and enzyme activities responses to natural regeneration in a tropical dry region in Northeast Brazil. *Catena*, 151, 137–146.

Mello, J.M., Couto, E.G., Amorim, R.S.S., Chig, L.A., Johnson, M.S., Lobo, F.A. 2015. Dinâmica dos atributos físico-químicos e variação sazonal dos estoques de carbono no solo em diferentes fitofisionomias do Pantanal Norte Mato-grossense. *Revista Árvore*, 39, 325–336.

Montenegro, S., Ragab, R., 2012. Impact of possible climate and land use changes in the semiarid regions: A case study from North Eastern Brazil. *J. Hydrol.* 434–435, 55–68.

- Oliveira, L.B., Fontes, M.P.F., Ribeiro, M.R.; Ker, J.C., 2009. Morfologia e classificação de luvisolos e planossolos desenvolvidos de rochas metamórficas no semiárido do nordeste brasileiro. *Revista Bras. Ciências do Solo*, 33, 1333–1345.
- Özkan, U., Ferhat Gökbülak, F., 2017. Effect of vegetation change from forest to herbaceous vegetation cover on soil moisture and temperature regimes and soil water chemistry. *Catena*, 149, 158–166.
- Panday, P.K., Coe, M.T., Macedo, M.N., Lefebvre, P., Castanho, A.D. de A., 2015. Deforestation offsets water balance changes due to climate variability in the Xingu River in eastern Amazonia. *J. Hydrol.* 523, 822–829.
- Salazar, A., Katzfey, J., Thatcher, M., Syktus, J., Wong, K., McAlpine, C., 2016. Deforestation changes land-atmosphere interactions across South American biomes. *Glob. Planet. Change* 139, 97–108.
- Schulz, K., Voigt, K., Beusch, C., Almeida-Cortez, J.S., Kowarik, I., Walz, A., Cierjacks, A., 2016. Grazing deteriorates the soil carbon stocks of Caatinga forest ecosystems in Brazil. *For. Ecol. Manage.* 367, 62–70.
- Silva, P.F.D., Lima, J.R.D.S., Antonino, A.C.D., Souza, R., de Souza, E.S., Silva, J.R.I., Alves, E.M., 2017. Seasonal patterns of carbon dioxide, water and energy fluxes over the Caatinga and grassland in the semi-arid region of Brazil. *J. Arid Environ.* 147, 71–82.
- Silva, T.G.F., Moura, M.S.B., Zolnier, S., Soares, J. M., Souza, L.S.B., Brandão, E.O., 2011a. Variação do balanço de radiação e de energia da cana-de-açúcar irrigada no semiárido brasileiro. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 15, 139–147.

- Silva, V. de P.R. da, 2004. On climate variability in Northeast of Brazil. *J. Arid Environ.* 58, 575–596.
- Silva, V.P.R., Pereira, E.R.R.P., Azevedo, P.V., Sousa, F.A.S., Sousa, I.F. 2011b. Análise da pluviometria e dias chuvosos na região Nordeste do Brasil. *Revista Bras. Engenharia Agrícola e Ambiental*, 15, 131–138.
- Warrick, A.W.; Nielsen, D.R. Spatial variability of physical properties in the field. In: HILLEL, D. (Ed.). *Applications of soil physics*. New York: Academic Press, 1980. 319–344.
- Zhao, W.; Hu, Z.; Li, S.; Guo, Q.; Liu, Z.; Zhang, L., 2017. Comparison of surface energy budgets and feedbacks to microclimate among different land use types in an agro-pastoral ecotone of northern China. *Science of the Total Environment*, 599–600, 891–898.

Tabela 1. Estatística descritiva (média, máximo e mínimo valores, A - amplitude, μ - média e CV - coeficiente de variação) dos atributos físico-químicos dos solos dos sítios do Domínio de Caatinga (CAA) e da área desmatada adjacente (ADA) com predomínio de espécies herbáceas no município de Floresta, PE, no Sertão Central do Brasil.

Variável	Mínimo	Máximo	A	μ	CV(%)	Mínimo	Máximo	A	μ	CV(%)
	Domínio de Caatinga (CAA)					Área desmatada (ADA)				
Atributos físicos										
At.	661	689	28	672	2	646	750	104	697	5
Sil.	182	219	37	201	8	175	259	84	217	13
Arg.	112	146	33	126a	11	70	100	30	83b	12
CC	13,38	15,76	2,38	15,03	5	12,61	16,02	3,42	13,92	8
PM	7,35	8,60	1,26	8,13a	6	5,37	7,00	1,63	6,20b	8
Ds	1,39	1,53	0,15	1,47a	4	1,35	1,46	0,11	1,39b	3
Dp	2,42	2,62	0,19	2,54	3	2,42	2,58	0,17	2,54	2
Pt	35,3	47,1	11,8	41,8	9	41,9	46,8	4,8	44,9	4
Atributos químicos										
C.E.	0,28	3,22	2,93	0,91	114	0,31	1,01	0,69	0,54	46
pH	5,83	6,85	1,02	6,36	5	5,96	6,41	0,46	6,19	3
C	2,08	5,63	3,55	3,42	32	2,04	2,73	0,69	2,47	9
P	2,81	19,29	16,48	7,32b	76	8,63	21,47	12,84	15,83a	32
K	0,16	7,64	7,48	2,23	133	0,20	7,80	7,60	2,61	129
Na	0,08	15,05	14,97	4,37	129	0,07	3,21	3,14	1,07	127
Ca	4,22	7,55	3,33	6,12	21	4,77	5,17	0,40	5,01	3
Mg	2,13	3,62	1,49	2,54	19	1,67	3,53	1,86	2,48	25
H+Al	0,47	2,50	2,03	1,16	58	0,24	1,81	1,57	0,75	71
SB	8,62	31,62	23,00	15,01	56	7,03	18,14	11,11	11,16	40
CTC	9,35	32,08	22,73	16,17	50	7,86	18,40	10,54	11,92	36
V	77,12	98,13	21,02	89,87	8	83,33	98,54	15,21	92,61	6
Cu	0,16	0,97	0,81	0,60	53	0,21	0,78	0,57	0,45	40
Fe	18,62	54,27	35,65	37,41	31	15,81	63,74	47,93	44,93	40
Mn	4,95	40,63	35,68	22,85	48	6,69	51,53	44,84	29,49	47
Zn	0,45	1,29	0,83	0,83	31	0,52	1,53	1,01	1,07	34
M.O.	4,49	9,72	5,23	6,72	33	4,56	4,67	0,11	4,61	1

Capacidade de campo (CC, MPa), ponto de murcha permanente (PMP, MPa), densidade do solo (Ds, kg m^{-3}) e da partícula (Dp, kg m^{-3}), porosidade total (Pt, %) e as frações de areia total (At., g kg^{-1}), silte (Sil., g kg^{-1}) e argila (Arg., g kg^{-1}), condutividade elétrica (C.E., mS cm^{-1}), potencial hidrogeniônico (pH), carbono orgânico total (C, g kg^{-1}), fósforo (P, mg dm^{-3}), potássio (K, $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$), sódio (Na, $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$), cálcio (Ca^{2+} , $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$), magnésio (Mg^{2+} , $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$), acidez trocável (Al^{3+} , $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$), acidez potencial (H+Al, $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$), soma de bases (SB, $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$), capacidade troca de cátions (CTC, $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$), saturação de bases (V, %), cobre (Cu, mg dm^{-3}), ferro (Fe, mg dm^{-3}) e manganês (Mn, mg dm^{-3}). Os valores de μ dos sítios CAA e ADA seguidos de mesma letra minúscula não diferenciam entre si pelo teste F de Snedecor ($p > 0,05$).

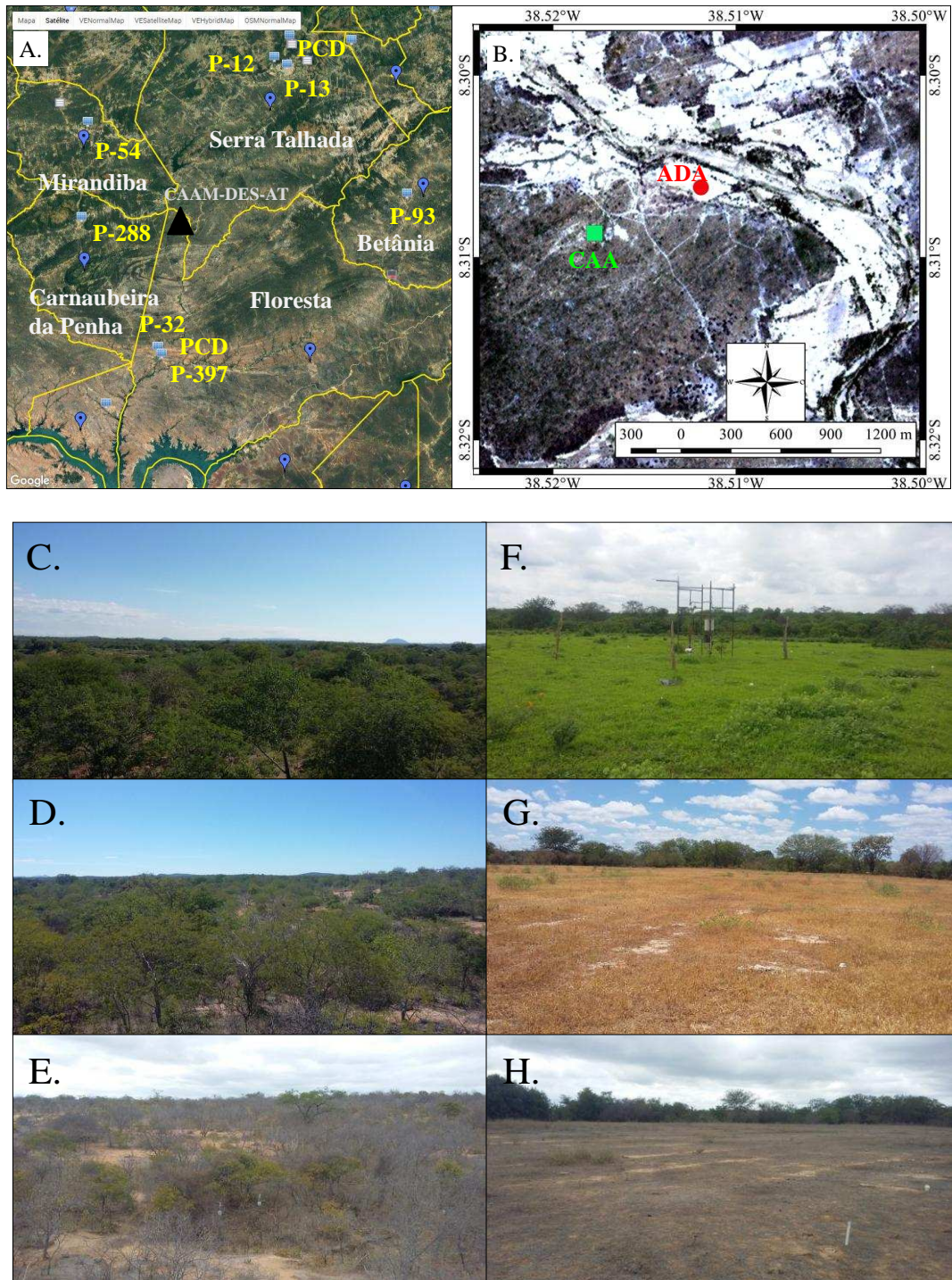


Fig. 1. (A) Localização das plataformas de coleta de dados (PCD) e dos postos pluviométricos (P) e, (B) dos sítios experimentais do Domínio de Caatinga (C, D, E) e da área desmatada adjacente (F, G, H), no Eixo Norte-Sul da região central do Estado de Pernambuco, Sertão Central do Brasil. Obs. Na Fig. A, os quadrados em azul indicam a localização das PCDs e dos P, os balões em azul a sede dos municípios e o triângulo preto a área de estudo do sistema CAAM-DES-AT. Na Fig. B, o quadrado verde indica o sítio do Domínio de Caatinga (CAA) e o círculo vermelho o sítio da área desmatada adjacente (ADA).

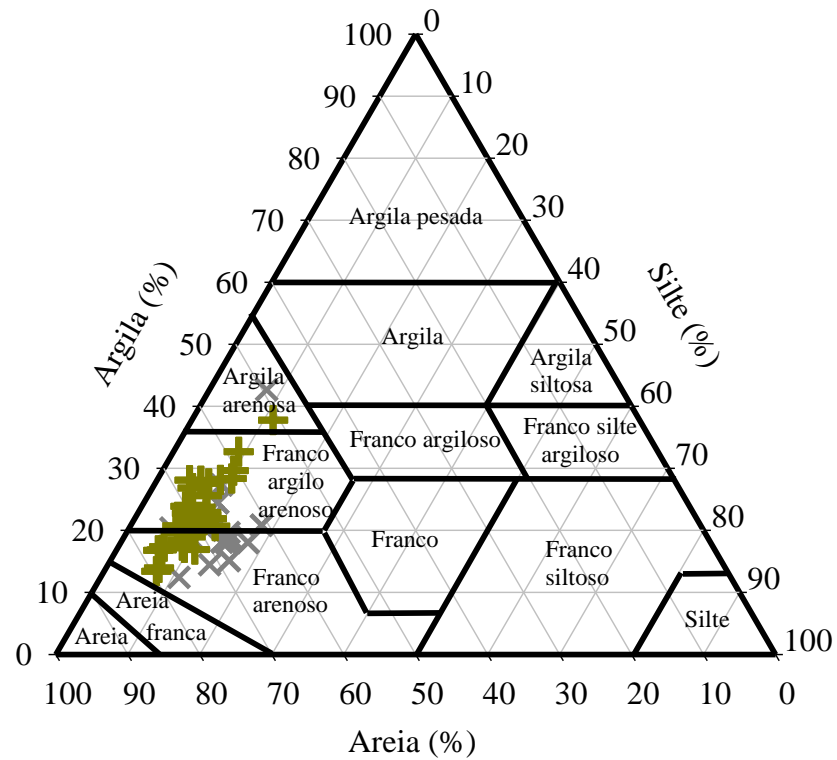


Fig. 2. Diagrama de textura dos solos dos sítios do Domínio de Caatinga (CAA, símbolos cinza) e da área desmatada adjacente (ADA, símbolos amarelo escuro) com predomínio de espécies herbáceas, no município de Floresta, PE, no Sertão Central do Brasil.

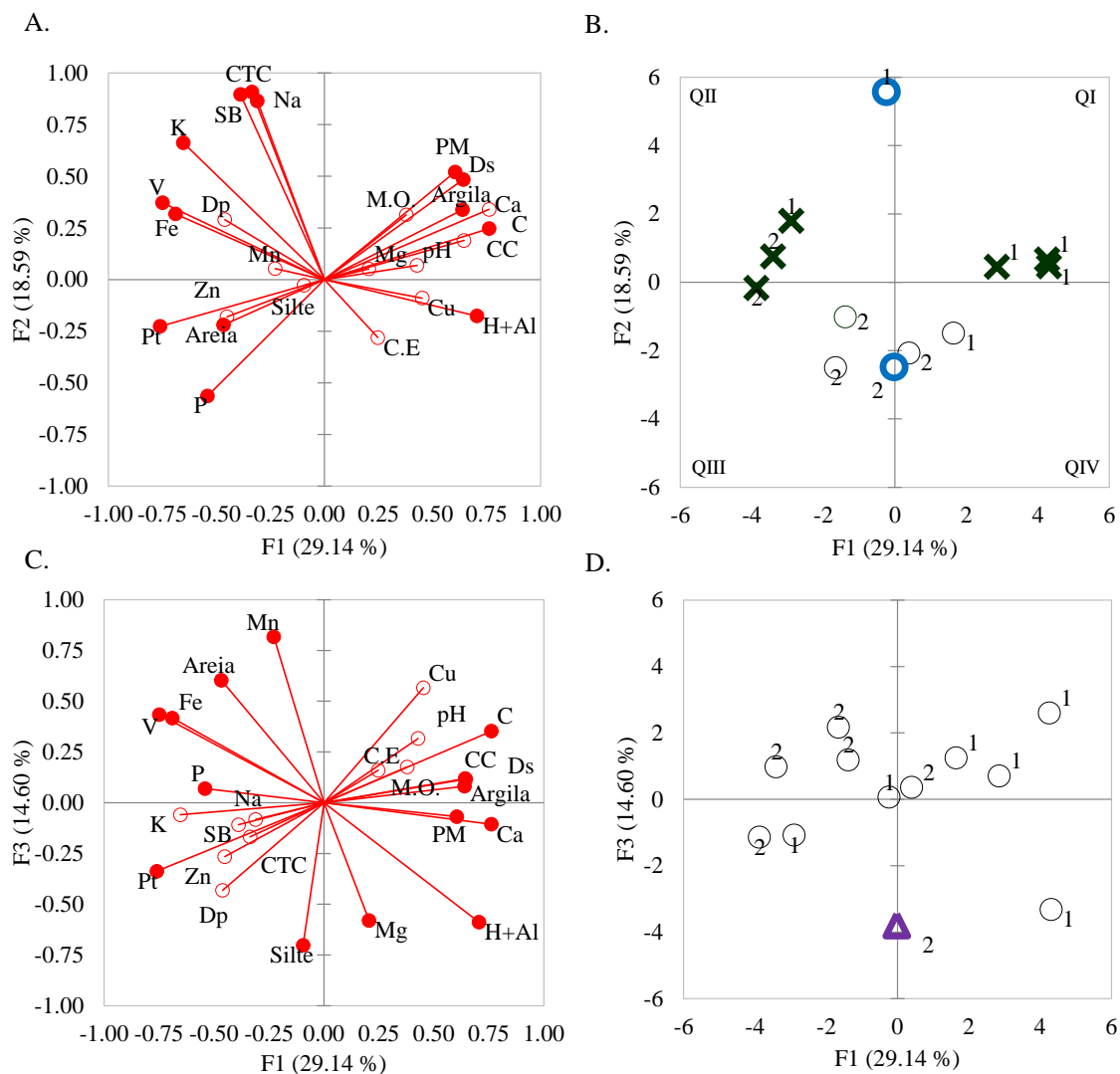


Fig. 3. Análise de componentes principais (CP) dos atributos físico-químicos dos solos dos sítios do Domínio de Caatinga (1 - CAA) e da área desmatada adjacente (2 - ADA) com predomínio de espécies herbáceas, no município de Floresta, PE, no Sertão Central do Brasil. (A) Autovetores e (B) autovalores do primeiro CP; e, (C) Autovetores e (D) autovalores do segundo CP.

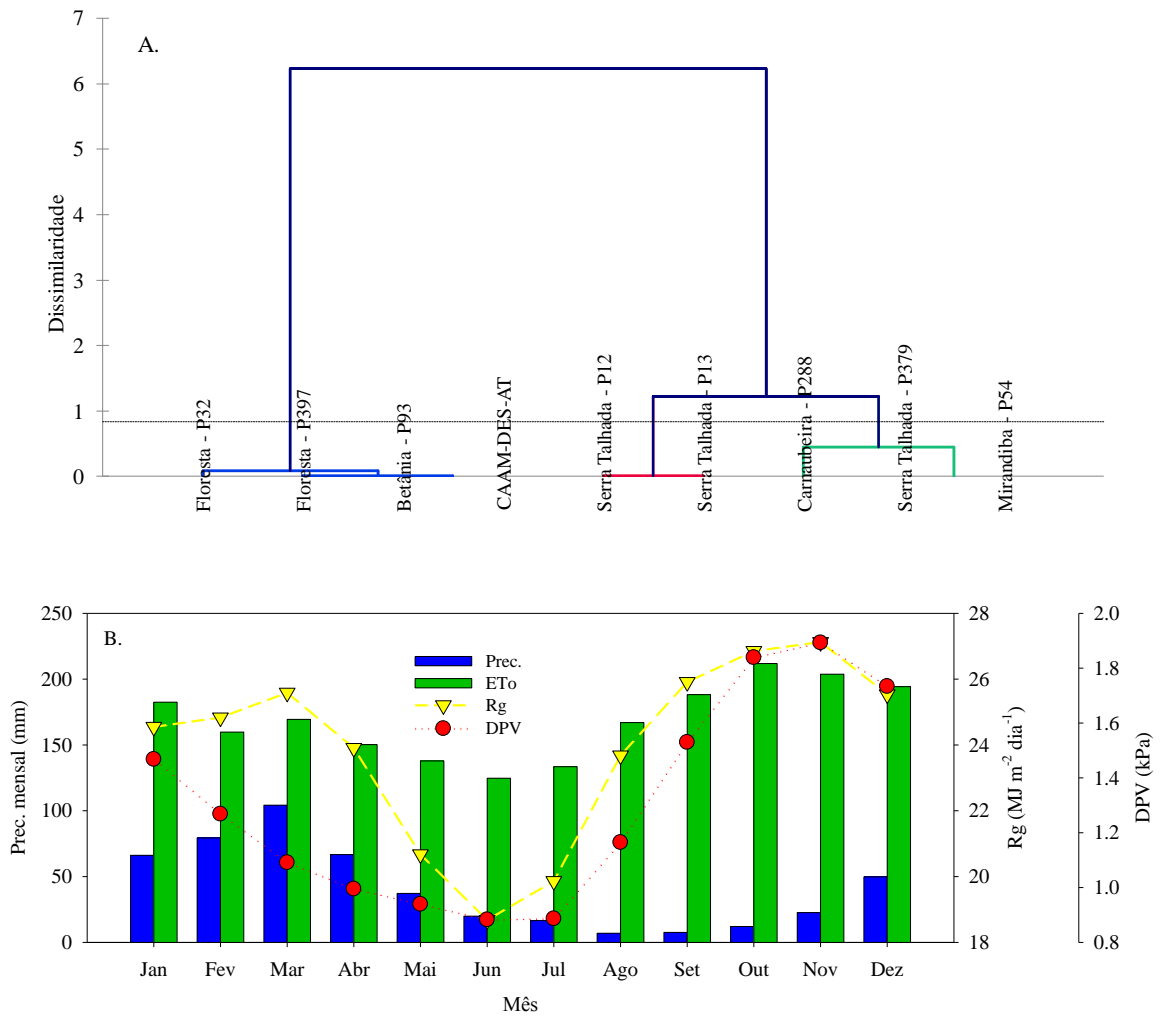


Fig. 4. (A) Análise de agrupamento da precipitação pluviométrica (Prec.) de municípios circunvizinhos aos sítios experimentais (Sistema CAAM-DES-AT) no Sertão Central do Brasil, (B) série histórica resultante da Prec. e demais variáveis (ETo, radiação solar global - Rg e déficit de pressão de vapor d'água no ar - DPV).

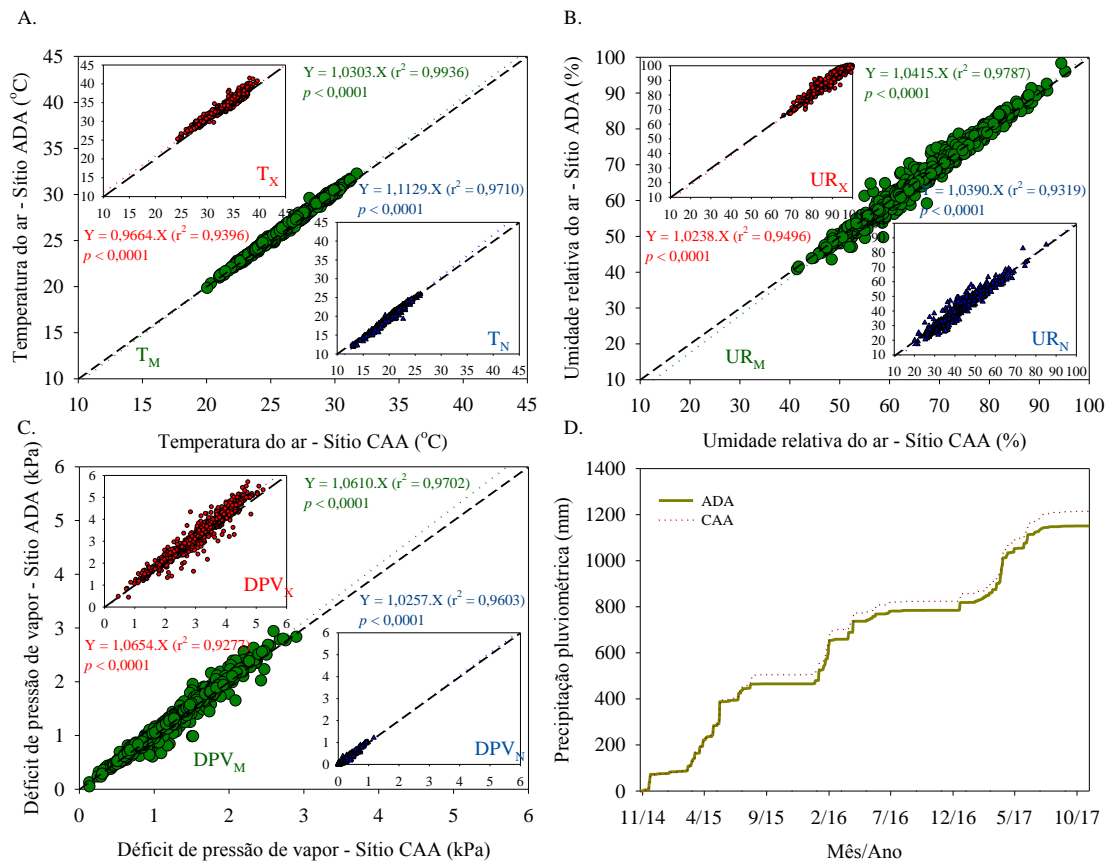


Fig. 5. Relação entre a temperatura do ar (A), umidade relativa do ar (B) e déficit de pressão de vapor (C) e, (D) precipitação acumulada dos sítios do Domínio de Caatinga (CAA) e da área desmatada adjacente (ADA) com predomínio de espécies herbáceas, no município de Floresta, PE, no Sertão Central do Brasil.

III ARTIGO

**DINÂMICA ESPAÇO-TEMPORAL DA UMIDADE DO SOLO EM
SUPERFÍCIES COM MUDANÇA NO USO DA TERRA NO SEMIÁRIDO
BRASILEIRO**

Resumo: A região Semiárida brasileira sofre constante mudança do uso da terra, devido ao processo de desmatamento, além de forte sazonalidade hídrica, representada entre outras variáveis, pelo declínio do teor de umidade do solo. Neste estudo, a influência do uso da terra na dinâmica da umidade do solo é analisada. Para este fim, foram avaliados três sítios experimentais, caracterizados por diferentes usos da terra: agroecossistema de palma forrageira, ambiente desmatado e área de vegetação caatinga, situados no sertão central Semiárido Brasileiro. Foi feita a calibração de sondas capacitivas Diviner2000®, por meio da relação entre a umidade volumétrica do solo (θ_v) obtida pelo método gravimétrico e as leituras de frequência relativa das sondas. Semanalmente, foram realizadas medições da umidade em 22 pontos nas profundidades de 0,00-0,60 m, durante o período de novembro/2014 a outubro/2017, obtendo-se um total de 157 dias amostrados. Foram analisadas as médias e desvios padrão da θ_v nas três superfícies, ao longo de doze períodos, agrupados de acordo com o regime hídrico local em: chuvoso, seco e transição. Para a análise da estabilidade temporal da θ_v , foi feito o cálculo da diferença relativa e da matriz de correlação de Spearman. Por fim, foram realizadas regressões entre os valores médios de θ_v e propriedades físicas do solo. Com base nos resultados, as curvas de calibração local apresentaram coeficientes de determinação significativos, indicando que as equações podem ser utilizadas em estimativas confiáveis da θ_v . A θ_v foi superior na caatinga ($0,086 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$), intermediária na palma forrageira ($0,064 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$), e inferior na área desmatada ($0,045 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$). A mudança no uso da terra tem

influência na variabilidade espacial da θ_v nas camadas de solo, as quais se apresentaram responsivas ao regime pluviométrico local, principalmente nas camadas mais superficiais (0,05-0,25 m). Diferenças significativas da θ_v entre as superfícies ocorreram nos subperíodos secos e transições, com a caatinga superior às demais. A análise da estabilidade temporal identificou que a palma forrageira é o ponto mais representativo do comportamento da θ_v na área de estudo, enquanto a matriz de correlação de Spearman detectou campos de umidade mais instáveis, com padrões persistentes da umidade apenas entre os subperíodos secos e transições. Todas as superfícies obtiveram relações entre θ_v e densidade do solo. Conclui-se que a conversão da vegetação de caatinga em outras superfícies altera os padrões de distribuição da umidade do solo, resultando em declínios da θ_v equivalentes a 26% e 47%, para cultivos de palma forrageira e área desmatada, respectivamente.

Palavras Chave: Sonda Diviner, floresta tropical seca, estabilidade temporal, palma forrageira.

SPACE-TEMPORAL DYNAMICS OF SOIL MOISTURE ON SURFACES WITH CHANGE IN LAND USE IN BRAZILIAN SEMIARID

Abstract: The semi-arid region of Brazil suffers a constant change in land use, due to the deforestation process, as well as a strong water seasonality, represented among other variables by the decline in soil moisture content. In this study, the influence of land use on the soil moisture dynamics was analyzed. For this purpose, three experimental sites were evaluated, characterized by different uses of the land: forage cactus agroecosystem, deforested environment and caatinga vegetation area, located in the central Brazilian semi-arid. The calibration of Diviner 2000® capacitive probes was carried out by the relation between the soil volumetric moisture (θ_v)

obtained by the gravimetric method and the relative frequency readings of the probes. On a weekly basis, moisture measurements were performed at 22 points at depths of 0.00-0.60 m, during the period from November 2014 to October 2017, obtaining a total of 157 days sampled. The averages and standard deviations of θ_v on the three sites were analyzed over twelve periods, grouped according to the local water regime: wet, dry and transition. For the analysis of the temporal stability of θ_v , the relative difference and the Spearman correlation matrix were calculated. Finally, regressions were performed between the mean values of θ_v and soil physical properties. Based on the results, the local calibration curves presented significant determination coefficients, indicating that the equations can be used in reliable estimates of θ_v . The θ_v was highest in the caatinga ($0.086 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$), intermediate in the forage cactus ($0.064 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$), and lowest in the deforested area ($0.045 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$). The change in land use has an influence on the spatial variability of θ_v in the soil layers, which were responsive to the local pluviometric regime, mainly shallower layers (0.05-0.25 m). Significant differences of θ_v across the surfaces occurred in the dry subperiods and transitions, with the caatinga superior to the others. The temporal stability analysis identified that forage cactus was the most representative point of the θ_v behavior in the study area, while the Spearman correlation matrix detected more unstable moisture fields with persistent moisture patterns only between the dry subperiods and transitions. All surfaces obtained relationships between θ_v and soil density. It is concluded that the conversion of the caatinga vegetation to other surfaces changes the soil moisture distribution patterns, resulting in θ_v declines equivalent to 26% and 47%, for forage cactus and deforested areas, respectively.

Keywords: Diviner probe, tropical dry forests, temporal stability, forage cactus.

1. Introdução

A mudança no uso da terra de ecossistemas nativos promove alterações do clima em escala local, regional e planetária (Salazar et al., 2015). Para o Domínio de Caatinga, estima-se que a perda líquida contínua de vegetação nativa seja da ordem de 0,3% ano⁻¹ (Beuchle et al., 2015). No entanto, pode haver agravantes, uma vez que projeções futuras indicam uma estação seca susceptível a aumentos, em termos de duração e intensidade, sugerindo entre outras variáveis, declínios no conteúdo de água no solo (Biudes et al., 2015).

O conteúdo de água no solo configura-se como componente vital do ciclo hidrológico, impactando a dinâmica de água, carbono e energia na interface superfície-atmosfera. Este fato é determinante nos padrões de distribuição e crescimento das plantas em ambientes áridos e semiáridos (Gallego-Elvira et al., 2016; He et al., 2017; Jia et al., 2017; Neves et al., 2017; X. Zhang et al., 2016; Zhang and Shangguan, 2016). Estudos têm averiguado as respostas da umidade do solo nos mais diversos tipos de uso da terra, em diferentes escalas temporais (Peng et al., 2017; Y. Wang et al., 2015; Yang et al., 2014a; X. Zhang et al., 2016; Zhang and Shangguan, 2016; Zucco et al., 2014).

Uma forma de monitorar a umidade no perfil do solo é por meio de métodos indiretos, os quais são bastante difundidos devido à rapidez, precisão, garantia de mínima perturbação no solo, obtenção de leituras simultâneas e em várias profundidades, e armazenamento contínuo de dados (Rowlandson et al., 2013; Sharma et al., 2017). Além disso, sensores de capacitância são relativamente baratos e fáceis de operar (Vereecken et al., 2014). Essa metodologia elimina a necessidade da aplicação de métodos gravimétricos, os quais exigem mão de obra qualificada e

retirada de amostras destrutivas do solo (Rowlandson et al., 2013; Sharma et al., 2017).

Entretanto, devido às particularidades edáficas dos ambientes de medição da umidade do solo (X. Zhang et al., 2016; Zhang and Shangguan, 2016), torna-se necessário realizar a calibração local das sondas capacitivas, a fim de elevar a precisão das estimativas da umidade para os diferentes tipos de solos (Sharma et al., 2017; Silva et al., 2007).

A umidade do solo é a principal fonte de água para a agricultura e vegetação natural. Em se tratando de ecossistemas, está diretamente associada à evapotranspiração e crescimento da vegetação, além de estar diretamente relacionada à ocorrência de seca agrícola (He et al., 2017; Peng et al., 2017). Sua dinâmica é afetada por inúmeros fatores, como o regime de chuvas, a evaporação, temperatura, características do solo (textura, densidade, porosidade, etc), relevo, e características de uso e cobertura do solo (Jia et al., 2017; Yang et al., 2014a; Zhang and Shangguan, 2016; Zucco et al., 2014). Assim, por meio dos efeitos combinados destes fatores, é possível avaliar os impactos das mudanças climáticas regionais na produção das culturas e nos ecossistemas naturais (Peng et al., 2017).

O uso de medições pontuais em tempo real da umidade do solo ainda é escasso para estudos comparativos entre diferentes superfícies, ao passo que informações sobre o uso e a gestão sustentável da água são crescentes (He et al., 2017). Além do mais, a umidade do solo oscila consideravelmente no tempo e no espaço, tornando difícil sua caracterização (Jia et al., 2013; Souza et al., 2011; T. Wang et al., 2015; Wang et al., 2013; Zucco et al., 2014). Deste modo, o conhecimento da variabilidade da umidade do solo em escalas espaço-temporais é

essencial em aplicações científicas e operacionais, e melhora a gestão da água (Brocca et al., 2012; Neves et al., 2017).

Para tal, análises de estabilidade temporal são amplamente utilizadas (Brocca et al., 2012; Heathman et al., 2012; Neves et al., 2017; Rötzer et al., 2015; Vereecken et al., 2014; Zucco et al., 2014). Estas análises descrevem a persistência de padrões espaciais e o comportamento característico da umidade do solo (Heathman et al., 2012), sendo possível identificar quais pontos reproduzem o padrão médio da umidade, a partir de campanhas de medição por longos períodos de tempo.

Na literatura científica, há um enorme quantitativo de pesquisas que evidenciam que a umidade do solo é suscetível às mudanças climáticas e aos diferentes usos e manejo dos ecossistemas. Assim, com este estudo objetivou-se: (i) determinar equações de calibração para sondas capacitivas em três sítios experimentais com diferentes usos da terra, (ii) investigar a distribuição vertical, espacial e temporal da umidade do solo em diferentes superfícies, (iii) analisar a estabilidade temporal da umidade, (iv) avaliar as relações entre as propriedades físicas e a umidade, e (v) verificar se a mudança no uso da terra tem efeito sobre a umidade do solo.

2. Material e Métodos

2.1. Descrição da área de estudo

O estudo foi conduzido em três sítios experimentais adjacentes, caracterizados por diferentes usos da terra, localizados no sertão central do estado de Pernambuco, Nordeste do Brasil (8,31°S, 38,51°O e 380 m), e situados no Sistema CAAM-DES-AT (Vegetação CAatinga, Plantas CAM e áreas em DESertificação em interação com a ATmosfera) (Fig. 1). O clima da região é Semiárido, classificado

como BSwh' conforme Köppen, estando as normais meteorológicas apresentadas na Tabela 1 para o município de Floresta, distanciado a 36 km dos sítios experimentais.

O primeiro sítio experimental é composto por área cultivada com uma Cactácea, a Palma forrageira (PALMA), cujo clone é o Orelha de Elefante Mexicana IPA-200016 do gênero *Opuntia*. O estabelecimento da cultura foi realizado em agosto de 2014, em espaçamento de 2,0 x 0,50 m (Fig. 1A). Entre os meses de novembro/2014 a dezembro/2015, a cultura foi irrigada aplicando-se 3,2 mm semanalmente, por meio de um sistema de gotejamento, com intuito de garantir a uniformização do estande da cultura.

O segundo sítio experimental é representado por uma Área Desmatada Adjacente (ADA), na qual a vegetação de caatinga tem sido substituída por culturas agrícolas desde a década de 20. Assim, *Allium cepa*, *Phaseolus vulgaris* e *Zea mays*, e, por último, *Urochloa mosambicensis*, têm sido cultivados preferencialmente nos últimos dez anos. Atualmente, a área é caracterizada pela presença de plantas gramíneas rasteiras e pelo solo exposto, com alternância entre estas superfícies (Fig. 1B).

O terceiro sítio experimental é por composto por vegetação característica do Domínio de Caatinga (CAA) (Fig. 1C e 1D), caracterizado por abrigar expressiva comunidade de flora e fauna, com predominância de vegetação arbórea-arbustivo. Nesta área, foi feito o inventário florestal para identificar as principais famílias de plantas e características das espécies predominantes (Albuquerque et al., 2015). A altura e a circunferência na altura do peito (CAP, medido a 1,3 m do solo) de todas as plantas com $CAP \geq 6$ cm foi medida. Foram contabilizadas 186 plantas, dez espécies e seis famílias, resultando em uma capacidade de suporte da área de 930 unidades por hectare (Tabela 2).

Na ADA e CAA ainda são realizadas atividades de pecuária extensiva, com pastoreio de animais domésticos (bovinos, caprinos e ovinos). A distância entre os sítios ADA e CAA é de 1,5 km, enquanto da ADA até a PALMA é de 0,5 km. Na CAA, foi instalado um pluviômetro automático (CS700-L, Hydrological Services, Liverpool, Austrália), no topo de uma torre micrometeorológica, para monitorar a precipitação pluviométrica.

Nos três sítios experimentais, foram retiradas amostras de solo em quatro posições aleatórias à profundidade de 0,60 m, em intervalos de 0,10 m, para posterior homogeneização. As amostras foram enviadas à Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa Semiárido, para realização de análises físicas (Tabela 3).

2.2. Calibração de sondas capacitivas Diviner2000®

As sondas capacitivas Diviner 2000® (Sentek Pty Ltda., Austrália), por medirem de forma indireta o conteúdo de água no solo, necessitam ser calibradas localmente, a fim de melhorar a acurácia de suas medições. As etapas de calibração ficaram contidas durante os meses de outubro de 2015 a abril de 2016. Nesse período, foi feita a abertura manual das trincheiras nas dimensões de 1 m x 2 m x 1 m e instalados seis tubos de acesso de PVC em cada um dos três sítios experimentais (PALMA, ADA, CAA). Os tubos foram distanciados a 1 m entre si, utilizando os equipamentos de instalação recomendados pelo fabricante (Silva et al., 2007).

Com intuito de contemplar todas as faixas de umidade do solo, foram reproduzidos três níveis (seco, úmido e saturado), selecionando dois tubos de acesso nas trincheiras para cada nível. Na determinação das condições úmida e saturada do solo, foram empregados anéis de infiltração que receberam água até que a frente de molhamento atingisse a profundidade de 1 m, observada ao longo da trincheira. Para a Palma forrageira e a Área desmatada, foram introduzidos 220 litros de água em

cada anel de infiltração, enquanto na vegetação de caatinga foram adicionados 200 litros. A calibração dos tubos da condição saturada e úmida foi realizada no primeiro e segundo dia após a introdução de água nos anéis de infiltração, respectivamente. No nível seco, a calibração foi realizada durante o período com ausência de eventos de chuva na região.

A calibração consiste em duas etapas: obtenção de leituras com as sondas nos tubos de acesso e determinação da umidade pelo método direto, com coleta das amostras do solo adjacente aos tubos. Para o procedimento da leitura de frequência relativa (FR), foram utilizadas duas sondas capacitivas (Sonda 1 e Sonda 2), que realizaram, cada uma, três leituras de FR, em cada camada (de 0,1 a 0,6 m; a cada 0,10 m de profundidade). Em seguida, foram coletadas duas amostras de solo, deformada e indeformada (anel volumétrico 55 x 45 mm) para obtenção da umidade gravimétrica, densidade aparente e umidade volumétrica (Fig. 2).

As amostras foram acondicionadas em latas de alumínio e seladas para evitar perdas de umidade. Em laboratório, foram pesadas e levadas para secar em estufa por 24 h a temperatura de 105°C. A umidade volumétrica (θ_v , $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$), em cada camada de solo, foi determinada a partir da multiplicação da umidade gravimétrica pela densidade do solo (kg m^{-3}).

As leituras de FR e seus respectivos valores de θ_v foram submetidos a análises de regressão, usando a Eq. (1):

$$\theta_v = a \cdot \text{FR}^b \quad (1)$$

em que: FR é a frequência relativa, a e b são os coeficientes angular e linear da regressão, respectivamente.

A adequação da equação de regressão e de seus parâmetros foi avaliada mediante os testes t Student e F, nesta ordem, ao nível de 5% de significância.

2.3. Monitoramento da umidade do solo

Para as medições de FR, foram realizadas medidas pontuais nos três sítios experimentais, utilizando uma sonda capacitiva (modelo Diviner @ 2000 Sentek Pty Ltda., Austrália). Foram monitorados cinco pontos no sítio experimental representado pela vegetação de caatinga (tubo 1 ao tubo 5), doze no agroecossistema de palma forrageira (tubo 6 ao tubo 17) e cinco na área desmatada adjacente (tubo 18 ao tubo 22). Os dados foram obtidos no período de novembro de 2014 a outubro de 2017, com leituras realizadas a cada 0,10 m até a profundidade de 0,60 m, em frequências semanais, totalizando 157 períodos monitorados. Todos os tubos foram hermeticamente fechados na parte inferior para evitar possíveis erros de leitura por entrada de água. Os dados de FR foram utilizados nas estimativas de umidade volumétrica do solo, utilizando os coeficientes da regressão originados a partir da calibração local das sondas.

O conjunto de dados de umidade no solo pode expressar as diferentes condições de água ao longo das estações do ano. Dessa forma, os dados de umidade foram agrupados em subperíodos, de acordo com o regime hídrico local. Para isso, consideraram-se quatro subperíodos: chuvoso, chuvoso-seco (transição), seco e seco-chuvoso (transição). Como critério de seleção, foi estabelecido que, se a soma dos valores de precipitação dos 30 dias que antecedem e sucedem o dia em análise forem inferiores a 20 mm e forem registrados menos que 5 dias chuvosos, tem-se um período seco; enquanto que, se neste mesmo intervalo de tempo, forem registrados valores de chuva superiores a 20 mm em 5 ou mais dias, o subperíodo é dito chuvoso. Se nenhum desses critérios se aplica, o subperíodo é dito em transição: seco-chuvoso, caso suceda um período seco, ou chuvoso-seco, se for observado após o período chuvoso.

2.3. Análise de estabilidade temporal da umidade do solo

A estabilidade temporal é avaliada com base no teste paramétrico, utilizando a diferença relativa (δ_{ij}) entre as medidas individuais da umidade do solo na posição i no instante j (θ_{ij}), e o valor médio em todas as posições i , no mesmo tempo j $\bar{\theta}_{ij}$ (Eq. 2) (Heathman et al., 2012; Rötzer et al., 2015; Zucco et al., 2014).

$$\delta_{ij}(\theta) = \frac{\theta_{ij} - \bar{\theta}_{ij}}{\bar{\theta}_{ij}} \quad (2)$$

Similarmente, a média temporal das diferenças relativas, em cada posição i no tempo j , é obtida pela Eq. (3):

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

N é o número de pontos monitorados.

O desvio padrão temporal da diferença relativa é dado pela Eq. (4):

$$\sigma(\delta_i) = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{j=1}^N (\delta_{ij} - \bar{\delta}_i)^2} \quad (4)$$

A análise de estabilidade temporal avalia a persistência temporal dos padrões espaciais de umidade do solo (Zucco et al., 2014). Logo, valores de δ_{ij} próximos a zero indicam que as localizações apresentam umidade do solo próxima à média do campo, sendo esta a posição que melhor representa toda a área de estudo. Valores negativos e positivos de δ_{ij} indicam que tais localizações encontram-se mais secas ou mais úmidas que a média do campo, podendo subestimar ou superestimar a umidade média do solo, respectivamente (Heathman et al., 2012; Neves et al., 2017; Zucco et al., 2014).

Concomitantemente, o teste não paramétrico de Spearman (r_s) foi aplicado com objetivo de avaliar a persistência dos padrões espaciais da umidade do solo nos diferentes períodos de monitoramento. O coeficiente de correlação de Spearman é calculado conforme a Eq. (4):

$$r_s = 1 - \frac{6 \sum_{i=1}^n (\theta_{ij} - \theta_{ij}')^2}{n(n^2-1)} \quad (4)$$

em que: θ_{ij} é a umidade do solo medido no local i no tempo j ; θ_{ij}' a umidade do solo medida no local i , na mesma posição, mas no tempo j' , sendo “ n ” o número de observações.

Valores do coeficiente de correlação de Spearman próximos a 1 indicam que há forte tendência de estabilidade temporal e correlação espacial entre os diferentes períodos monitorados, ou seja, a umidade do solo em cada período mantém-se semelhante ao longo do tempo em cada subperíodo (Heathman et al., 2012; Neves et al., 2017).

2.4. Análises estatísticas

O processamento dos dados foi realizado no Microsoft Office Excel (Microsoft Corporation Inc., Redmond, EUA). Para realizar a calibração das sondas capacitivas, os valores de θ_v e, as respectivas leituras de FR, foram submetidos à análise estatística descritiva (média e desvio padrão). Em seguida, foi aplicada a análise de regressão múltipla (modelo potencial) para obtenção dos coeficientes de ajuste e de determinação, por meio do programa SigmaPlot® v.10,0. As demais análises estatísticas foram realizadas pelo programa Statistical Software and Data Analysis in Excel - XLSTAT, versão 2017 (Addinsoft, Paris, França, www.xlstat.com).

Os dados de umidade volumétrica do solo (θ_v) foram analisados quanto a médias, desvios padrão, intervalo de confiança e coeficiente de variação para o perfil de 0,00 a 0,60 m nas áreas com diferentes usos (PALMA, ADA e CAA). Verificou-se a distribuição normal dos dados, de acordo com os testes de Shapiro-Wilk, Anderson-Darling, Lilliefors e Jarque-Bera. O teste não paramétrico de Kruskal-

Wallis (comparação de k amostras) foi aplicado, quando necessário ($P < 0,05$), para comparar os valores médios da θ_v entre as superfícies nos diferentes períodos. Realizaram-se regressões entre os dados médios de θ_v e as propriedades físicas do perfil do solo.

3. Resultados

3.1. Calibração de sondas Diviner2000®

As equações de calibração local das sondas Diviner2000®, correspondentes aos níveis de umidade seco, úmido e saturado para todo o perfil do solo, nas três superfícies com mudança de uso da terra, estão presentes na Fig. 3.

Os modelos utilizados na calibração local apresentaram bons coeficientes de determinação ($R^2 > 0,83$), sendo altamente significativos ($P < 0,0001$). Constatou-se que na sonda 1 (Fig. 3A) as correlações entre o conteúdo de água no solo e os valores de FR para as três áreas estiveram mais distantes entre si, apresentando maior dispersão quando comparados com a calibração da sonda 2 (Fig. 3B). Estes resultados indicando que as leituras de FR entre diferentes sondas podem diferir, evidenciando a necessidade de realizar calibrações locais.

A equação de calibração fornecida pelo fabricante resultou em superestimativa da umidade do solo em comparação às calibrações locais para as três superfícies estudadas (dados não apresentados). Logo, as curvas de calibração individuais de ambas as sondas (Fig. 3) mostraram-se diferentes, com coeficientes de ajuste variando de acordo com a superfície analisada.

3.2. Distribuição do perfil vertical, mudanças sazonais e espaciais da umidade

Os dados obtidos, a partir das 157 observações *in situ* nos três sítios experimentais, foram utilizados para traçar a distribuição vertical da θ_v no perfil de

0,00 a 0,60 m. As variações verticais indicam que houve diminuição significativa da θ_v com a alteração da vegetação ($P<0,05$) (Fig. 4).

Para as profundidades 0,05 a 0,55 m, a umidade volumétrica do solo média foi maior para a caatinga, seguida da palma forrageira, e por último, da área desmatada, com valores de 0,086; 0,064 e 0,045 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ ($P<0,05$), nesta ordem. Para o agroecossistema de cultivo de palma forrageira, cultura agrícola da região, os valores de θ_v foram crescentes desde a superfície até a camada de 0,35 m (0,045 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ a 0,072 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$), com pequenas diminuições, posteriormente. No sítio experimental representado por vegetação rasteira e solo descoberto (ADA), a θ_v aumentou entre as camadas de 0,05 e 0,15 m (0,040 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ a 0,059 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$), seguida de reduções crescentes, chegando ao valor mínimo na camada de 0,55 m (0,032 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$) (Fig. 4).

Na superfície composta por vegetação de caatinga, a θ_v aumentou com a profundidade (0,051 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ em 0,05 m e 0,166 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ em 0,55 m), apresentando valores elevados na camada de 0,55 m. Em todas as profundidades, a θ_v na caatinga foi superior à palma forrageira e esta maior que na área desmatada ($P<0,05$) (Fig. 4). Salienta-se que a θ_v , próxima à superfície do solo (até 0,15 m), é bastante semelhante nos três sítios experimentais e que a sua variação, ao longo do perfil do solo, deve-se às características inerentes às superfícies estudadas.

Os valores de θ_v nas três superfícies com mudança no uso da terra mostraram-se responsivos ao regime pluviométrico local, nas diferentes profundidades (0,05 a 0,55 m), durante o período monitorado (novembro/2014 a outubro/2017) (Fig. 5).

O padrão de variação temporal da umidade nas seis profundidades do solo em cada sítio experimental é semelhante entre si. No entanto, observa-se que a camada de 0,05 e 0,15 m apresenta as maiores oscilações dos valores de θ_v em função da

precipitação pluviométrica (Fig. 5). Nota-se que, para alguns eventos de chuva que sucedem períodos secos, apenas essas camadas apresentaram basicamente incrementos na θ_v .

Notadamente, para as camadas mais profundas (0,35 a 0,55 m), a umidade do solo apresenta magnitudes de valores similares em cada superfície, com exceção do sítio experimental composto por vegetação de caatinga. Para este, a camada 0,55 m apresentou valores elevados de θ_v durante todo o período experimental, com pequenas oscilações ocorridas apenas em grandes eventos de chuva. Ressalta-se que, nas profundidades intermediárias de 0,25 a 0,45 m, a θ_v apresentou comportamento sazonal análogo (Fig. 5). Na área desmatada, as camadas de 0,05 a 0,25 m apresentaram maiores variações temporais da θ_v . Também é possível verificar que em algumas datas, após eventos de chuva, a umidade na camada de 0,15 m chega a superar os valores observados na camada de 0,05 m (Fig. 5).

Nitidamente, para a palma forrageira, durante o primeiro ano de implantação da cultura (novembro/2014 a dezembro/2015), quando se aplicaram lâminas de irrigação semanais, os valores de θ_v nas seis camadas do solo foram superiores, comparadas ao mesmo período nos anos subsequentes (Fig. 5). Nesta superfície, os valores de θ_v foram menos expressivos nas camadas de 0,35 a 0,55 m.

O conjunto de dados de umidade do solo foi agrupado em diferentes subperíodos, utilizando como critério o regime hídrico local. Dessa forma, foram delimitados 12 subperíodos distintos (Fig. 6). Logo, a θ_v variou significativamente ($P < 0,05$) entre as três superfícies ao longo dos doze subperíodos de monitoramento (Fig. 7).

A análise da umidade média do solo nos doze períodos de monitoramento, e entre as três superfícies, permitiu verificar que, avaliando as superfícies

individualmente entre os subperíodos (análise temporal), em todos os sítios experimentais, os períodos 2, 3, 6 e 10 (chuvoso e chuvoso/seco) foram estatisticamente superiores aos demais subperíodos. Em contraste, os subperíodos 8 e 12 (seco) foram inferiores ($P < 0,05$), independentemente da magnitudes dos valores de θ_v para cada superfície avaliada. O sítio experimental CAA, além de proporcionar os maiores valores médios de umidade do solo, também apresentou menores oscilações destes ao longo das 157 observações (Fig. 7).

A comparação da θ_v entre as superfícies dentro de um mesmo subperíodo identificou que, na superfície de caatinga, valores mais elevados de θ_v ocorreram em todos os períodos (Fig. 7), não se diferenciando das demais superfícies (PALMA e ADA) durante os subperíodos 6, 10 e 11 (chuvosos e chuvoso/seco). Para os subperíodos 1, 2, 3 e 4, a umidade média da caatinga não se diferenciou estatisticamente daquela da palma forrageira ($P < 0,05$), uma vez que estes subperíodos coincidem com as ocasiões em que a cultura da palma recebeu lâminas de irrigação semanais (3,2 mm). O conteúdo de água do solo em área com plantio da palma forrageira, nos subperíodos em que não houve irrigação, não diferiu estatisticamente daqueles observados para a ADA ($P < 0,05$) (Fig. 7).

3.3. Estabilidade temporal

Os valores de diferença relativa $\bar{\delta}_i$, considerando os 22 pontos monitorados para o perfil de solo durante três anos consecutivos, são apresentados na Fig. 8. Os pontos 1 a 5 estão localizados na caatinga, 6 a 17 na palma forrageira, e 18 a 22 na área desmatada. Os dados foram plotados em ordem para identificar os locais que superestimaram e subestimaram a umidade do solo.

Com esta análise, buscou-se identificar a localização mais representativa do valor médio de θ_v no tempo, para cada profundidade, baseada no menor valor de $\bar{\delta}_i$ e

$\sigma(\delta_1)$. Assim, seis pontos representativos foram identificados, todos localizados no agroecossistema de palma forrageira, embora as posições que representem a estimativa de θ_v não foram as mesmas para cada profundidade avaliada (Fig. 8).

Para as camadas de 0,05; 0,15 e 0,25 m, os pontos 8 e 13, ambos localizados na palma forrageira, subestimaram os valores de umidade do solo, sendo classificados como mais secos. Para as camadas de 0,35; 0,45 e 0,55 m, os pontos localizados na área desmatada (19, 20, 21 e 22) foram responsáveis pela subestimação dos valores de umidade do solo. Por outro lado, os representativos da superfície de caatinga (1 ao 5) superestimaram a umidade do solo, podendo ser considerados como os mais úmidos, principalmente para a última profundidade do solo (Fig. 8).

Após a identificação das posições representativas, o comportamento da umidade de um ponto individual foi comparado com o valor médio geral da respectiva profundidade, para todo o período avaliado, visando validar os resultados (Fig. 9).

O valor médio da θ_v em cada posição escolhida seguiu a ordem crescente com o aumento da profundidade, com exceção de ligeira redução de θ_v na camada 0,25. Assim, as seguintes médias foram obtidas: camada 0,05, ponto 15 ($0,048 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$); camada 0,15, ponto 11 ($0,067 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$); camada 0,25, ponto 7 ($0,065 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$); camada 0,35, ponto 9 ($0,078 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$); camada 0,45, ponto 6 ($0,073 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$) e camada 0,55, ponto 10 ($0,081 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$) (Fig. 9).

Como medida final da estabilidade temporal, foram calculados os coeficientes de correlação de Spearman entre os doze subperíodos consecutivos, em cada superfície com mudança no uso da terra (Tabela 4). Para as superfícies de palma forrageira e área desmatada, foram observadas correlações significativas em poucos

subperíodos. Estas foram encontradas apenas entre os subperíodos secos e suas transições (chuvoso-seco; seco-chuvoso), com valores moderados a fortes em ambos os campos, indicando dependência temporal da umidade nestes subperíodos.

Para a ADA, o coeficiente de correlação entre o subperíodo 4 e 8 (seco) foi altamente significativo, indicando elevada estabilidade temporal da umidade deste local para estes subperíodos (Tabela 4). Para a caatinga, os valores significativos dos coeficientes de correlação de Spearman foram medianos, sendo observados entre subperíodos secos e transições, com exceção da correlação observada entre o período 2 e 10 (chuvosos). De modo geral, as correlações foram baixas entre os subperíodos nas três superfícies avaliadas (Tabela 4).

3.4. Relações entre umidade e propriedades físicas do solo

As relações entre a θ_v e propriedades físicas do solo mostraram tendências variáveis entre as superfícies estudadas. A umidade do solo apresentou relação altamente negativa e positiva com a porosidade total e densidade do solo na superfície de palma forrageira, respectivamente ($P < 0,001$) (Tabela 6). Relações positivas com as demais propriedades físicas do solo foram obtidas ($P < 0,05$), com exceção da fração silte, que não apresentou relação significativa.

Na área desmatada, todas as variáveis do solo demonstraram relações significativas com a umidade do solo em pelo menos 5%, com exceção da fração argila, que não foi relacionada com a θ_v (Tabela 6). A densidade do solo e o teor de areia apresentaram tendências positivas decrescentes, ao passo que, para a porosidade total e silte, obteve-se relações lineares crescentes.

Para a superfície caatinga, a porosidade total e as frações granulométricas silte e argila pouco podem explicar as variações na umidade ao longo do perfil do solo, uma vez que não foram relacionadas significativamente ($P > 0,10$). Para esta

superfície, relações significativas foram obtidas para a densidade do solo e a fração areia, com tendências positivas e negativas, nesta ordem (Tabela 6).

4. Discussões

4.1. Calibração de sondas Diviner2000®

A determinação do teor de água no solo pela sonda Diviner2000® é função de uma FR normalizada e recomendada pelo fabricante. No entanto, como observado na Fig. 3, não há exatidão nas leituras de FR realizadas por diferentes sondas e em condições distintas de solo, podendo ocorrer discrepâncias nos valores estimados de umidade (Silva et al., 2007). Diferentes autores verificaram que a θ_v , obtida por meio da equação de calibração do fabricante, pode superestimar, subestimar ou não diferir da calibração local (Sharma et al., 2017; Silva et al., 2007). Assim, a normalização dos valores de FR, baseadas em calibrações locais, é necessária para melhorar a exatidão nas leituras de θ_v .

Os sítios experimentais de palma forrageira, área desmatada e caatinga obtiveram coeficientes de ajuste particulares, indicando que a granulometria e a estrutura do solo são distintas. Portanto, as equações de calibração devem ser utilizadas individualmente para cada superfície, permitindo o correto monitoramento de água do solo. Os bons ajustes dos dados indicam que as calibrações para os três sítios experimentais proporcionam confiabilidade e melhor precisão nas estimativas de θ_v , favorecendo a detecção de amplitudes das leituras de umidade do solo (déficit e excesso de água no solo). Dessa forma, devem-se utilizar equações individuais para cada superfície, uma vez que o uso de uma equação geral de calibração, quando se tem diferentes variáveis, geram maiores erros de estimativa dos valores de umidade, sugerindo que calibrações individuais sejam estabelecidas para cada área estudada. (Rowlandson et al., 2013).

4.2. Distribuição vertical, mudanças sazonais e espaciais da umidade do solo

A distribuição do sistema radicular, absorção de água pelas raízes, heterogeneidades do solo, precipitação, interceptação de água pelo dossel e evapotranspiração dos diferentes tipos de vegetação desempenham papel importante na variação do perfil vertical de umidade do solo (Wang et al., 2012; Y. Wang et al., 2015; Yang et al., 2014a; X. Zhang et al., 2016; Zhang and Shangguan, 2016).

Para as superfícies compostas por palma forrageira e área desmatada, embora seus perfis sejam semelhantes, os maiores valores médios de θ_v na palma deve-se a melhor configuração de suas raízes. Este fato pode ser explicado pelo seu sistema radicular que, quando em condições favoráveis, pode penetrar até a profundidade de 0,30 m. Nesse caso, as raízes se propagam horizontalmente por um raio de até 8 m (Hill, 1995), sendo que a sua presença favorece a manutenção da umidade do solo. Em contraste, para a área desmatada, em que a paisagem alterna-se entre vegetação herbácea, que emerge apenas após eventos de precipitação e tem sistema radicular superficial pouco desenvolvido, e solos expostos durante subperíodos secos, o conteúdo de água do solo foi reduzido (Fig. 4). Geralmente, em locais que há conversão do uso da terra e vegetação introduzida observam-se valores relativamente baixos de θ_v , podendo ocorrer alterações no padrão de distribuição vertical (Yang et al., 2014a).

Para a superfície de caatinga, que é representada por espécies arbustivo-arbórea de pequeno porte e distribuição esparsa, a θ_v é crescente ao longo do perfil do solo. Albuquerque et al. (2015), com intuito de avaliar a biomassa de raízes de espécies da caatinga, identificaram que a extensão das raízes se dá desde a superfície até 0,60 m de profundidade. Nesse caso, a maior proporção de raízes está contida na profundidade de 0,0 a 0,20 m, as quais possuem maior espessura (> 20 mm). Entre as

profundidades de 0,20-0,40 e 0,40-0,60 m, as espessuras das raízes variaram entre <2 mm e 5 mm. Estes autores verificaram que, nos seis locais de avaliações, as trincheiras não excederam 0,60 m de profundidade, devido à impermeabilidade dos solos rasos.

Com base nos resultados descritos, a camada de 0,60 m seria a profundidade limite para a maioria dos solos da caatinga. Assim, pode-se supor que a distribuição da umidade do solo, ao longo do perfil da caatinga, está condicionada à presença do sistema radicular em todas as profundidades do solo. Portanto, os maiores valores de θ_v observados na camada de 0,60 m podem ser devidos à impermeabilidade do solo, fazendo com que a fluxo vertical de água a partir desta camada seja interrompido. Para ecossistemas com recursos hídricos limitantes, a distribuição de raízes é fator importante (Y. Wang et al., 2015; X. Zhang et al., 2016).

A oscilação sazonal da θ_v , observada em cada camada de solo (0,05 a 0,55 m), demonstrou que a variação vertical na umidade é maior próximo à superfície do solo (Fig. 5). Esse resultado elucidou que esta variável é influenciada, dentre outros fatores, pelas características da precipitação, intimamente relacionadas às maiores variações sazonais ocorridas em camadas mais próximas à superfície. Em contraste, nas camadas mais profundas, a umidade do solo oscila pausadamente, apresentando um padrão sazonal estável (Huang et al., 2016; Wang et al., 2013; Yang et al., 2014b; Yin et al., 2014; X. Zhang et al., 2016).

Nota-se que, para a Palma e ADA, as camadas mais superficiais (0,05-0,25 m) são mais responsivas às alterações no conteúdo de água no solo, uma vez que é a camada de interface entre a superfície e a atmosfera. Tal afirmação pode ser confirmada pelas altas amplitudes nos valores de θ_v , o que é menos evidenciado em profundidades maiores (0,25-0,55 m) (Fig. 5). Essa característica é mais expressiva

na ADA, onde a conformação do solo e da vegetação presente nesta superfície faz com que durante e, após eventos de chuva, possam ocorrer perdas consideráveis de água no solo, quer por escoamento e/ou evaporação.

Para a superfície de vegetação de caatinga, as menores amplitudes de valores de θ_v , entre as camadas de 0,05 a 0,45 m ao longo dos períodos, indicam que a distribuição do sistema radicular das plantas oscilou pouco entre os anos (Fig. 5). Dessa forma, os sítios cultivados, nos quais a vegetação de caatinga foi substituída (PALMA e ADA), não têm apenas menores médias de umidade volumétrica do solo, mas também maior variabilidade nas camadas menos profundas.

Em todas as superfícies, foram verificadas alterações da θ_v após eventos de chuva, indicando que a variabilidade sazonal das condições meteorológicas influencia as mudanças temporais na θ_v (Biudes et al., 2015; Heathman et al., 2012; Huang et al., 2016; T. Wang et al., 2015; Wang et al., 2013). Também, a umidade do solo nas três superfícies foi recuperada após as primeiras chuvas, mesmo seguida de longos períodos de estiagem. Além do mais, as séries temporais de umidade apresentaram um padrão semelhante (Fig. 7), independentemente das magnitudes e diferenças no uso da terra. Deste modo, os dados de θ_v foram superiores nos subperíodos chuvosos e chuvoso/seco e inferiores nos subperíodos seco e seco/chuvoso em todas as superfícies avaliadas.

Os resultados indicam que, durante períodos chuvosos, os valores de θ_v não se diferenciam entre as superfícies, o que não é evidenciado para períodos secos, revelando que a variabilidade nos padrões sazonais da umidade do solo foi controlada principalmente pela ocorrência da precipitação. Assim, durante períodos chuvosos, a variabilidade entre superfícies é reduzida, ao passo que em condições

secas, as oscilações na θ_v foram conduzidas pelas características da vegetação e do solo (X. Zhang et al., 2016).

Santos et al. (2010) verificaram que as condições da superfície influenciam significativamente a variação do conteúdo de água no solo durante as estações seca e úmida. Dentre as distintas superfícies avaliadas (vegetação natural de caatinga, plantios de feijão, consórcio feijão e palma forrageira, e solo descoberto), foram observados maiores teores de água no solo em área com vegetação natural durante o período chuvoso.

Biudes et al. (2015), analisando seis ecossistemas (Floresta ombrófila perene, Floresta densa semi decídua, Floresta de pastagem mista, Pastagem (*Brachiaria humidicola*), Vegetação arbóreo-arbustiva e Floresta inundada) distribuídos em três biomas brasileiros (Floresta Amazônica, Cerrado e Pantanal), verificaram que os valores do conteúdo de água no solo foram maiores durante a estação úmida e menores, a partir da metade da estação seca, em todos os ecossistemas.

Percebe-se que na CAA houve menores oscilações dos valores θ_v entre os subperíodos, com médias superiores às demais superfícies. A ADA apresentou os menores valores médios de θ_v entre os subperíodos, enquanto para a Palma estes valores foram intermediários. Esse resultado explica que, mesmo em pequenas áreas, a umidade do solo exibe uma heterogeneidade espacial (Yang et al., 2014a). Portanto, as diferenças entre as médias de θ_v indicam que os efeitos da mudança no uso da terra sobre o conteúdo de água no solo estão associados à infiltração e redistribuição de água, distribuição e densidade de raízes e à evapotranspiração (Santos et al., 2010; Y. Wang et al., 2015; Yang et al., 2014b).

Pinheiro et al., (2013) investigaram a variabilidade espaço temporal da profundidade efetiva do sistema radicular do Domínio de Caatinga, em 72 perfis para

três diferentes tipos de solo. Identificou-se que a profundidade efetiva das raízes diferiu entre tipos de solos, variando de 0,36 a 0,73 m (os menores valores foram encontrados em local com presença de uma camada impermeável superficial, localizada na profundidade de 0,40 m). Este resultado indica que o sistema radicular da vegetação caatinga é capaz de se adaptar a uma ampla faixa de solos.

Em locais com solos profundos e não restritivos, a profundidade efetiva das raízes encontra-se entre 0,60 e 0,78 m. Nestes solos, com profundidades entre 1,0 e 2,5 m, a vegetação pôde explorar um perfil vertical maior, caracterizando a vegetação com um porte médio maior. Além do mais, verificou-se a redução média de 0,05 m na profundidade efetiva do sistema radicular durante a estação seca, sugerindo que esta seja uma tática adaptativa da vegetação.

A comparação entre superfícies nos subperíodos indicou que, dentre as três superfícies, a palma forrageira foi aquela que adotou maiores estratégias adaptativas à disponibilidade hídrica local. Isso por que esta cultura possui complexo formador de raízes finas, distribuídas principalmente nas camadas mais superficiais do solo (0,10-0,20 m). As raízes finas surgem logo após estímulos hídricos, como chuva ou irrigação (Hill, 1995; Oliveira et al., 2010), fazendo com que, durante estes períodos, a umidade do solo seja elevada (Fig. 7).

Vale ressaltar que, embora os eventos de irrigação tenham sido relativamente baixos (3,2 mm semanais), os aumentos dos valores médios de θ_v para a palma deve-se ao seu metabolismo fisiológico MAC (Metabolismo Ácido das Crassuláceas), que confere alta eficiência no uso de água (Queiroz et al., 2015). O entendimento das estruturas da vegetação e processos de transporte de água esclarece a forma como os ecossistemas interferem na dinâmica da umidade do solo, sendo essenciais na escolha do estabelecimento da vegetação (X. Zhang et al., 2016).

4.3. Estabilidade temporal

O conteúdo de água no solo apresenta dependência espacial em diferentes tipos de usos da terra, sendo influenciado por inúmeros processos como a cobertura e distribuição de raízes da vegetação, interceptação de água pela vegetação, redistribuição de água, escoamento, captação de água pelo sistema radicular, entre outros, que podem afetar a estabilidade temporal da umidade do solo (Wang et al., 2012; Wang et al., 2015; Neves et al., 2017). Para o presente estudo, a técnica de diferença relativa mostrou que o sítio de palma forrageira reproduz o padrão médio da θ_v em todas as profundidades do solo na área de estudo.

Os valores do desvio padrão na camada de 0,05 m entre as 22 posições foram altos, indicando estabilidade temporal mais fraca, provavelmente, devido às constantes oscilações dos valores de θ_v nesta camada do solo. Para esta camada, o ponto 20 (ADA) e o ponto 15 (PALMA) foram mais representativos, porém o ponto 15 apresentou menores valores de desvio padrão e, por conseguinte, foi classificado como o local mais representativo para esta profundidade (Rötzer et al., 2015; Zucco et al., 2014). Para as demais profundidades do perfil do solo, valores de $\sigma(\delta_i)$ foram menores, com destaque para a profundidade de 0,45 a 0,55 m, indicando assim, que os valores de $\bar{\delta}_i$ em cada posição eram temporariamente estáveis.

Como dependência espacial da umidade do solo muda ao longo do tempo, o coeficiente de Spearman (r_s) foi utilizado para representar a estabilidade temporal das condições de umidade, em diferentes subperíodos. Valores do coeficiente de Spearman próximos a 1 indicam um campo de umidade estável, enquanto valores baixos sugerem que a umidade do solo é bastante instável (Heathman et al., 2012). Em ordem crescente, na ADA, PALMA e CAA, foram observadas menores correlações entre os subperíodos, podendo ser indício de campos de umidade mais

instáveis. Dessa forma, locais mais úmidos e mais secos mudaram seus padrões de distribuição espacial durante o período experimental (Souza et al., 2011). Para a palma forrageira e área desmatada, a instabilidade ficou mais evidente.

A presença de correlações moderadas e a falta de estabilidade temporal durante alguns períodos podem estar associadas à distribuição irregular da chuva, a padrões distintos de redistribuição de água (infiltração e drenagem), densidade do sistema radicular, e outras características inerentes às superfícies avaliadas (Heathman et al., 2012; Neves et al., 2017; T. Wang et al., 2015).

A forte correlação observada na ADA entre os subperíodos 4 e 8 (seco) condiz com tal afirmação. Para estes períodos, a precipitação acumulada foi de 0,6 e 2,4 mm, e os subperíodos tiveram duração de 107 e 113 dias, nesta ordem. O mesmo foi observado para a correlação entre os subperíodos 2 e 10 (chuvosos) na caatinga, nos quais foram acumulados 380,8 e 307,0 mm, e tiveram duração de 152 e 130 dias, respectivamente. De modo geral, os resultados das correlações de Spearman indicam que houve padrões persistentes da umidade do solo apenas entre os subperíodos secos e as transições.

4.4. Relação entre umidade volumétrica e propriedades do solo

As associações entre a umidade e as diferentes propriedades do solo para as três superfícies foram variáveis. Para as três superfícies, relações foram principalmente obtidas para a densidade do solo e porosidade total, indicando que a umidade do solo é mais sensível a estas propriedades físicas.

As tendências de aumento da umidade, para maiores valores de densidade obtidas na PALMA e CAA, ocorreram por que ambas variáveis crescem ao longo do perfil do solo. Entretanto, apenas a umidade do solo decresce com a profundidade para a ADA, embora os valores de densidade sejam ligeiramente superiores na CAA,

seguidos da PALMA e ADA (Tabela 3). Y. Zhang et al. (2016) destacam que a densidade do solo geralmente é superior nas camadas mais profundas e menores naquelas mais superficiais. Estes autores citam que o manejo dos solos altera a estrutura e propriedades físicas destes, a exemplo da densidade e porosidade.

Como esperado, a porosidade total apresentou relações inversas às observadas para a densidade do solo nas três superfícies avaliadas, mas não foi significativa para a CAA. A PALMA foi mais responsiva, logo, para cada aumento de uma unidade na porosidade total, resulta em reduções de 3% da θ_v . Na ADA, esse percentual é de 0,7% (Tabela 5)

As características granulométricas do solo foram capazes de explicar a distribuição da umidade ao longo do perfil, com exceção da fração areia e argila para a PALMA e ADA. Para a CAA, apenas a fração areia apresentou relações significativas e negativas com a θ_v , provavelmente devido aos aumentos das frações silte e argila ao longo do perfil (Tabela 3) que favoreceram incrementos na θ_v . As fracas relações entre as variáveis observadas na CAA podem ser resultado das alterações das propriedades físicas ao longo do perfil do solo.

Y. Zhang et al. (2016) utilizaram o teste de Pearson para verificar a existência de correlações entre o armazenamento de água e as propriedades do solo, encontrando relações negativas com o teor de argila nas camadas de 0,00-0,10 e 0,40-0,50 m, e positivas para as camadas de 0,10 até 0,40 m. A fração areia comportou-se de forma oposta à argila, enquanto a fração silte mostrou relações semelhantes a do teor de argila.

De modo geral, considerando as significâncias e os ajustes das equações obtidas, a densidade do solo foi a variável que explicou as relações entre propriedades físicas do solo e θ_v em todas as três superfícies.

5. Conclusões

As curvas de calibração local da sonda Diviner 2000® são aplicáveis para estimativa da umidade do solo nas três superfícies avaliadas;

A superfície composta por vegetação de caatinga apresenta maiores médias de umidade volumétrica do solo e menor variabilidade vertical e sazonal de seus valores durante as estações secas e úmidas;

Pontos localizados na área de cultivo com a Palma forrageira podem ser utilizados como posições representativas da umidade volumétrica do solo nas três áreas monitoradas, de acordo com as séries temporais de umidade;

A densidade é a propriedade física que explicou as mudanças na umidade do solo nas três superfícies.

A alteração da superfície de caatinga em cultivos de palma forrageira e área desmatada resultaram em declínios, em termos médios, de 26% e 47% do conteúdo de água no solo, nesta ordem.

Agradecimentos

Esta pesquisa foi financiada pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Pernambuco (FACEPE - APQ-1159-1.07/14) e pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq - n.º. 475279/2010-7 e no. 476372/2012-7). Os autores agradecem ao GAS - Grupo de Agrometeorologia no Semiárido pelo apoio na pesquisa de campo, e à Coordenação de aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) por financiar a bolsa de doutorado do primeiro autor.

Referências

Albuquerque, E.R.G.M., Sampaio, E.V.S.B., Pareyn, F.G.C., Araújo, E.L., 2015.

- Root biomass under stem bases and at different distances from trees. *J. Arid Environ.* 116, 82–88. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2015.02.003>
- Beuchle, R., Grecchi, R.C., Shimabukuro, Y.E., Seliger, R., Eva, H.D., Sano, E., Achard, F., 2015. Land cover changes in the Brazilian Cerrado and Caatinga biomes from 1990 to 2010 based on a systematic remote sensing sampling approach. *Appl. Geogr.* 58, 116–127. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2015.01.017>
- Biudes, M.S., Vourlitis, G.L., Machado, N.G., de Arruda, P.H.Z., Neves, G.A.R., de Almeida Lobo, F., Neale, C.M.U., de Souza Nogueira, J., 2015. Patterns of energy exchange for tropical ecosystems across a climate gradient in Mato Grosso, Brazil. *Agric. For. Meteorol.* 202, 112–124. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2014.12.008>
- Brocca, L., Tullo, T., Melone, F., Moramarco, T., Morbidelli, R., 2012. Catchment scale soil moisture spatial-temporal variability. *J. Hydrol.* 422–423, 63–75. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2011.12.039>
- Gallego-Elvira, B., Taylor, C.M., Harris, P.P., Ghent, D., Veal, K.L., Folwell, S.S., 2016. Global observational diagnosis of soil moisture control on the land surface energy balance. *Geophys. Res. Lett.* 43, 2623–2631. <https://doi.org/10.1002/2016GL068178>
- He, B., Wang, H., Huang, L., Liu, J., Chen, Z., 2017. A new indicator of ecosystem water use efficiency based on surface soil moisture retrieved from remote sensing. *Ecol. Indic.* 75, 10–16. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.12.017>
- Heathman, G.C., Cosh, M.H., Han, E., Jackson, T.J., McKee, L., McAfee, S., 2012. Field scale spatiotemporal analysis of surface soil moisture for evaluating point-scale in situ networks. *Geoderma* 170, 195–205.

<https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2011.11.004>

- Hill, F.S., 1995. Anatomy and morphology, in: BARBERA, G.; IGLESE, G.; PIMENTABARRIOS, E. (Ed.), *Agro-Ecology, Cultivation and Uses of Cactus Pear*. Food and Agriculture Organization of the United Nations Dry Areas Rome, pp. 28–35.
- Huang, X., Shi, Z.H., Zhu, H.D., Zhang, H.Y., Ai, L., Yin, W., 2016. Soil moisture dynamics within soil profiles and associated environmental controls. *Catena* 136, 189–196. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2015.01.014>
- Jia, X., Shao, M., Zhu, Y., Luo, Y., 2017. Soil moisture decline due to afforestation across the Loess Plateau, China. *J. Hydrol.* 546, 113–122. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2017.01.011>
- Jia, Y.H., Shao, M.A., Jia, X.X., 2013. Spatial pattern of soil moisture and its temporal stability within profiles on a loessial slope in northwestern china. *J. Hydrol.* 495, 150–161. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2013.05.001>
- Neves, H.H. das, Mata, M.G.F. da, Guerra, J.G.M., Carvalho, D.F. de, Wendroth, O.O., Ceddia, M.B., 2017. Spatial and temporal patterns of soil water content in an agroecological production system. *Sci. Agric.* 74, 383–392. <https://doi.org/10.1590/1678-992x-2016-0213>
- Oliveira, F.T. de, Souto, J.S., Silva, R.P. da, Filho, F.C. de A., Júnior, E.B.P., 2010. Palma Forrageira: Adaptação e importância para os ecossistemas áridos e semiáridos. *Rev. Verde* 5, 27–37.
- Peng, F., Mu, M., Sun, G., 2017. Responses of soil moisture to climate change based on projections by the end of the 21st century under the high emission scenario in the “Huang–Huai–Hai Plain” region of China. *J. Hydro-Environment Res.* 14, 105–118. <https://doi.org/10.1016/j.jher.2016.10.003>

- Queiroz, M.G. de, Silva, T.G.F. da, Zolnier, S., Silva, S.M.S. e, Lima, L.R., Alves, J. de O., 2015. Características morfofisiológicas e produtividade da palma forrageira em diferentes lâminas de irrigação. *Rev. Bras. Eng. Agrícola e Ambient.* 19, 931–938. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v19n10p931-938>
- Rötzer, K., Montzka, C., Vereecken, H., 2015. Spatio-temporal variability of global soil moisture products. *J. Hydrol.* 522, 187–202. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2014.12.038>
- Rowlandson, T.L., Berg, A.A., Bullock, P.R., Ojo, E.R.T., McNairn, H., Wiseman, G., Cosh, M.H., 2013. Evaluation of several calibration procedures for a portable soil moisture sensor. *J. Hydrol.* 498, 335–344. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2013.05.021>
- Salazar, A., Baldi, G., Hirota, M., Syktus, J., McAlpine, C., 2015. Land use and land cover change impacts on the regional climate of non-Amazonian South America: A review. *Glob. Planet. Change* 128, 103–119. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2015.02.009>
- Santos, T.E.M. dos, Silva, D.D. da, Montenegro, A.A. de A., 2010. Temporal variability of soil water content under different surface conditions in the semiarid region of the Pernambuco state. *Rev. Bras. Ciência do Solo* 34, 1733–1741. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832010000500025>
- Sharma, H., Shukla, M.K., Bosland, P.W., Steiner, R., 2017. Soil moisture sensor calibration, actual evapotranspiration, and crop coefficients for drip irrigated greenhouse chile peppers. *Agric. Water Manag.* 179, 81–91. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2016.07.001>
- Silva, C.R. da, Andrade Júnior, A.S. de, Alves Júnior, J., Souza, A.B. de, Melo,

- F.D.B., Coelho Filho, M.A., 2007. Calibration of a capacitance probe in a Paleudult. *Sci. Agric.* 64, 636–640. <https://doi.org/10.1590/S0103-90162007000600012>
- Souza, E.R. de, Montenegro, A.A. de A., Montenegro, S.M.G., Matos, J. de A. de, 2011. Temporal stability of soil moisture in irrigated carrot crops in Northeast Brazil. *Agric. Water Manag.* 99, 26–32. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2011.08.002>
- Vereecken, H., Huisman, J.A., Pachepsky, Y., Montzka, C., van der Kruk, J., Bogaen, H., Weiermüller, L., Herbst, M., Martinez, G., Vanderborght, J., 2014. On the spatio-temporal dynamics of soil moisture at the field scale. *J. Hydrol.* 516, 76–96. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2013.11.061>
- Wang, T., Wedin, D.A., Franz, T.E., Hiller, J., 2015. Effect of vegetation on the temporal stability of soil moisture in grass-stabilized semi-arid sand dunes. *J. Hydrol.* 521, 447–459. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2014.12.037>
- Wang, X. ping, Pan, Y. xia, Zhang, Y. feng, Dou, D., Hu, R., Zhang, H., 2013. Temporal stability analysis of surface and subsurface soil moisture for a transect in artificial revegetation desert area, China. *J. Hydrol.* 507, 100–109. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2013.10.021>
- Wang, Y., Hu, W., Zhu, Y., Shao, M., Xiao, S., Zhang, C., 2015. Vertical distribution and temporal stability of soil water in 21-m profiles under different land uses on the Loess Plateau in China. *J. Hydrol.* 527, 543–554. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.05.010>
- Wang, Y., Shao, M., Liu, Z., Warrington, D.N., 2012. Regional spatial pattern of deep soil water content and its influencing factors. *Hydrol. Sci. J.* 57, 265–281. <https://doi.org/10.1080/02626667.2011.644243>

- Yang, L., Chen, L., Wei, W., Yu, Y., Zhang, H., 2014a. Comparison of deep soil moisture in two re-vegetation watersheds in semi-arid regions. *J. Hydrol.* 513, 314–321. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2014.03.049>
- Yang, L., Wei, W., Chen, L., Chen, W., Wang, J., 2014b. Response of temporal variation of soil moisture to vegetation restoration in semi-arid Loess Plateau, China. *Catena* 115, 123–133. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2013.12.005>
- Yin, J., Porporato, A., Albertson, O., 2014. Interplay of climate seasonality and soil moisture-rainfall feedback. *Water Resour. Res.* 50, 6053–6066. <https://doi.org/10.1002/2014WR015716>
- Zhang, X., Zhao, W., Liu, Y., Fang, X., Feng, Q., 2016. The relationships between grasslands and soil moisture on the Loess Plateau of China: A review. *Catena* 145, 56–67. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2016.05.022>
- Zhang, Y., Deng, L., Yan, W., Shanguan, Z., 2016. Interaction of soil water storage dynamics and long-term natural vegetation succession on the Loess Plateau, China. *Catena* 137, 52–60. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2015.08.016>
- Zhang, Y., Shanguan, Z., 2016. The change of soil water storage in three land use types after 10years on the Loess Plateau. *Catena* 147, 87–95. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2016.06.036>
- Zucco, G., Brocca, L., Moramarco, T., Morbidelli, R., 2014. Influence of land use on soil moisture spatial-temporal variability and monitoring. *J. Hydrol.* 516, 193–199. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2014.01.043>

Tabela 1

Normais climatológicas (1961-1990) dos elementos meteorológicos no município de Floresta, PE, no Sertão Central do Brasil.

Mês	Chuva (mm)	T _N	T _M	T _X	UR (%)	u (m s ⁻¹)	ET _o (mm)	R _G (MJ m ² dia ⁻¹)
Janeiro	66,1	21,7	27,4	34,7	59,9	2,0	5,9	23,4
Fevereiro	79,4	21,5	26,7	33,9	63,8	1,9	5,7	23,6
Março	104,3	21,4	26,5	33,6	68,5	1,9	5,5	23,2
Abril	66,7	21,0	26,0	32,8	70,4	1,9	5,0	21,5
Mai	37,2	20,2	25,0	31,8	70,4	2,0	4,4	18,7
Junho	19,9	18,9	23,8	30,7	70,1	2,4	4,2	16,9
Julho	16,6	18,1	23,3	30,4	69,0	2,5	4,3	17,9
Agosto	7,0	18,1	24,1	31,7	61,1	2,7	5,4	21,8
Setembro	7,6	19,3	25,9	33,7	54,1	2,9	6,3	23,8
Outubro	12,1	20,8	27,6	35,3	50,3	2,7	6,8	25,5
Novembro	22,6	21,8	28,3	36,0	50,8	2,4	6,8	25,7
Dezembro	49,8	22,0	28,0	35,2	54,2	2,1	6,3	24,1
Anual	489,3	20,4	26,1	33,3	61,9	2,3	5,5	22,2

T_N, T_M e T_X - temperatura mínima, média e máxima; UR - umidade relativa do ar; u - velocidade do vento; ET_o - evapotranspiração de referência; R_G - radiação solar global.

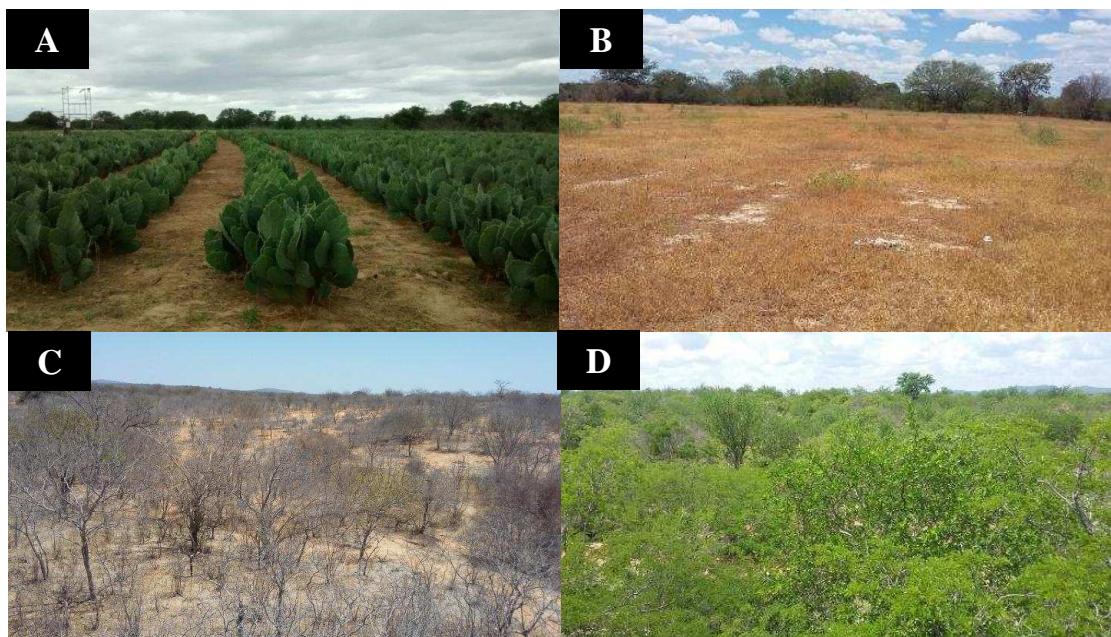
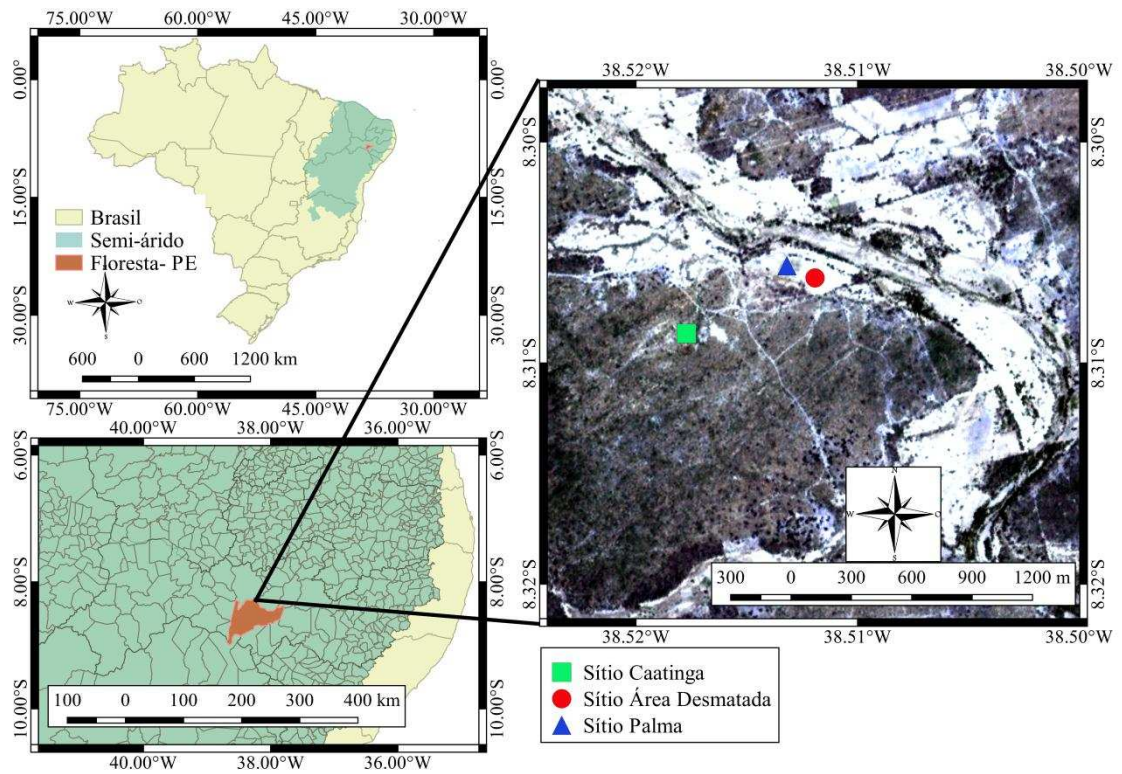


Fig. 1. Localização dos sítios experimentais com diferentes coberturas vegetais, na área de estudo do sistema CAAM-DES-AT: (A) Agroecossistema de Palma Forrageira; (B) Área desmatada Adjacente; (C) Domínio de Caatinga durante período seco e (D) Domínio de Caatinga durante período chuvoso, no município de Floresta, PE, no Sertão Central do Brasil.

Tabela 2

Relação das espécies arbóreo-arbustivas reconhecidas em campo na área inventariada de um fragmento do Domínio de Caatinga, no município de Floresta, PE, no Sertão Central do Brasil.

Família	Nome científico	Nome Comum	DAP (cm)	Altura (m)
Anacardiaceae	<i>Spondias tuberosa</i>	Umbuzeiro	17	4
Anacardiaceae	<i>Schinopsis brasiliensis</i>	Braúna	45	15
Anacardiaceae	<i>Myracrodruon urundeuva</i>	Aroeira	13	7
Burseraceae	<i>Commiphora leptophloeos</i>	Imburana-de-cambão	35	6
Bignoniaceae	<i>Tabebuia aurea</i>	Caraibeira	22	9
Euphorbiaceae	<i>Cnidoscolus quercifolius</i>	Faveleira	5	4
Euphorbiaceae	<i>Croton blanchetianus</i>	Marmeleiro	4	3
Euphorbiaceae	<i>Jatropha mollissima</i>	Pinhão	3	3
Apocynaceae	<i>Aspidosperma pyrifolium</i>	Pereiro	4	3
Fabaceae	<i>Cenostigma pyramidale</i>	Catingueira	5	4

DAP (Diâmetro na altura do peito, medido a 1,30 m).

Tabela 3

Propriedades físicas do solo dos sítios experimentais de Palma forrageira, Área desmatada e do Domínio de Caatinga, no município de Floresta, PE, no Sertão Central do Brasil.

	Camada m	Ds kg m ⁻³	Pt %	Areia	Silte g kg ⁻¹	Argila
Palma forrageira	0,00-0,05	1,36	46,06	715,57	240,46	52,42
	0,05-0,15	1,38	45,46	718,13	234,00	56,33
	0,15-0,25	1,38	45,28	724,43	234,28	63,97
	0,25-0,35	1,40	45,18	723,38	202,05	74,58
	0,35-0,45	1,38	45,37	725,20	210,07	72,53
	0,45-0,55	1,39	45,35	729,18	191,83	79,00
Área desmatada	0,00-0,05	1,33	47,53	677,00	261,88	61,12
	0,05-0,15	1,33	47,67	667,23	245,70	76,42
	0,15-0,25	1,36	46,83	666,34	254,87	88,58
	0,25-0,35	1,38	45,88	671,52	232,10	96,42
	0,35-0,45	1,42	44,63	694,20	216,02	89,83
	0,45-0,55	1,42	45,07	730,05	186,65	83,32
Caatinga	0,00-0,05	1,44	44,07	690,86	268,17	73,83
	0,05-0,15	1,45	43,46	692,92	206,22	100,88
	0,15-0,25	1,44	42,76	683,53	189,93	126,58
	0,25-0,35	1,46	42,74	674,14	180,22	153,20
	0,35-0,45	1,46	42,52	672,30	169,40	158,35
	0,45-0,55	1,47	42,38	667,77	166,08	149,52

Ds - densidade do solo; Pt - porosidade total.



Fig. 2. Etapas de calibração de sondas capacitivas Diviner 2000®. (A) Trincheira; (B) Frente de molhamento de água no solo; (C) Anel de infiltração de água; (D) Instalação de tubos de acesso; (E) Leituras de frequência relativa com sonda; (F) Retirada de amostras de solo; (G) Obtenção de amostra de solo indeformada com anel volumétrico.

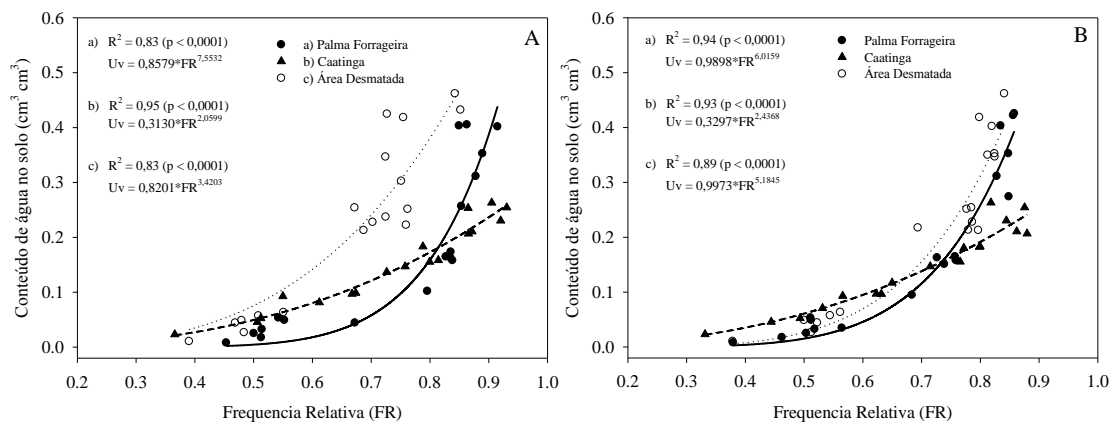


Fig. 3. Curvas de calibração de duas sondas capacitivas (Diviner2000®): Sonda 1 (A) e Sonda 2 (B), utilizadas no monitoramento da umidade volumétrica do solo dos sítios experimentais de Palma forrageira, Área desmatada e do Domínio de Caatinga, no município de Floresta, PE, no Sertão Central do Brasil.

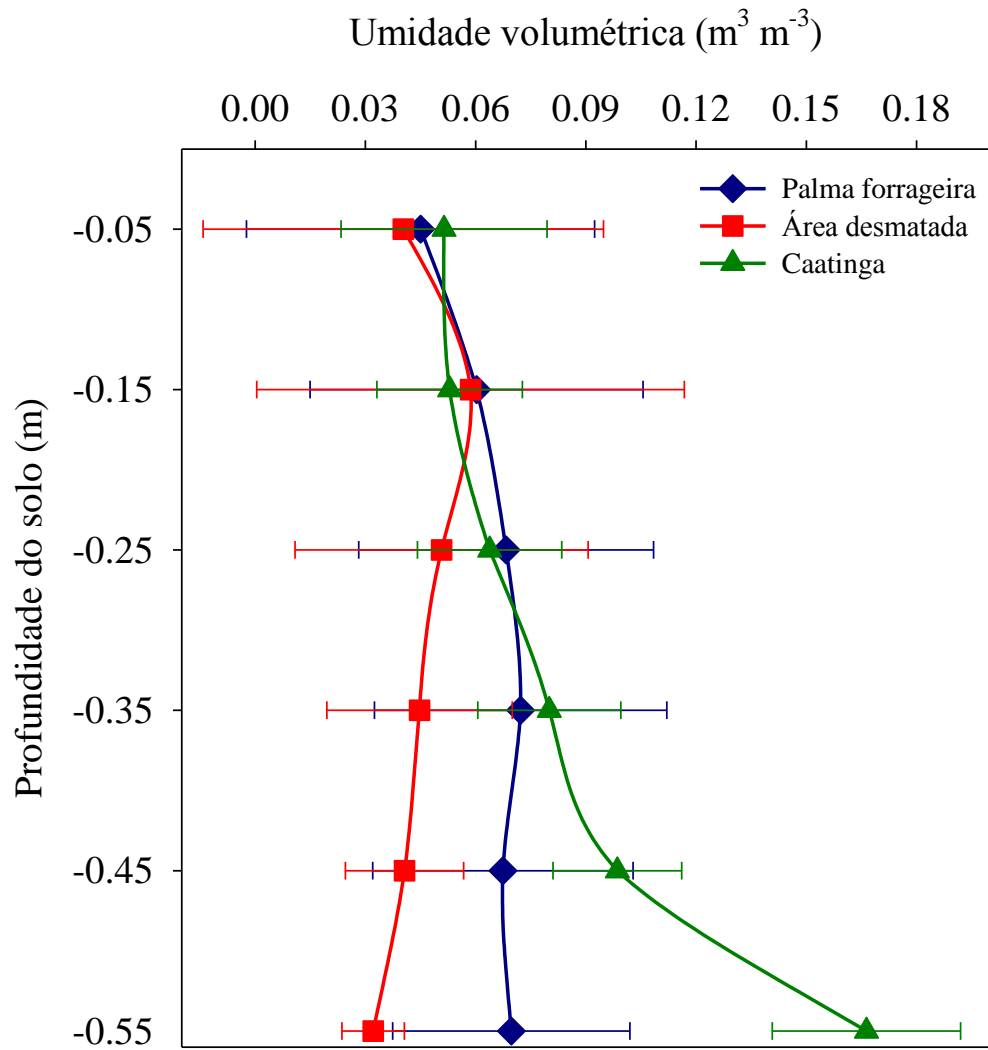


Fig. 4. Perfil vertical da umidade volumétrica do solo (θ_v) dos sítios experimentais de Palma forrageira, Área desmatada e do Domínio de Caatinga, no município de Floresta, PE, no Sertão Central do Brasil. As barras indicam o desvio padrão.

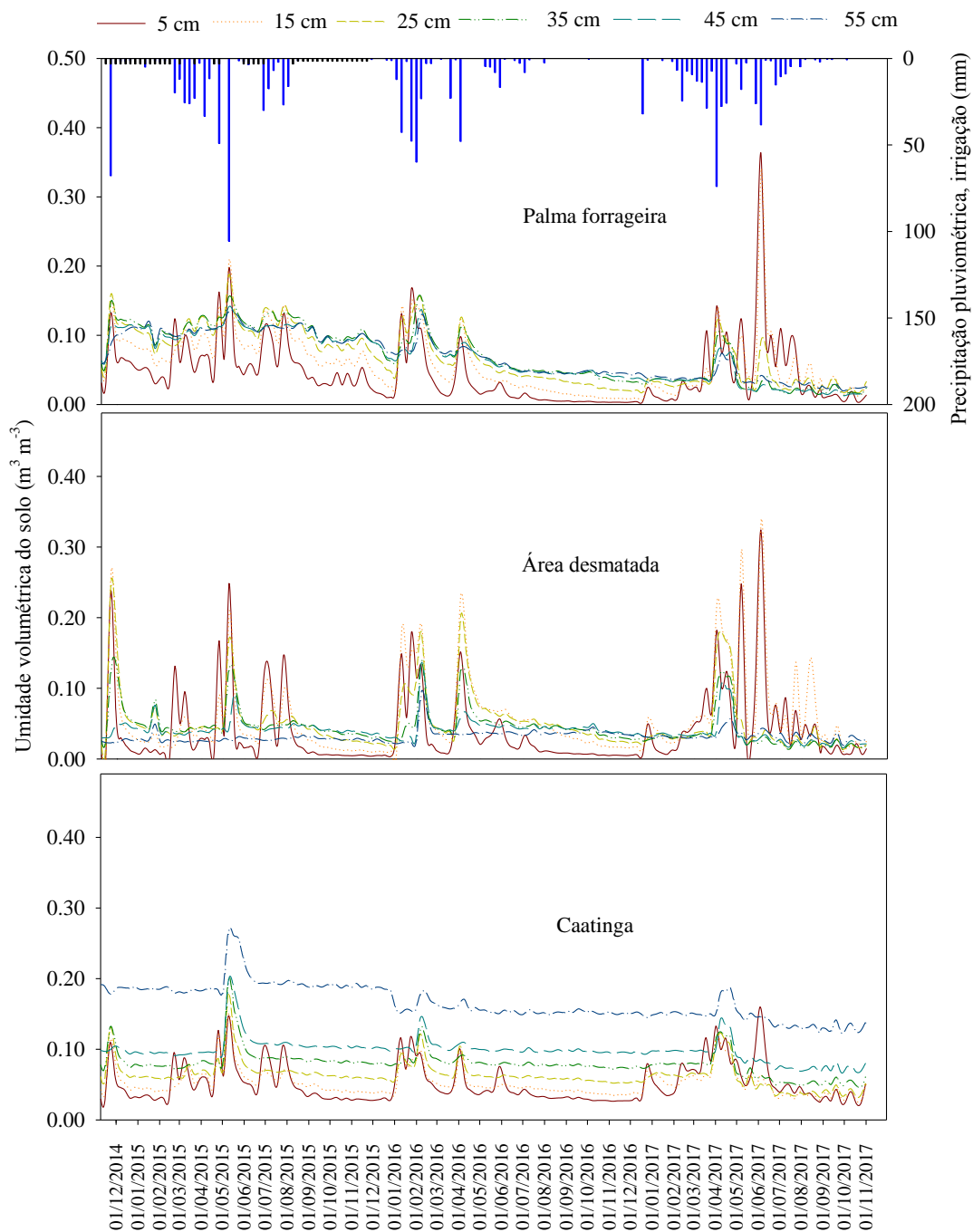
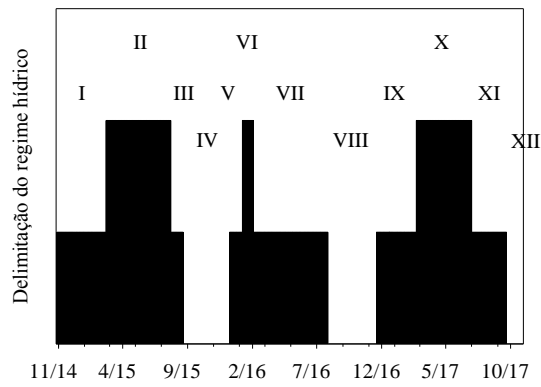
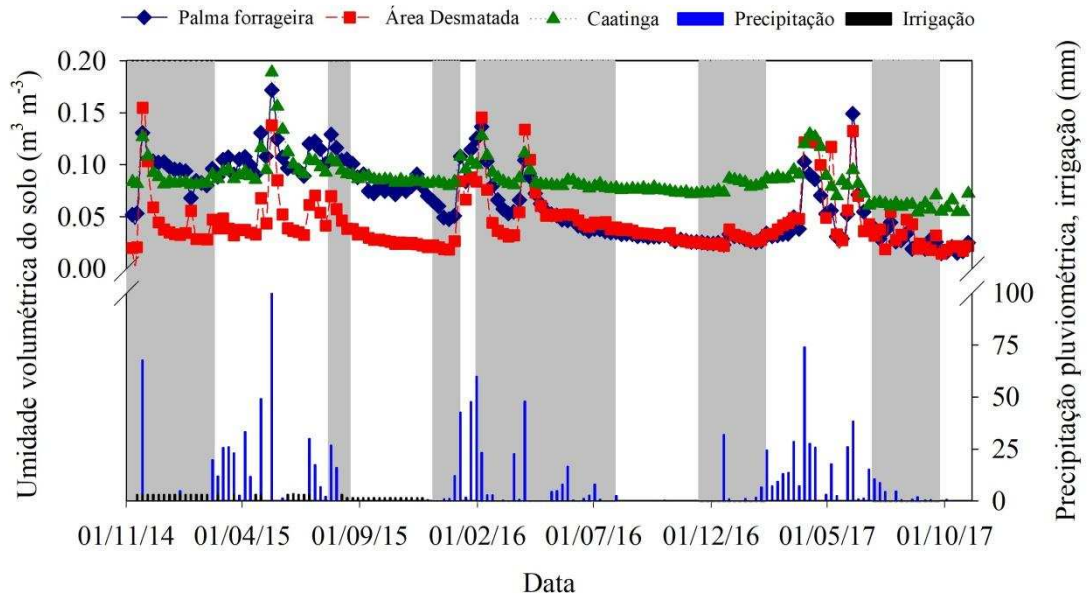


Fig. 5. Umidade volumétrica do solo de seis profundidades (5 a 55 cm), dos sítios experimentais de Palma forrageira, Área desmatada e do Domínio de Caatinga, durante o período novembro de 2014 a outubro de 2017, no município de Floresta, PE, no Sertão Central do Brasil. Barras azuis e pretas indicam eventos de chuva e irrigação, respectivamente.



	Subperíodos	Início	Final	P_{acum}
I	Seco-Chuvoso	26-Out-14	20-Fev-15	107,8
II	Chuvoso	21-Fev-15	23-Jul-15	380,9
III	Chuvoso-Seco	24-Jul-15	21-Ago-15	17,5
IV	Seco	22-Ago-15	7-Dez-15	0,6
V	Seco-Chuvoso	8-Dez-15	6-Jan-16	48,6
VI	Chuvoso	7-Jan-16	1-Fev-16	139,7
VII	Chuvoso-Seco	2-Fev-16	26-Jul-16	128,4
VIII	Seco	27-Jul-16	17-Nov-16	2,4
IX	Seco-Chuvoso	18-Nov-16	07-Fev-17	67,2
X	Chuvoso	08-Fev-17	1-Jul-17	323,77
XI	Chuvoso-Seco	2-Jul-17	21-Set-17	22,69
XII	Seco	22-Set-17	31-Out-17	1,00

Fig. 6. Delimitação do regime hídrico em subperíodos com base no número de eventos e lâminas de precipitação acumulada (P_{acum} , mm).



Subperíodos		PALMA			ADA			CAA		
		α	μ	$1-\alpha$	α	μ	$1-\alpha$	α	μ	$1-\alpha$
1	Seco/chuvoso	0,08	0,09 ^{Ba}	0,10	0,03	0,05 ^{Bb}	0,07	0,03	0,09 ^{Ba}	0,04
2	Chuvoso	0,10	0,11 ^{Aa}	0,12	0,04	0,05 ^{Ab}	0,06	0,04	0,11 ^{Aa}	0,05
3	Chuvoso/seco	0,10	0,11 ^{ABa}	0,12	0,03	0,05 ^{ABb}	0,06	0,03	0,09 ^{ABa}	0,04
4	Seco	0,07	0,08 ^{Ca}	0,08	0,02	0,03 ^{Cb}	0,03	0,03	0,09 ^{Ca}	0,03
5	Seco/chuvoso	0,04	0,05 ^{DEa}	0,06	0,01	0,02 ^{DEa}	0,03	0,00	0,08 ^{DEa}	0,10
6	Chuvoso	0,08	0,11 ^{Aa}	0,14	0,07	0,08 ^{Aa}	0,10	0,12	0,10 ^{Aa}	0,13
7	Chuvoso/seco	0,05	0,06 ^{CDb}	0,07	0,05	0,06 ^{CDb}	0,07	0,10	0,09 ^{CDa}	0,11
8	Seco	0,03	0,03 ^{Fb}	0,03	0,03	0,03 ^{Fb}	0,03	0,09	0,08 ^{Fa}	0,09
9	Seco/chuvoso	0,03	0,03 ^{Eb}	0,03	0,03	0,03 ^{Eb}	0,03	0,09	0,08 ^{Ea}	0,10
10	Chuvoso	0,04	0,06 ^{ABa}	0,07	0,05	0,07 ^{ABa}	0,09	0,10	0,09 ^{ABa}	0,12
11	Chuvoso/seco	0,02	0,03 ^{CDa}	0,03	0,02	0,03 ^{DCa}	0,04	0,07	0,06 ^{CDa}	0,08
12	Seco	0,01	0,02 ^{EFb}	0,02	0,02	0,02 ^{EFb}	0,02	0,06	0,06 ^{EFa}	0,08

Médias (μ) na vertical seguidas pela mesma letra maiúscula, e minúscula na horizontal não se diferem entre si ao nível de significância ($\alpha < 0,05$) pelo teste não paramétrico de Kruskal-Wallis (comparação de k amostras), ou seja, não há diferença dos valores entre os períodos avaliados, e entre as superfícies, respectivamente. α , $1-\alpha$ - indicam o intervalo de confiança.

Fig. 7. Sazonalidade e efeito da mudança do uso da terra sobre a umidade volumétrica do solo dos sítios experimentais de Palma forrageira (PALMA), Área desmatada (ADA) e Domínio de Caatinga (CAA), durante 12 períodos, no município de Floresta, PE, no Sertão Central do Brasil.

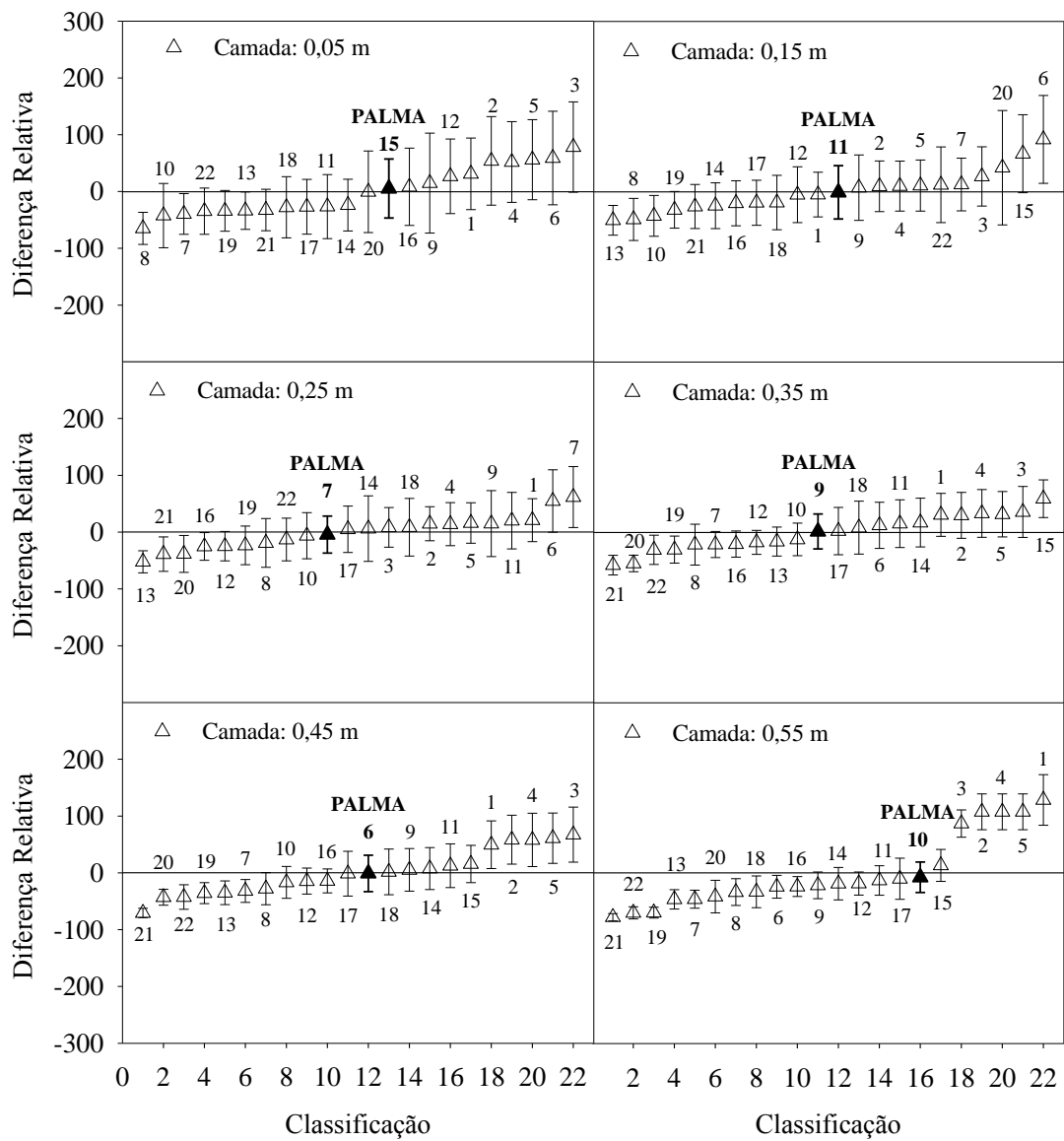


Fig. 8. Diferença relativa média ordenada para a unidade volumétrica de seis camadas do perfil do solo dos sítios do Domínio de Caatinga (Ponto 1-5), Palma forrageira (Ponto 6-17) e Área Desmatada Adjacente (Ponto 18-22). As barras indicam o desvio padrão. O ponto a ser utilizado para as medições representativas da umidade do solo está em negrito.

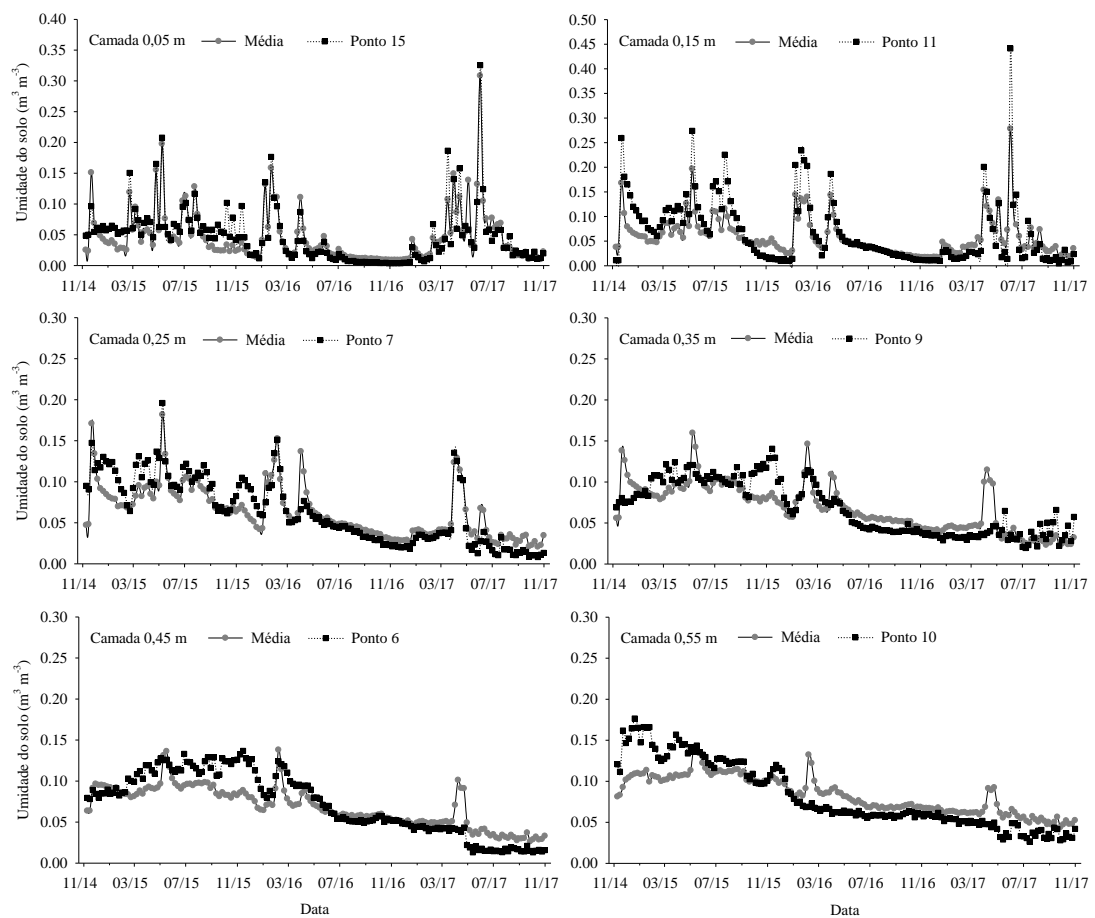


Fig. 9. Comparação entre a umidade média dos sítios de Palma forrageira, Área desmatada e Domínio de Caatinga e a umidade do solo nas posições com estabilidade temporal, durante datas de amostragem, para as profundidades de 0,05 a 0,55 m.

Tabela 5

Matrix de coeficientes de correlação de Spearman da umidade do solo, durante 12 períodos de monitoramento, dos sítios experimentais de Palma forrageira, Área desmatada e do Domínio de Caatinga, no município de Floresta, PE, no Sertão Central do Brasil..

Superfície	Período	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12
Palma forrageira	P1	1											
	P2	-0.01	1										
	P3	-0.40	-0.20	1									
	P4	-0.33	0.35	0.40	1								
	P5	-0.80	-1.00	0.20	0.00	1							
	P6	0.60	0.00	-0.40	-1.00	0.00	1						
	P7	-0.16	-0.05	0.80	0.58	0.40	-0.80	1					
	P8	0.19	0.07	1.00	0.24	0.20	-0.40	0.77	1				
	P9	0.01	0.35	0.80	0.04	-0.40	-0.20	-0.67	-0.79	1			
	P10	0.31	-0.13	-0.80	-0.51	-0.40	0.80	-0.26	-0.34	0.03	1		
	P11	-0.03	-0.07	0.40	0.12	-0.80	-0.40	0.15	0.68	-0.33	-0.39	1	
	P12	0.43	1.00	-0.20	-0.31	-1.00	0.00	-0.71	-0.49	0.66	0.60	0.49	1
	Período	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12
Área desmatada	P1	1											
	P2	-0.35	1										
	P3	-0.80	0.80	1									
	P4	0.19	-0.14	0.80	1								
	P5	-0.40	-0.40	-0.20	-0.40	1							
	P6	0.40	-0.40	0.00	-0.40	-0.40	1						
	P7	-0.58	0.33	1.00	-0.01	-0.20	0.00	1					
	P8	0.13	0.15	0.80	0.91	-0.40	0.60	0.02	1				
	P9	0.18	0.13	0.40	-0.55	-0.80	0.80	-0.45	-0.62	1			
	P10	0.05	-0.40	-1.00	-0.19	0.20	0.00	-0.17	-0.07	0.02	1		
	P11	0.50	-0.40	0.00	0.33	-0.40	1.00	-0.50	0.20	0.22	-0.01	1	
	P12	0.60	-0.71	-1.00	-0.66	0.20	0.00	-0.54	-0.49	-0.31	0.77	0.03	1
	Período	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12
Caatinga	P1	1											
	P2	-0.48	1										
	P3	-0.60	-0.40	1									
	P4	0.44	-0.34	0.20	1								
	P5	-0.20	-0.80	-0.20	-1.00	1							
	P6	0.40	-0.40	0.40	0.00	0.00	1						
	P7	0.31	-0.25	1.00	0.54	-0.20	0.40	1					
	P8	0.56	-0.60	0.20	0.59	0.60	0.80	0.64	1				
	P9	-0.31	0.30	-0.80	-0.56	-0.40	-0.20	-0.82	-0.41	1			
	P10	0.26	-0.57	-0.40	0.15	0.80	0.40	0.15	0.59	-0.03	1		
	P11	-0.31	-0.04	0.40	0.14	0.80	0.40	0.10	-0.23	-0.17	-0.35	1	
	P12	-0.09	0.60	0.20	0.66	-1.00	0.00	-0.09	0.20	-0.03	-0.03	-0.03	1

Valores em negrito indicam correlações significativas a 5% de probabilidade.

Tabela 6

Equações de regressão entre a umidade volumétrica (θ_v) e propriedades físicas do solo, em superfícies com diferentes usos da terra, no município de Floresta, PE, no Sertão Central do Brasil.

Superfície	Variável	Equação	R ²	P
Palma forrageira	Densidade do solo	$\theta_v = -0,8890+0,6885.X$	0,83	<0,001
	Porosidade total	$\theta_v = 1,4916-0,0314.X$	0,95	<0,001
	Areia	$\theta_v = -1,1727+0,0017.X$	0,64	<0,05
	Silte	$\theta_v = 0,1421-0,0004.X$	0,39	>0,10
	Argila	$\theta_v = 0,0106+0,0008.X$	0,65	<0,05
Área desmatada	Densidade do solo	$\theta_v = 0,3926-0,2516.X$	0,88	<0,05
	Porosidade total	$\theta_v = -0,2903+0,0073.X$	0,76	<0,05
	Areia	$\theta_v = 0,2552-0,0003.X$	0,59	<0,05
	Silte	$\theta_v = -0,0314+0,0003.X$	0,76	<0,05
	Argila	-	-	-
Caatinga	Densidade do solo	$\theta_v = -4,8596+3,4107.X$	0,70	<0,05
	Porosidade total	$\theta_v = 2,1642-0,0484.X$	0,52	>0,10
	Areia	$\theta_v = 2,5107-0,0036.X$	0,66	<0,05
	Silte	$\theta_v = 5,8756.exp^{0,0229.X}$	0,52	>0,10
	Argila	$\theta_v = 0,0193.exp^{0,0113.X}$	0,29	>0,10

IV ARTIGO

IMPACTOS DA REMOÇÃO DA VEGETAÇÃO DE CAATINGA NAS RESPOSTAS BIO-HIDROLÓGICAS EM REGIÃO SEMIÁRIDA

Resumo: A redistribuição da chuva pela cobertura florestal tem potenciais impactos hidrológicos nas regiões semiáridas devido à contínua intervenção antrópica. O estudo do processo de interceptação de água pela vegetação de caatinga e suas alterações devido ao desmatamento tem extrema importância para a hidrologia local. No entanto, informações dessa magnitude são escassas na literatura. Assim, este estudo foi conduzido em duas paisagens comumente encontradas na região semiárida do nordeste brasileiro: área com vegetação de caatinga (CAA) e área desmatada (ADA). Foi examinado o particionamento das chuvas em precipitação interna (Pi), escoamento do tronco (Et) e interceptação pelo dossel (I) em cinco espécies de vegetação de caatinga: *S. tuberosa*; *C. leptophloeos*; *C. quercifolius*; *A. pyrifolium* e *C. pyramidale*; e avaliada a influência das características da chuva nesta partição. Adicionalmente, realizou-se análise comparativa entre as lâminas escoadas superficialmente (ES) nos dois sítios. Os componentes da partição da chuva foram medidos entre os anos de 2016 e 2017 por meio de 15 interceptômetros e 12 calhas, para determinação da Pi e Et, respectivamente, e suas relações com as características da chuva foram avaliadas com base em modelos de regressão linear. O monitoramento do ES deu-se pela instalação de um sistema coletor sobre a superfície do solo. Para a vegetação de caatinga, a Pi e Et representam 81,2 e 0,8% da precipitação total, enquanto a interceptação pelo dossel foi de 18%, valor expressivo que deve ser incluído em modelos regionais de balanço de água. Diferenças significativas entre a partição da chuva foram obtidas para as espécies avaliadas,

sendo que a *S. tuberosa* apresentou maior interceptação (29,7%), que está associada aos seus componentes estruturais. As características da chuva conseguiram explicar as variações na partição da água, indicando que a Pi e Et aumentam para eventos de maior volume e intensidades, enquanto a interceptação do dossel está principalmente associada a eventos de maior duração. Para a caatinga, fluxos de água no tronco e precipitação interna geralmente ocorrem para eventos superiores a 1,65 e 0,98 mm, enquanto os valores de armazenamento de água pelo dossel variaram entre 0,88 e 1,16 mm. A remoção da vegetação resultou em aumentos de 10% do ES para locais desmatados, com maiores incrementos nos primeiros eventos de chuva. Conclui-se que a remoção da vegetação nativa da caatinga resulta em maior degradação de paisagens, com significativos efeitos na redistribuição da água da chuva.

Palavras-chave: Particionamento da chuva, interceptação pelo dossel, escoamento superficial, área degradada.

IMPACTS OF REMOVAL OF CAATINGA VEGETATION IN BIO-HYDROLOGICAL RESPONSES IN SEMI-ARID REGION

Abstract: Redistribution of rainfall by forest cover has potential hydrological impacts in semi-arid regions due to continuous human intervention. The study of the water interception process by caatinga vegetation and its changes due to deforestation is extremely important for local hydrology. However, information of this magnitude is scarce in the literature. Thus, this study was conducted in two landscapes commonly found in the semi-arid region of the Brazilian northeast: area with caatinga vegetation (CAA) and deforested area (ADA). Partitioning of rainfall into throughfall (TF), stemflow (SF) and interception loss (IL) was examined in five tree species of caatinga vegetation: *S. tuberosa*; *C. leptophloeos*; *C. quercifolius*; *A.*

pyrifolium and *C. pyramidale*; and evaluated the influence of rainfall characteristics on this partition. In addition, a comparative analysis was conducted between runoff depths (ES) in the two study sites. The components of the rainfall partition were measured between 2016 and 2017 using 15 gauges and 12 gutters for measuring TF and SF, respectively, and their relationships with rainfall characteristics were evaluated based on linear regression models. The ES monitoring was performed by the installation of a collecting system on the soil surface. For the caatinga vegetation, TF and SF represent 81.2 and 0.8% of the total precipitation, while the canopy interception was 18%, an expressive value that should be included in regional water balance models. Significant differences between the rainfall partition were obtained for the evaluated species and *S. tuberosa* presented highest interception (29.7%), which is associated with its structural components. The rainfall characteristics have been able to explain the variations in the water partition, indicating that TF and SF increase for events of highest volume and intensities, whereas the interception of the canopy is mainly associated to events of longer duration. For the caatinga, tree stem water flows and internal precipitation generally occur for events greater than 1.65 and 0.98 mm, while canopy water storage values ranged from 0.88 to 1.16 mm. Removal of vegetation resulted in 10% increases in ES for deforested sites, with higher increases in early rainfall events. It is concluded that the removal of the native vegetation of the caatinga results in greater degradation of landscapes, with significant effects on the redistribution of rainwater.

Keywords: Rain partitioning, canopy interception, runoff, degraded area.

1. Introdução

Os ecossistemas florestais são responsáveis por alterações do mecanismo de entrada de água da chuva, pela sua redistribuição ao interagir com o dossel, tendo

papel de destaque no ciclo hidrológico local e regional (Ávila et al., 2014; He et al., 2014; Moura et al., 2009). A água da chuva acima do dossel é fracionada em três componentes: precipitação interna, escoamento pelo tronco e interceptação pela copa. Nos dois primeiros casos, a água flui em direção ao solo após interagir ou não com a vegetação, enquanto a interceptação refere-se à água temporariamente armazenada no dossel, que em seguida é perdida por evaporação (Moura et al., 2009; Sadeghi et al., 2016; Zheng et al., 2018).

A interceptação vegetal em florestas nativas brasileiras pode alcançar valores de 2,4 a 37,6% da precipitação total (Giglio and Kobiyama, 2013), apresentando significativa variação espacial entre diversos ecossistemas. Esta variação é o resultado de associações entre elementos meteorológicos, microclima, comportamento da chuva (quantidade, duração e intensidade), características do dossel e dos nichos de crescimento das espécies vegetais (He et al., 2014; Medeiros et al., 2009; Siegert et al., 2016; Zhang et al., 2015, 2018; Zheng et al., 2018).

A água da chuva, ao interagir com o dossel, sofre alterações pela redução do tamanho das gotas d'água e diminuição de sua intensidade, em decorrência da redução da energia cinética (Albuquerque et al., 2001; Brandt, 1986; Costa et al., 2013). Dessa forma, a interceptação florestal é um processo chave, influenciando a disponibilidade e distribuição da chuva para outros processos hidrológicos, como a evaporação, taxa de infiltração do solo, escoamento superficial, erosão, umidade do solo, recarga de águas subterrâneas, entre outros (He et al., 2014; Sajikumar and Remya, 2015; Zhang et al., 2018). As proporções destes processos são controladas elementarmente pelas características da cobertura vegetal. Assim, toda e qualquer intervenção antrópica afetará a redistribuição da chuva, impactando em todo o ecossistema (Moura et al., 2009; Sajikumar and Remya, 2015).

A região semiárida do nordeste do Brasil apresenta grande fragilidade, devido o incentivo de práticas como o desmatamento indiscriminado da vegetação de caatinga para extração de lenha, implantações de culturas e sobrepastejo de animais. Frequentemente, estas práticas são conduzidas sob manejo antrópico inadequado, agravando o processo de degradação de áreas nativas e aumentando a complexidade hidrológica desta região (Rodrigues et al., 2013; Srinivasan et al., 2003).

Esta região possui precipitações escassas e irregulares, com média anual entre 300 e 800 mm e, no mínimo, cinco meses secos consecutivos. Como a chuva é a principal fonte de reabastecimento de água no sistema, tais condições resultam em insuficiência hídrica, uma vez que a região possui apenas 3% do volume total de água do país (Dória et al., 2016; Medeiros et al., 2009; Montenegro and Ragab, 2012).

Surpreendentemente, estudos que investiguem o efeito do desmatamento da caatinga sobre os processos hidrológicos nesta região são escassos (Almeida et al., 2012; Giglio and Kobiyama, 2013; Medeiros et al., 2009; Rodrigues et al., 2013; Srinivasan et al., 2003). Dessa forma, informações quantitativas sobre a perda hidrológica permitem avaliar os efeitos da mudança no uso da terra (Bäse et al., 2012) e as implicações bio-hidrológicas para a vegetação de caatinga, com destaque para a adoção de práticas de desmatamento e uso de espécies vegetais em projetos de reflorestamento (Medeiros et al., 2009; Sadeghi et al., 2016).

Neste estudo, objetiva-se quantificar o processo de interceptação de água pela vegetação de caatinga e sua influência sobre o escoamento superficial, bem como analisar as respostas bio-hidrológicas de áreas degradadas pela exploração antrópica em ambiente semiárido. Adicionalmente, os processos de transferência de

informações representativas da região semiárida para uso em modelos hidrológicos de regionalização da interceptação de água pela vegetação foram aprimorados.

2. Material e métodos

2.1. Descrição do sítio experimental

O local de estudo está localizado em área rural pertencente ao município de Floresta, estado de Pernambuco. O clima da região é Semiárido quente, do tipo BSw^h' (Alvares et al., 2013), com precipitação média anual de 489 mm, ocorrendo principalmente entre os meses de dezembro a abril. Além das variações na chuva, existem fortes diferenças sazonais em termos de temperatura do ar, umidade relativa do ar, e de outras variáveis meteorológicas (Tabela 1). A área experimental está situada no Sistema CAAM-DES-AT (Vegetação CAatinga, Plantas CAM e áreas em DESertificação em interação com a ATmosfera), e consiste de dois sítios com distintos usos da terra, que durante o estudo foi dominado por vegetação de caatinga (CAA) e área desmatada adjacente (ADA) (Fig. 1).

Na CAA, a cobertura florestal possui uma área superior a 200 ha, composta de vegetação nativa do Domínio de Caatinga e uma floresta tropical seca que abrange a maior parte da região semiárida do nordeste brasileiro (Dória et al., 2016). A floresta é dominada por espécies vegetais de caráter arbóreo e arbustivo, como *Spondias tuberosa*, *Jatropha molíssima*, *Aspidosperma pyrifolium*, *Cenostigma pyramidale*. Dessas espécies, muitas apresentam microfilia e xeromorfismos, fazendo com que a paisagem seja fortemente modificada ao longo do ano, como resposta às condições de restrição hídrica local (Medeiros et al., 2009; Silva et al., 2014).

Na ADA, a vegetação nativa de caatinga foi totalmente desmatada para implantação de culturas agrícolas e pastagens em uma área de quatro hectares. Atualmente, a cobertura vegetal é composta principalmente por espécies vegetais de

extrato herbáceo, como *Boerhavia diffusa* L., *Amaranthus viridis* L., e *Urochloa mosambicensis*, as quais são ocorrentes em áreas sob ação antrópica. A distância entre os dois sítios experimentais é de 1,5 km. Em ambas as áreas, ainda observa-se a presença de animais domésticos herbívoros, principalmente caprinos e ovinos.

2.2. Seleção de plantas e medições

Na área de Caatinga, vinte e sete plantas saudáveis e vigorosas foram selecionadas para monitoramento da partição da chuva em campo. Essas plantas são representativas de cinco espécies vegetais dominantes do local: *Spondias tuberosa* (Umbuzeiro), *Commiphora leptophloeos* (Imburana-de-cambão), *Cnidocolus quercifolius* (Faveleiro), *Aspidosperma pyrifolium* (Pereiro), e *Cenostigma pyramidale* (Catingueira), distribuídas aleatoriamente no sítio experimental.

Em todas as plantas foram medidas a altura total (base do caule até a última folha verde); o diâmetro à altura do peito (DAP) a 1,3 m e; a área de projeção da copa (aproximada como circular), a partir dos valores de diâmetros leste-oeste e norte-sul do caule até a extremidade do dossel. Além disso, foi contabilizado o número de fustes por planta (Tabela 2).

Para a ADA, devido à ausência de vegetação arbóreo-arbustiva, a interceptação de água pelo dossel vegetativo não foi monitorada. Dessa forma, considera-se que toda a água precipitada chega diretamente à superfície do solo.

2.3. Precipitação total (PT)

A precipitação total (PT) refere-se à quantidade de água que atinge o topo do dossel. A série de dados de PT foi registrada por pluviômetros automáticos (CS700-L, Hydrological Services, Liverpool, Austrália), com resolução de 0,254 mm. Os pluviômetros foram instalados a 8 e 3 m de altura no topo de torres

micrometeorológicas localizadas nos sítios de observação da CAA e ADA, respectivamente. Os dados foram registrados e armazenados em um datalogger modelo CR10X (Campbell Scientific Inc, Logan, Utah, USA), em intervalos de 10 min.

2.4. Cálculo da precipitação interna e escoamento pelo tronco

A precipitação interna (P_i , mm) foi medida em quinze pluviômetros artesanais de PVC instalados a altura de 1,0 m acima do solo, com superfície de coleta de 707 cm², sendo distribuídos aleatoriamente abaixo do dossel de cinco espécies dominantes na área (três pluviômetros por espécie) (Fig. 2). Foi feita a alocação dos pluviômetros para novas posições ao longo do período de monitoramento, a fim de reduzir os efeitos da variabilidade espacial das leituras e minimizar os erros de estimativas (Vernimmen et al., 2007).

A precipitação interna foi calculada a partir da Eq. (1), como descrito em Zhang et al. (2015, 2018):

$$P_i = \frac{V_{P_i}}{AC} \quad (1)$$

em que: P_i é a precipitação interna (mm), V_{P_i} é o volume de água que atravessou o dossel (L) e AC é a área do coletor e, ou, pluviômetro (m²).

Para quantificar o escoamento pelo tronco (E_t), foram utilizadas calhas de zinco, com altura de 0,15 m e comprimentos a depender da circunferência dos troncos das árvores, instaladas a altura de 1,30 m. Devido às obstruções dos troncos das espécies *Spondias tuberosa* e *Commiphora leptophloeos*, o monitoramento do E_t ficou restrito às outras três espécies, sendo medido em 12 plantas (quatro calhas por espécie) (Fig. 2). Optou-se por escolher plantas com circunferência a 1,30 m \geq 20

cm, pela facilidade de instalação das calhas, resultando em classes de DAP de 5-10 cm e 10-20 cm (Bäse et al., 2012)

O Et foi calculado conforme a Eq. (2):

$$Et = \frac{V_{Et}}{AP} \quad (2)$$

em que: Et é fluxo de água escoado pelo tronco (mm), V_{Et} é o volume de água do fluxo do tronco medido (L), AP é a área de projeção do dossel (m^2) (Zhang et al., 2015).

A fim de evitar evaporação, a água da chuva foi direcionada por uma mangueira afixada aos coletores de Pi e Et, constituídos de recipientes individuais de plásticos com capacidade de 10 L, sendo as medições realizadas por meio de uma proveta graduada. Em resumo, das 27 plantas selecionadas, em 15 foram alocados os pluviômetros internos e em 12 as calhas de escoamento do tronco.

2.5. Precipitação efetiva e interceptação de água

A precipitação efetiva (PE) refere-se à chuva que atinge a superfície do solo, sendo obtida pela soma da Pi e do Et. Assim, a lâmina de água interceptada pelo dossel foi obtida para cada evento de chuva (Bäse et al., 2012; He et al., 2014) (Eq. (3)):

$$I = PT - PE = PT - (Pi + Et) \quad (3)$$

em que: PT é a precipitação total obtida em área aberta (mm).

O período de monitoramento da partição da chuva esteve compreendido entre março de 2016 a setembro de 2017, realizando-se medições em escala semanal/diária/evento, a depender das condições de acesso à área após a ocorrência das chuvas. Precipitações que não originaram Pi e, ou, Et não foram registradas como eventos.

2.6. Características da precipitação pluviométrica

A influência das características da chuva (quantidade, duração e intensidade) sobre os componentes da sua partição foram explorados por meio de modelos de regressão linear. Para tal, foi utilizado um conjunto de dados constituído de 81 pontos, ou seja, foram incluídos os 32 eventos de chuva que geraram P_i e E_t (Fig. 5), bem como precipitações de menores valores que não promoveram partição da chuva, todos observados no período de março 2016 a setembro 2017.

2.7. Escoamento superficial

Neste estudo, como forma de averiguar o impacto da remoção da cobertura vegetal nativa da caatinga na dinâmica hídrica local, as taxas de escoamento superficial (ES) foram comparadas entre os sítios. Para isso, foi empregado um sistema coletor de ES que utiliza seis calhas constituídas de chapa metálica (três na área de CAA e três na ADA), com dimensões 0,30 x 0,50 m (0,15 m²). As calhas foram instaladas acima da superfície do solo e conectadas por um cano de PVC de 1 m de comprimento a um coletor de 18 litros, devidamente fechado, a fim de evitar perdas de água por evaporação.

A lâmina de água escoada em cada sítio foi obtida conforme a Eq. (4):

$$ES = \frac{V_i}{A_i} \quad (4)$$

em que: ES é o escoamento superficial (mm), V_i é volume de água escoado nas calhas do solo (L), e A_i é a área da calha do solo (m²) (Silva et al., 2016; Souza et al., 2015).

O monitoramento de ES teve início em março de 2015, quando foi instalado o sistema coletor. Os dados de precipitação e escoamento de cada sítio experimental foram submetidos à análise de regressão linear para ajuste de modelos (Costa et al.,

2013; Souza et al., 2015; Srinivasan et al., 2003). As equações originadas foram utilizadas na estimativa do ES e avaliação comparativa entre os sítios experimentais, durante o período de novembro de 2014 a novembro de 2017.

2.8. Análise estatística

Foi aplicada a estatística descritiva e o teste de normalidade aos dados de precipitação interna, escoamento pelo tronco, interceptação de água da chuva, e características da precipitação total (quantidade, duração e intensidade). Para este último, foram criados histogramas de distribuição de classes. O teste pareado de Friedman foi utilizado para determinar quais espécies vegetais apresentam taxas médias de partição da precipitação estaticamente diferentes ($P < 0,05$). As regressões lineares entre os componentes da chuva e seu particionamento foram avaliadas por meio da significância das equações e dos seus parâmetros. Todos os procedimentos estatísticos foram realizados a partir do programa Statistical Software and Data Analysis in Excel, XLSTAT, versão 2017 (Addinsoft, Paris, França, www.xlstat.com). Os gráficos foram elaborados por meio do programa SigmaPlot®10.0 (Systat Software Inc.).

3. Resultados

3.1. Precipitação total e suas características

Durante o período experimental de março de 2016 a setembro de 2017, foram registrados 81 eventos de chuva, e um total de 536,5 mm. A precipitação foi distribuída de forma desigual ao longo do ano e entre os anos, de modo que, para o estudo do particionamento da precipitação pluviométrica, apenas 32 eventos de chuva foram utilizados, uma vez que para os demais, o baixo valor precipitado não resultou em precipitação interna e, ou, escoamento pelo tronco. Durante os 32

eventos, foram registrados 506,3 mm, sendo a diferença de apenas 30,2 mm em relação ao total observado no período.

Na Fig. 3 é exibida a quantidade diária de chuva (Fig. 3A), a duração (Fig. 3B) e a intensidade (Fig. 3C) durante os 32 eventos para o período de 2016 a 2017. A quantidade de água precipitada variou de 2,8-48,8 mm, proporcionando uma média de 15,8 mm (desvio padrão: $\pm 11,27$ mm). A duração da chuva variou de 0,7-8,7 h, apresentando valor médio de 3,4 h (desvio padrão: $\pm 2,21$ h), enquanto a intensidade de chuva oscilou de 1,6-18,2 mm h⁻¹ com uma média de 5,6 mm h⁻¹ (desvio padrão: $\pm 3,96$ mm h⁻¹). É bastante perceptível que a distribuição da precipitação pluviométrica foi mais uniforme no ano de 2017 (Fig. 3A), prolongando-se de fevereiro até meados de julho, o que permitiu um monitoramento mais constante da partição da chuva.

As distribuições de frequência da quantidade, duração e intensidade da chuva nos 32 eventos são apresentadas na Fig. 4. A quantidade de chuva foi distribuída em cinco classes. Os eventos com precipitação ≤ 10 mm foram os mais frequentes, o que representou 38% do total. No entanto, a quantidade de chuva acumulada foi de 72 mm, sendo apenas 14% da precipitação total. Foram contabilizados 11 eventos na classe variando de 10 a 20 mm (34%), ocupando o maior percentual de precipitação total acumulada (30%), que corresponde a 153 mm (Fig. 5A). Para as classes intermediárias (20-30 mm e 30-40 mm), os eventos foram menos frequentes, ocorrendo em 13% do número total (quatro em cada classe). Porém, a quantidade de precipitação total nestes eventos foi de 99 e 132 mm, respectivamente. Por fim, apenas 1 evento individual foi maior que 40 mm (3%), representando 10% da precipitação total (48,8 mm) (Fig. 5A).

Eventos de menor duração apresentam maior frequência. Vinte e um eventos tiveram duração menor ou igual a 4 h, que corresponde a 66% do total de eventos, os quais acumularam 316 mm de chuva, equivalente a 62% da precipitação total (Fig. 5B). Chuvas com duração entre 4-8 h ocorreram em 28% dos eventos, com o total acumulado de 162 mm (32%). O número de chuvas individuais com duração acima de 6 h equivaleu a 6% dos eventos e também da quantidade de chuva total (Fig. 5B).

As distribuições de frequência da intensidade da chuva foram inclinadas para o número de eventos e quantidade de chuva, indicando que intensidades menores (0 a 5 mm h⁻¹) são as mais frequentes (18 eventos, 56% do total). A precipitação acumulada nestes eventos foi de 199 mm, 39% do total (Fig. 5C). Intensidade intermediária foi a segunda classe de maior ocorrência, com 31% dos eventos (10), e quantidade de chuva acumulada semelhante à classe anterior (35%). Registraram-se 2 eventos de chuva com intensidade entre 10 e 15 mm h⁻¹ e acima de 15 mm h⁻¹, porém com percentuais do total de chuva diferentes, 17 e 9%, nesta ordem (Fig. 5C).

3.2. Particionamento da precipitação pluviométrica em área de caatinga

As precipitações individuais dos 32 eventos, expressas como precipitação interna, escoamento do tronco e interceptação, associadas a quantidade e intensidade da chuva, são apresentadas na Fig. 5. Para o período experimental, foram contabilizados 9 eventos de chuva que totalizaram 146,7 mm (19 de março a 18 de dezembro), no primeiro ano (2016). Em contraste, registraram-se 23 eventos de chuva no segundo ano (2017), totalizando 359,6 mm (2 de fevereiro a 14 de julho), ambos representando 29% e 71% do volume precipitado, nesta ordem (Fig. 6).

Dentre os componentes da partição da precipitação pluviométrica, a precipitação interna (Pi) foi a de maior variação entre os eventos monitorados, oscilando entre 1,32 e 46,8 mm ($\pm 11,00$ mm) e, respondendo positivamente à

precipitação total (Fig. 5). Os valores de Et foram muito baixos para a caatinga, variando de 0 a 0,53 mm ($\pm 0,15$ mm). Apenas em eventos com maiores volumes de chuva e intensidades reduzidas foram observados maiores fluxos no tronco, a exemplo dos eventos 9, 11, 17, 19, 20, 21, 27 e 29 ($Et \geq 0,25$ mm) (Fig. 6).

Para a componente interceptação de água pelo dossel (I), os valores oscilaram de 0,9 a 8,78 mm ($\pm 1,61$ mm). Além disso, nos últimos eventos de chuva em cada ano (eventos 8 e 9 em 2016, e eventos 30, 31 e 32 em 2017), foram observados valores de interceptação ligeiramente maiores (Fig. 5). No entanto, ao longo dos eventos de chuva, este componente apresentou pouca alteração em função da intensidade e quantidade da chuva, sempre com valores próximos durante a maioria dos eventos.

De modo geral, dos 506 mm precipitados na área com vegetação de caatinga, 411 mm atingiram a superfície do solo como precipitação interna (81,2%) e 4 mm escorreram pelo tronco (0,8%), resultando no valor de precipitação efetiva (PE) igual a 415 mm (82%). Assim, a interceptação de água da chuva pela vegetação de caatinga é referente a 18% da PT, equivalente a 91 mm (diferença entre a PT e PE). A análise da partição da água da chuva na área desmatada não foi realizada devido à ausência de espécies de, no mínimo, extrato arbustivo, considerando-se assim que, nesta área, a PE é igual a PT.

Os valores médios e os percentuais dos componentes da partição da chuva para as cinco espécies vegetais da caatinga estão apresentados na Tabela 3. Em todos os componentes, foram encontradas diferenças significativas ($P < 0,05$) entre as espécies. Além disso, a *S. tuberosa* foi a única que obteve precipitação interna estaticamente inferior às demais, com um percentual de 69,5% da PT. Para as demais espécies, os percentuais de Pi variaram de 81,4% a 87,6% (Tabela 3).

Para os cálculos de Et, alerta-se que, como nas espécies *S. tuberosa* e *C. leptophloeos* este componente não foi monitorado, seus valores foram estimados com base no percentual obtido para a vegetação de caatinga (0,8% da PT). Desta forma, ambas as espécies tiveram o mesmo valor médio de Et (0,13 mm). A espécie *A. pyrifolium* permitiu o escoamento pelo tronco com valor médio de 0,19 mm, equivalente a 1,2% da PT, enquanto o percentual da *C. quercifolius* foi de 0,6%. Para a espécie *C. pyramidale*, foram obtidos os menores valores de Et ($P < 0,05$), representando 0,5% da PT. Este valor é estaticamente inferior às outras espécies (Tabela 3), porém, não se diferenciando da *C. quercifolius*.

Para a interceptação (I), a *S. tuberosa* foi absolutamente superior às demais espécies ($P < 0,05$), as quais não se diferenciaram entre si. Os percentuais de I entre as espécies monitoradas variaram de 11,6 a 29,7%. Embora os valores percentuais de escoamento do tronco tenham diferido entre as espécies, foram basicamente muito baixos (Tabela 3). Assim, os valores de I refletem, sobretudo, as respectivas diferenças da Pi.

3.3. Partição da precipitação em relação às características da chuva

As características da chuva (quantidade, duração e intensidade) apresentaram relações significativas e positivas com todos os componentes da partição da chuva (precipitação interna, escoamento do tronco, e interceptação) (Fig. 7).

Os resultados da análise de regressão, para a quantidade total da chuva (PT), indicaram que todos os componentes foram linearmente e positivamente correlacionados ($0,44 < R^2 < 0,98$; $P < 0,0001$), com melhores ajustes para a precipitação interna e a lâmina escoada pelo tronco (Fig. 6A e B). De acordo com as equações ajustadas, o valor limiar de chuva que gera precipitação interna e escoamento do

tronco é de 0,98 e 1,65 mm, respectivamente. Portanto, o primeiro valor pode ser considerado como a capacidade de armazenamento do dossel da caatinga.

Foram obtidas relações positivas significativas entre a duração da chuva (h) e os componentes da partição da chuva (P_i , E_t , I) ($P < 0,05$), com incrementos lineares (Fig. 6D-F). A P_i e o E_t apresentaram relação linear significativa com a duração da chuva, porém relativamente fraca, enquanto a interceptação da água (I) obteve melhor ajuste ($R^2 = 0,71$, $P < 0,0001$). A intensidade da chuva (mm h^{-1}) conseguiu explicar as variações na precipitação interna, escoamento do tronco e interceptação da água da chuva ($P < 0,001$) (Fig. 6G-I). A P_i e E_t apresentaram tendência positiva com o aumento da intensidade, enquanto para a I , foi obtido o menor ajuste entre estas variáveis ($R^2 = 0,22$) (Fig. 6I).

Na Tabela 4 é possível observar que foram encontradas relações significativas obtidas pelo ajuste de modelos lineares entre os componentes da partição chuva e suas características, para as cinco espécies vegetais predominantes na CAA.

Verifica-se que há tendências positivas e significativas para a precipitação interna em todas as espécies vegetais, utilizando as relações entre precipitação total (PT), duração da chuva (DC) e intensidade da chuva (IC) ($P < 0,0001$). Assim, obtiveram-se maiores coeficientes de determinação ($R^2 > 0,96$) para o primeiro caso (Tabela 4). As equações ajustadas indicaram diferentes capacidades de armazenamento do dossel pelas espécies. Os resultados mostraram que a *S. tuberosa* foi superior no armazenamento de água do dossel (1,16 mm), enquanto a espécie *C. leptophloeos* teve o menor valor de armazenamento, apenas 0,88 mm. Para as demais espécies, os valores oscilaram entre 0,92 e 1,01 mm (Tabela 4).

Para o componente escoamento do tronco, com base nas características da chuva, foi possível explicar as diferenças dos valores encontrados para todas as

espécies, as quais se comportaram positivamente, fazendo com que as relações com a PT promovessem melhores ajustes ($0,57 < R^2 < 0,96$). A duração e a intensidade da chuva apresentaram relações significativas e fracas para o Et das espécies *C. pyramidale*, *A. pyriformium* e *C. quercifolius* (Tabela 4). Para as cinco espécies estudadas, o valor limiar de chuva que resulta em fluxos de água no tronco encontra-se na faixa de 1,14 a 1,9 mm.

A interceptação de água foi o componente que apresentou os menores ajustes com as características da chuva (PT, DC e IC) para todas as espécies, com coeficientes de determinação baixos, principalmente para relações com PT e IC (Tabela 4). De modo geral, melhores ajustes foram encontrados entre a interceptação e a duração da chuva, com exceção da espécie *C. leptophloeos* ($R^2=0,15$; $P < 0,005$).

3.3. *Escoamento superficial da água da chuva*

As equações de ajuste para o ES em função da PT foram altamente significativas ($P < 0,0001$), com coeficientes de determinação superiores a 0,60. Logo, conduziram a um modelo adequado para fornecer informações confiáveis na estimativa de ES (Costa et al., 2013; Souza et al., 2015). Dessa forma, as comparações entre as superfícies de CAA e ADA foram expressas em termos de escoamento superficial acumulado ao longo dos anos, utilizando dados de chuva de novembro de 2014 a novembro 2017 (Fig. 7).

Para a superfície CAA, a soma total das lâminas escoadas foi de 612 mm, representando 48% da chuva, enquanto o ES acumulado foi de 693 mm na área desmatada, equivalente a 58%, acompanhando diretamente a sazonalidade da precipitação pluviométrica. O ES na ADA manteve-se maior que na CAA durante todo o período de avaliação, com diferença de 81 mm, enquanto os valores de

precipitação pluviométrica na CAA foram ligeiramente superiores ao da ADA, equivalente a 69 mm durante os três anos de monitoramento (Fig. 7).

No ano de 2015, 69% do total precipitado ocorreu entre os meses de março a maio. Em 2016, as chuvas ocorridas no mês de janeiro representaram 50% da precipitação incidente no ano, enquanto este valor foi de 51% em 2017, ocorridos entre os meses de março e abril. Tais condições foram responsáveis pelos incrementos nos valores acumulados de ES, principalmente para a ADA durante as primeiras precipitações (Fig. 7).

4. Discussões

4.1. Particionamento da precipitação pluviométrica em área de caatinga

Foi possível verificar que, para a região do estudo, precipitações maiores ou iguais a 20 mm, com durações maiores que 4 h e intensidades menores ou iguais a 5 mm h⁻¹, são as mais frequentes (Fig. 4). Este resultado influencia diretamente na partição da precipitação pluviométrica ao entrar em contato com o dossel das espécies vegetais.

O comportamento da precipitação interna durante os 32 eventos de chuva mostrou-se bastante variável, com padrão semelhante à precipitação incidente. Durante todo o período experimental, foram obtidos valores de P_i superiores a P_T (*drip points*) em cinco eventos de chuva. Fato comum em estudos de interceptação de água, devido à existência de pontos de gotejamento preferenciais a partir do dossel, observados principalmente em eventos contínuos de chuva (Moura et al., 2009; Siegert et al., 2016; Vernimmen et al., 2007).

Vernimmen et al. (2007) verificaram que a ocorrência de *drip points* aumenta para maiores volumes precipitados, chegando a frequências de ocorrência de 33,3%. Para este estudo, o reduzido número de *drip points* deve-se à prática de alocação dos

pluviômetros no decorrer do período experimental, prática que deve ser incentivada em pesquisas com vegetação de caatinga, em que a formação do dossel ocorre de forma continuada dentro do período chuvoso.

As contribuições de Et foram pequenas para eventos com volume precipitado reduzido, e vice-versa. Porém, de modo geral, o volume de fluxo de água do caule foi mínimo. Apesar da pequena proporção deste componente, o mesmo é um ponto de entrada preferencial de água até camadas mais profundas do solo, concentrando-se na zona radicular próxima ao caule e tornando a água facilmente disponível às raízes das plantas (Brasil et al., 2017; Zhang et al., 2015; Zheng et al., 2018). Para regiões áridas e semiáridas, o fluxo de água em direção às raízes é presumivelmente necessário (Germer et al., 2010; Zheng et al., 2018).

Os valores de interceptação de água pelo dossel variaram pouco entre os eventos de chuva, independentemente da quantidade de água precipitada. Porém, notaram-se valores de interceptação ligeiramente superiores nos últimos eventos, podendo pressupor que a sequência de eventos chuvosos permitiu uma completa formação de biomassa vegetal pelas espécies (Fig. 5). Avila et al. (2014) constataram que o percentual de Pi durante períodos secos foi significativamente maior que nos úmidos. Assim, maior volume de água atravessa o dossel e chega à superfície do solo durante o período úmido, resultando em menor interceptação da chuva. Estes autores associam tal comportamento à formação florestal semidecídua, com quedas de folhas durante a estação seca. Logo, é provável que ambas a Pi e a I também correlacionem-se com as características do dossel.

Os fatores que controlam a distribuição da água da chuva, ao interagir com os dosséis das plantas, são numerosos, e por vezes complexos, comportando-se de forma distinta entre os tipos de vegetação, manejo, ecorregiões, uso da terra,

sazonalidade, condições meteorológicas, características da precipitação, entre outros (Ávila et al., 2014; Germer et al., 2010; Siegert et al., 2016).

Limin et al. (2015) e Siegert et al. (2016) verificaram que espécies com baixos valores de índice de área foliar não possuíam as maiores taxas de precipitação interna e interceptação, nesta ordem. Este fato sugere que o conjunto de características individuais das espécies, como área de projeção de copa, densidade do caule, orientação de folhas e de ramos, posição do dossel, entre outras, sejam fortes determinantes da partição da chuva.

He et al. (2014), analisando os padrões espaciais da interceptação de água pelo dossel, encontraram correlações positivas significativas ($P < 0,0001$) com o índice de área da planta (IAP – considera folhas e galhos), porém, não significativas para o IAF. Os autores verificaram também que ambas a interceptação de água e o IAP são semelhantemente influenciados pelas espécies de plantas avaliadas. Além disso, a variação espacial do dossel é o principal fator que afeta a distribuição da interceptação de água, com relações positivas crescentes entre o IAP e a I.

Zhang et al. (2015) utilizaram correlações de Pearson para avaliar a relação entre partição da chuva e variáveis meteorológicas. No entanto, não foram encontradas correlações significativas entre o conjunto de dados. Zhang et al. (2018) constataram relação significativa e fraca entre P_i e umidade relativa do ar, e relação forte e significativa com o déficit de pressão de vapor d'água, ajustado por uma função logarítmica. Contudo, os autores destacam que não foi possível detectar relações claras entre as variáveis ambientais estudadas e a precipitação interna.

Com base nos dados obtidos no sítio experimental com vegetação de caatinga, verifica-se que os 506 mm de precipitação pluviométrica total incidente resultaram em percentuais de precipitação interna, escoamento do tronco e

interceptação iguais a 81,2%, 0,8% e 18%, nesta ordem (Tabela 3). Medeiros et al. (2009) encontraram valores similares em área de caatinga arbórea preservada, com valores de Pi, Et e I iguais a 81%, 6% e 13%, respectivamente. Brasil et al. (2017) reportaram valores de Pi de 79,6%, Et de 2% e I igual a 18,4% da precipitação total incidente, em área de caatinga regenerada com 28 anos. Ambos os estudos foram conduzidos na região semiárida do estado do Ceará.

Os resultados do presente estudo corroboraram com os obtidos em outras regiões climáticas, utilizando diferentes tipos de vegetação e manejo, desde florestas naturais a implantadas (Fig. 8). Nestes trabalhos, verifica-se que a precipitação interna é a principal forma de entrada de água na floresta, com valores variando de 46,2% a 91,6%. O escoamento no tronco representa 0,16% a 11,9% da precipitação total, e os percentuais de interceptação enquadram-se na faixa entre 8,1% a 44,8%.

O valor da interceptação de água da chuva, obtido neste estudo (18%), é bastante significativo para a região, visto que o volume interceptado irá retornar à atmosfera para compor a massa de vapor d'água. Considerando que a vegetação de caatinga é caracterizada, em sua maioria, por espécies que apresentam microfilia (folhas pequenas), seria esperado que o percentual de interceptação fosse menor que outras tipologias vegetais, devido à reduzida capacidade de armazenamento de água no dossel. No entanto, alguns autores sugerem que as altas taxas de evaporação da região seriam capazes de criar um ciclo, entre a interceptação da água do dossel e seu posterior retorno à atmosfera, durante e após a ocorrência de chuva, permitindo que o armazenamento de água fosse contínuo (Brasil et al., 2017; Medeiros et al., 2009).

Os fatores que controlam a redistribuição da água da chuva em determinado tipo de floresta são dinâmicos, tornando comprometedor extrair conclusões gerais e extrapolá-las para todo ecossistema. Portanto, a quantificação do processo de

interceptação de água da chuva pela vegetação de caatinga deve ser feita de forma abrangente, incluindo o maior número possível das fisionomias vegetais deste domínio (Brasil et al., 2017; Moura et al., 2009). Tais informações têm ampla aplicação pela comunidade científica internacional, principalmente no que cerne à estimativa de parâmetros exigidos por modelos de interceptação (Giglio and Kobiyama, 2013).

Para áreas com vegetação de caatinga, existem poucos estudos sobre o processo de redistribuição da água da chuva, com apenas dois trabalhos na literatura (Fig. 8). Giglio and Kobiyama (2013) fizeram uma extensa revisão de estudos sobre medição de interceptação de água em florestas nativas brasileiras, com intuito de identificar quais ambientes necessitam prioritariamente de maiores pesquisas. Dentre os trabalhos revisados, 25 foram conduzidos na Mata Atlântica, 15 na Amazônia, e outros 4 foram distribuídos entre Cerrado (3) e área de Caatinga (1).

Para outras regiões áridas e semiáridas do mundo, estudos de interceptação são mais frequentes, servindo de subsídios para aplicação de modelos, implementação e avaliação de projetos de recuperação de áreas, e orçamentos hidrológicos (He et al., 2014; Zhang et al., 2015, 2018, 2016). He et al. (2014) examinaram a variabilidade espacial da interceptação de chuva pela vegetação de uma floresta montanhosa em uma região semiárida (Nordeste da China, 38°24'N, 376 mm ano⁻¹). A chuva total do período avaliado foi de 571,3 mm, que compreendeu 46 eventos, dos quais 70% apresentaram intensidades de 1,8 mm h⁻¹. O escoamento de água pelo tronco representou 0,16% do total precipitado, e apenas foi observado durante chuvas intensas (>20 mm). A precipitação interna ocorreu apenas em eventos de chuva superiores a 1,16 mm, indicando que esta é a capacidade de armazenamento da copa até a saturação. A interceptação de água pelo dossel foi de

35,1±20,7%, com variabilidade significativa ($P<0,001$) devido à espacialização dos coletores nas diferentes plantas, estrutura do dossel e índice de área da planta.

Em termos da composição das espécies da vegetação de caatinga, o percentual de precipitação interna para a espécie *S. tuberosa* (69,5%) foi significativamente inferior às demais ($P<0,05$), ao passo que a interceptação foi significativamente superior (29,7%). Para o escoamento do tronco, as diferenças percentuais entre as espécies, embora significativas, foram mínimas, não ultrapassando 1,2%. Estes resultados indicam que a espécie *S. tuberosa* é mais eficiente na interceptação de água da chuva pelo dossel, quando comparada com as espécies *C. leptophloeos*, *A. pyrifolium*, *C. quercifolius* e *C. pyramidale* (Tabela 3).

Tal resultado pode estar relacionado às características estruturais do dossel da *S. tuberosa*, a qual possui porte maior, máxima área de projeção da copa e troncos espessos (Tabela 2). Em contraste, as demais espécies apresentam dosséis mais espaçados (abertos) (Fig. 2), o que provavelmente foi responsável pelos menores valores de interceptação de água. Sadeghi et al. (2016) encontraram diferenças significativas em todos os componentes da partição de água em quatro espécies comumente utilizadas em projetos de recuperação de áreas degradadas. Para estes autores, se o objetivo da arborização for reduzir a erosão e o escoamento do solo, a espécie *P. eldarica* é a mais indicada, por interceptar mais água que as demais árvores.

Zhang et al. (2015) citam que, do ponto de vista hidrológico, a vegetação arbustiva exerce controle significativo no regime hídrico, modificando a evaporação e a redistribuição da precipitação incidente. Estes autores avaliaram a partição da chuva de duas espécies de arbustos xerófitos (*C. Korshinskii* e *A. ordosica*) no noroeste da China, em uma região com elevado déficit hídrico (precipitação média

anual de 191 mm). Como resultado, a *C. korshinskii* apresentou percentuais de 74,31%, 8,99% e 16,70% para a Pi, Et e I, enquanto para a espécie *A. ordosica* esses valores foram respectivamente iguais a 74,83%, 2,89%, e 22,28%. As diferenças entre as espécies são atribuídas as suas características. A espécie *C. korshinskii* tem hastes lisas, folhas pequenas, galhos cerosos, copa mais aberta e IAF igual a $0,76 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$; resultando em maior eficiência na produção de fluxo de água pelo tronco e, menor interceptação. Já a espécie *A. ordosica* possui apenas uma haste, áspera e de casca grossa, o que dificulta o escoamento da água pelo tronco, além de possuir maior IAF ($1,70 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$), resultando em maior interceptação de água.

Alguns estudos mencionam que o índice de área foliar não tem correlações significativas com a precipitação interna. Porém, a altura do dossel e a densidade do caule correlacionam-se bem com a Pi (Limin et al., 2015). Outros trabalhos relatam que o percentual de escoamento do tronco é baixo, não sendo um componente importante para o balanço de água de florestas e, por isso, este é negligenciado em estudos de redistribuição de água da chuva (Ávila et al., 2014; Sari et al., 2016).

Vernimmen et al. (2007) destacam que, em ambientes com elevada abundância de espécies vegetais, as diferenças no Et em espécies individuais ocorrem em função do tamanho da copa das árvores, tipo de casca, forma e ângulo do tronco, etc. No entanto, mesmo com toda esta heterogeneidade e diferenças significativas no Et entre as espécies, estes autores obtiveram percentagens de Et variando apenas de 0,8 a 2%, estando de acordo com o presente trabalho, em que o Et variou de 0,5 a 1,2% (Tabela 3). Germer et al. (2010) citam que o DAP e a quantidade de chuva são as variáveis mais influentes na geração de Et.

4.2. Partição da chuva em relação as suas características

As características da chuva foram variáveis relevantes para explicar a redistribuição da água em áreas com vegetação de caatinga. As relações positivas entre os componentes P_i e E_t com a precipitação total e intensidade da chuva, em conjunto e individualmente, sinalizam que precipitações com maiores volumes e intensidades são mais efetivas na geração de fluxos destes componentes (Fig. 6 e Tabela 4), contribuindo para redução na interceptação de água da chuva pelo dossel.

Para pequenas precipitações, as copas das árvores podem não tornar-se totalmente saturadas, resultando em menores valores de P_i e E_t . Assim, à medida que o volume e intensidade das chuvas aumentam, maiores fluxos de água são conduzidos na direção do solo, pois o dossel das árvores atingiu o seu armazenamento máximo (van Dijk and Bruijnzeel, 2001; Zhang et al., 2015). A morfologia das árvores pode ser mais relevante na geração de fluxo de tronco que a intensidade da chuva, sobretudo nas relações com DAP (Bäse et al., 2012; Germer et al., 2010).

Germer et al. (2010) citam que o tempo entre a intensidade máxima da chuva e o fluxo máximo de E_t são dependentes do volume precipitado, devido à exigência de água para atingir o armazenamento do dossel. No presente trabalho, a interceptação pelo dossel foi o componente que apresentou relações mais fracas entre os da partição da chuva, podendo ser um indicativo da existência de outros parâmetros que influenciam a interceptação de água. Este resultado pode ser evidenciado pelas relações baixas e até mesmo nulas, não conduzindo a modelos adequados (Germer et al., 2010; Limin et al., 2015; Zhang et al., 2018).

Em ordem crescente, a precipitação total, intensidade e duração da chuva explicam o comportamento dos componentes da partição da chuva para a vegetação de caatinga (Fig. 6 e Tabela 4). A precipitação total (PT) foi um preditor bastante

significativo no presente estudo, fato confirmado em outras pesquisas, em que a PT é a principal responsável pela geração de fluxos Pi e Et (Limin et al., 2015; Sadeghi et al., 2016; Zhang et al., 2015, 2018). No entanto, chuvas de maior duração contribuem para que o dossel vegetativo possa interceptar mais água da chuva (Zhang et al., 2015).

A variação temporal durante o evento chuvoso altera a interceptação do dossel (Medeiros et al., 2009). O processo de interceptação é igual à soma da mudança de armazenamento pelo dossel e perda por evaporação da superfície molhada (van Dijk and Bruijnzeel, 2001). Logo, devido o armazenamento do dossel das espécies ser relativamente baixo (0,88 a 1,16 mm), chuvas longas resultam em armazenamentos contínuos de água e, conseqüentemente, aumentos dos valores de I.

A faixa de valores de armazenamento do dossel para as cinco espécies (0,88 a 1,16 mm) e a média da caatinga (0,98 mm) próxima do valor de 0,5 mm, são similares aos obtidos por Medeiros et al. (2009) em uma área de caatinga preservada. Zhang et al. (2015) encontraram valores de 1,3 e 2,2 mm para dois arbustos xerófitos em uma região desértica. Estes autores ainda destacam que os valores antecedentes de chuva são necessários para atingir a capacidade de armazenamento de água pelo dossel das espécies. Além do mais, as diferenças dos valores limiars de Pi e Et, para geração de fluxos entre as espécies vegetais da caatinga, individualmente e em conjunto, indicam que características específicas das espécies influenciam no processo de redistribuição de água da chuva (Germer et al., 2010; Zhang et al., 2015).

Como as cinco espécies estudadas são abundantes em áreas de caatinga, o comportamento da partição da chuva ao interagir com seus dosséis tem grande efeito sobre o balanço de água local, merecendo estudos continuados. De modo geral, as

relações entre as características e partição da chuva indicam que, por meio de modelos matemáticos originados das regressões lineares, é possível estimar os seus valores com certo grau de confiabilidade.

4.3. Escoamento superficial

A avaliação comparativa do processo de escoamento superficial, entre o sítio com vegetação de Domínio de Caatinga e área desmatada, indicou que a razão ES/PT obteve maiores proporções para a ADA (58%) e menores na CAA (48%).

Os resultados do presente trabalho estão de acordo com Costa et al. (2013), que constataram uma relação ES/PT igual a 54,4% em uma pastagem degradada. Por outro lado, Souza et al. (2015) obtiveram valores de 24,3% para áreas de pastagens no semiárido pernambucano. Tais informações mostram que o manejo e o uso da terra têm forte influência na redistribuição da água da chuva, principalmente em ambientes de pastagens, com alta taxa de lotação animal.

Outros autores encontraram valores de ES inferiores aos reportados no presente estudo. Analisando a vegetação arbustiva no semiárido da Província de Almeria, sudeste da Espanha, Archer et al. (2002) constataram o valor de 10,1% para a relação ES/PT. Albuquerque et al. (2001) verificaram que as perdas de água em parcelas desmatadas variaram de 19 a 35%, enquanto, em parcelas com vegetação de caatinga, estes percentuais oscilaram entre 1,5 e 4,6%. Estes autores destacam que as perdas de água em áreas desmatadas chegam a ser dez vezes superiores àquelas das áreas com vegetação nativa de caatinga.

Nota-se que, presumivelmente, os incrementos de ES são observados durante o período chuvoso (Fig. 7), sendo que os valores totais de chuva acumulada para a CAA foram superiores ao precipitado na ADA. Além disso, maiores acúmulos de ES foram obtidos neste sítio. Rodrigues et al. (2013) verificaram maiores lâminas

escoadas nos primeiros eventos de chuva para a parcela com vegetação de caatinga raleada, em comparação com outra não perturbada, com geração de maiores vazões como consequência do raleamento parcial. As características da superfície do solo (cobertura e espécie vegetal) estabelecem o primeiro controle sobre o escoamento, independentemente da quantidade e intensidade da chuva (Cantón et al., 2001; Souza et al., 2015).

Embora a diferença do ES entre os sítios localizados em região semiárida seja de apenas 10%, o controle exercido pela cobertura vegetal na redução do ES é extremamente relevante, considerando-se a irregularidade do regime pluviométrico local (Albuquerque et al., 2001; Costa et al., 2013). Além do mais, a serapilheira acumulada sobre o solo, em áreas de floresta natural, promove diferenças na infiltração, evaporação do solo e, conseqüentemente, no escoamento superficial. (Limin et al., 2015).

Os resultados do presente trabalho ressaltam o papel de destaque que a cobertura vegetal desempenha no controle das perdas de água por escoamento superficial em diferentes paisagens. Srinivasan et al. (2003) verificaram que, em áreas desmatadas, a maioria dos eventos de chuva gerava escoamento, ao passo que nas áreas com vegetação de caatinga, isto apenas ocorreu para chuvas maiores que 30 mm. Almeida et al. (2012) demonstraram que chuvas acima de 8,6 mm geram escoamento em áreas de caatinga em pousio, enquanto para áreas degradadas este valor é de 7,2 mm.

A presença de cobertura vegetal atua, principalmente, alterando as características das gotas d'água ao chegarem à superfície do solo. O efeito direto da interceptação do dossel das florestas, além de diminuir a quantidade de água incidente no solo, modifica a distribuição dos tamanhos das gotas d'água, reduzindo

a energia cinética da chuva (Albuquerque et al., 2001; Brandt, 1986; Costa et al., 2013).

Bäse et al. (2012) citam que a evapotranspiração da bacia amazônica é responsável por 25 a 50% da precipitação daquela região, onde cerca de 1/3 desse valor é oriundo da evaporação da água interceptada pelo dossel. Em regiões de clima semiárido, o percentual de água interceptada que se evapora diretamente dos dosséis pode ser significativo (Sari et al., 2016). No entanto, para ambientes degradados, os principais efeitos do desmatamento não se dão pelo decréscimo da água evaporada via interceptação, mas sim pelo efeito exercido na geração do maior escoamento superficial (Giglio and Kobiyama, 2013), conforme determinado neste estudo.

5. Conclusões

A expansão de campos desmatados pela remoção da caatinga altera o padrão das respostas hidrológicas locais, e seus efeitos são sentidos na supressão da interceptação da água da chuva pelo dossel. Essa diminuição pode representar até 18% da precipitação total, resultando em aumentos de 10% no escoamento superficial. Esses valores para ambientes semiáridos são significativos e não podem ser negligenciados no gerenciamento de recursos hídricos locais.

Agradecimentos

Esta pesquisa foi financiada pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Pernambuco (FACEPE - APQ-1159-1.07/14) e pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq - no. 475279/2010-7 e no. 476372/2012-7). Os autores agradecem ao GAS - Grupo de Agrometeorologia no Semiárido pelo auxílio em campo e à Coordenação de aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) por financiar a bolsa de doutorado do primeiro autor.

Referências

- Albuquerque, A.W., Neto, F.L., Srinivasan, V.S., 2001. Efeito do desmatamento da Caatinga sobre as perdas de solo e água de um luvissole em Sumé (PB). *Rev. Bras. Ciência do Solo* 25, 121–128.
- Almeida, C.L. de, Gerardo, J., Oliveira, B. de, Araújo, J.C. de, 2012. Impacto da recuperação de área degradada sobre as respostas hidrológicas e sedimentológicas em ambiente semiárido. *Water Resources Irrig. Manag.* 1, 39–50.
- Alvares, C.A., Stape, J.L., Sentelhas, P.C., Gonçalves, J.L.M., Sparovek, G., 2013. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorol. Zeitschrift* 22, 711–728.
- Archer, N., Tim, H., Quinton, J., 2002. The water balance of two semi-arid shrubs on abandoned land in South-Eastern Spain after cold season rainfall. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 6, 913–926.
- Ávila, L.F., Mello, C.R. de, Pinto, L.C., Silva, A.M. da, 2014. Partição da precipitação pluvial em uma microbacia hidrográfica ocupada por mata atlântica na serra da Mantiqueira, MG. *Ciência Florest.* 24, 583–595.
- Bäse, F., Elsenbeer, H., Neill, C., Krusche, A. V., 2012. Differences in throughfall and net precipitation between soybean and transitional tropical forest in the southern Amazon, Brazil. *Agric. Ecosyst. Environ.* 159, 19–28. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2012.06.013>
- Brandt, C.J., 1986. Transformation of the kinetic energy of rainfall with variable tree canopies. Universidade de Londres.
- Brasil, J.B., Palácio, H.A. de Q., Araújo Neto, J.R. de, Ribeiro Filho, J.C., Andrade, E.M. de, 2017. Características das chuvas e interceptação vegetal no bioma

caatinga. *Irriga* 22, 560–574.

- Cantón, Y., Domingo, F., Solé-Benet, A., Puigdefábregas, J., 2001. Hydrological and erosion response of a badlands system in semiarid SE Spain. *J. Hydrol.* 252, 65–84. [https://doi.org/10.1016/S0022-1694\(01\)00450-4](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(01)00450-4)
- Costa, C.F.G. da, Figueiredo, R. de O., Oliveira, F. de A., Santos, I.P. de O., 2013. Escoamento superficial em Latossolo Amarelo distrófico típico sob diferentes agroecossistemas no nordeste paraense. *Rev. Bras. Eng. Agrícola e Ambient.* 17, 162–169. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662013000200007>
- Dória, L.C., Podadera, D.S., Batalha, M.A., Lima, R.S., Marcati, C.R., 2016. Do woody plants of the Caatinga show a higher degree of xeromorphism than in the Cerrado? *Flora* 224, 244–251. <https://doi.org/10.1016/j.flora.2016.09.002>
- Germer, S., Werther, L., Elsenbeer, H., 2010. Have we underestimated stemflow? Lessons from an open tropical rainforest. *J. Hydrol.* 395, 169–179. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2010.10.022>
- Giglio, J.N., Kobiyama, M., 2013. Interceptação da Chuva: Uma Revisão com Ênfase no Monitoramento em Florestas Brasileiras. *Rev. Bras. Recur. Hídricos* 18, 297–317. <https://doi.org/10.21168/rbrh.v18n2.p297-317>
- He, Z. Bin, Yang, J.J., Du, J., Zhao, W.Z., Liu, H., Chang, X.X., 2014. Spatial variability of canopy interception in a spruce forest of the semiarid mountain regions of China. *Agric. For. Meteorol.* 188, 58–63. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2013.12.008>
- Limin, S.G., Oue, H., Sato, Y., Budiasa, I.W., setiawan, B.I., 2015. Partitioning Rainfall into Throughfall, Stemflow, and Interception Loss in Clove (*Syzygium Aromaticum*) Plantation in Upstream Saba River Basin, Bali. *Procedia Environ. Sci.* 28, 280–285. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2015.07.036>

- Medeiros, P.H.A., Araújo, J.C. de, Bronstert, A., 2009. Interception measurements and assessment of Gash model performance for a tropical semi-arid region. *Rev. Ciência Agronômica* 40, 165–174.
- Montenegro, S., Ragab, R., 2012. Impact of possible climate and land use changes in the semi arid regions: A case study from North Eastern Brazil. *J. Hydrol.* 434–435, 55–68. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2012.02.036>
- Moura, A.E.S.S. De, Correa, M.M., Silva, E.R. Da, Ferreira, R.L.C., Figueiredo, A.D.C., Possas, J.M.C., 2009. Interceptação das chuvas em um fragmento de floresta da Mata Atlântica na Bacia do Prata, Recife, PE. *Rev. Árvore* 33, 461–469. <https://doi.org/10.1590/S0100-67622009000300008>
- Rodrigues, J.O., Andrade, E.A., Mendonça, L.A., Araújo, J.C., Palácio, H.A. de Q., Araújo, E.M., 2013. Respostas hidrológicas em pequenas bacias na região semiárida em função do uso do solo. *Rev. Bras. Eng. Agrícola e Ambient.* 17, 312–318. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662013000300010>
- Sadeghi, S.M.M., Attarod, P., Van Stan, J.T., Pypker, T.G., 2016. The importance of considering rainfall partitioning in afforestation initiatives in semiarid climates: A comparison of common planted tree species in Tehran, Iran. *Sci. Total Environ.* 568, 845–855. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.06.048>
- Sajikumar, N., Remya, R.S., 2015. Impact of land cover and land use change on runoff characteristics. *J. Environ. Manage.* 161, 460–468. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2014.12.041>
- Sari, V., Paiva, E.M.C.D., Paiva, J.B.D., 2016. Interceptação da chuva em diferentes formações florestais na região sul do Brasil. *Rev. Bras. Recur. Hídricos* 21, 65–79. <https://doi.org/10.21168/rbrh.v21n1.p65-79>
- Siegert, C.M., Levia, D.F., Hudson, S.A., Downtin, A.L., Zhang, F., Mitchell, M.J.,

2016. Small-scale topographic variability influences tree species distribution and canopy throughfall partitioning in a temperate deciduous forest. *For. Ecol. Manage.* 359, 109–117. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2015.09.028>
- Silva, F.K.G. da, Lopes, S. de F., Lopez, L.C.S., Melo, J.I.M. de, Trovão, D.M. de B.M., 2014. Patterns of species richness and conservation in the Caatinga along elevational gradients in a semiarid ecosystem. *J. Arid Environ.* 110, 47–52. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2014.05.011>
- Silva, R.M. da, Santos, C.A.G., dos Santos, J.Y.G., 2016. Evaluation and modeling of runoff and sediment yield for different land covers under simulated rain in a semiarid region of Brazil. *Int. J. Sediment Res.* <https://doi.org/10.1016/j.ijsrc.2017.04.005>
- Souza, R.M.S., de Souza, E.S., Antonino, A.C.D., Lima, J.R. de S., 2015. Water balance in pasture area in semi-arid region of Pernambuco. *Rev. Bras. Eng. Agrícola e Ambient.* 19, 449–455. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v19n5p449-455>
- Srinivasan, V.S., Santos, C.A.G., Galvão, C.O., 2003. Erosão hídrica do solo no semi-árido brasileiro: a experiência na bacia experimental de Sumé. *Rev. Bras. Recur. Hídricos* 8, 57–73. <https://doi.org/10.21168/rbrh.v8n2.p57-73>
- van Dijk, A.I.J., Bruijnzeel, L., 2001. Modelling rainfall interception by vegetation of variable density using an adapted analytical model. Part 1. Model description. *J. Hydrol.* 247, 230–238. [https://doi.org/10.1016/S0022-1694\(01\)00392-4](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(01)00392-4)
- Vernimmen, R.R.E., Bruijnzeel, L.A., Romdoni, A., Proctor, J., 2007. Rainfall interception in three contrasting lowland rain forest types in Central Kalimantan, Indonesia. *J. Hydrol.* 340, 217–232. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2007.04.009>

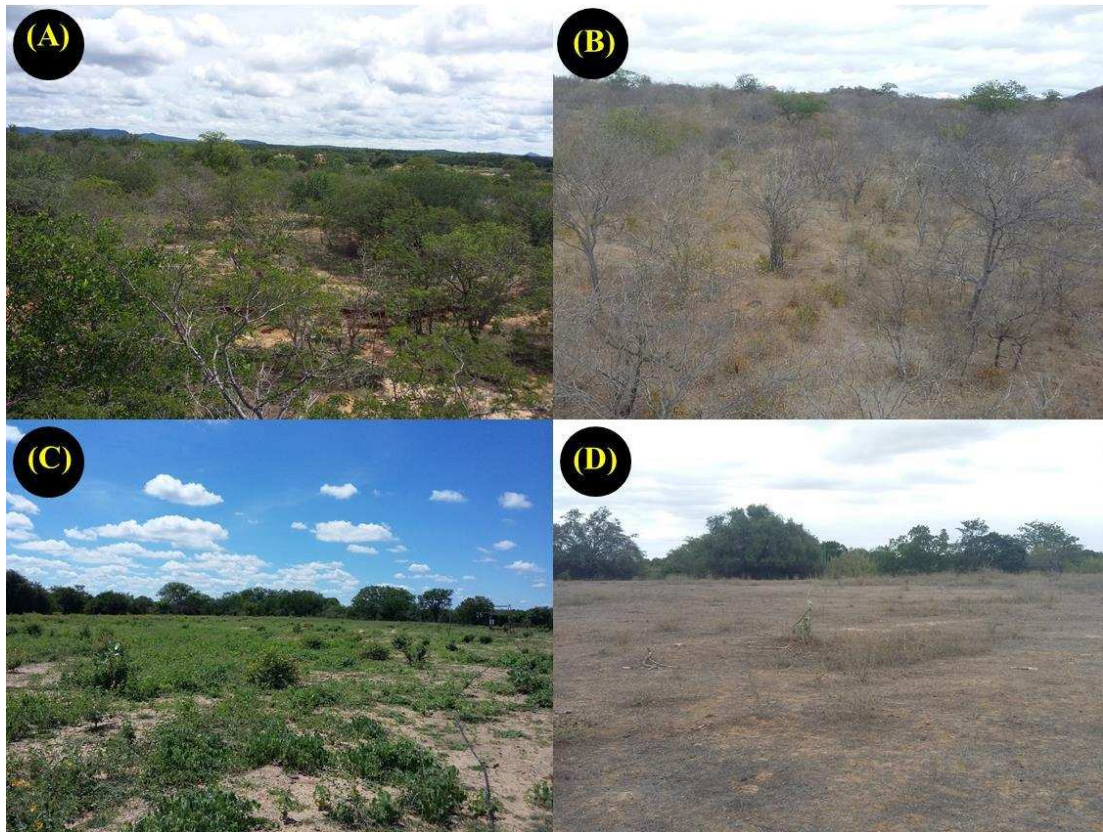
- Zhang, Y. feng, Wang, X. ping, Hu, R., Pan, Y. xia, Paradeloc, M., 2015. Rainfall partitioning into throughfall, stemflow and interception loss by two xerophytic shrubs within a rain-fed re-vegetated desert ecosystem, northwestern China. *J. Hydrol.* 527, 1084–1095. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.05.060>
- Zhang, Y.F., Wang, X.P., Hu, R., Pan, Y.X., 2018. Meteorological influences on process-based spatial-temporal pattern of throughfall of a xerophytic shrub in arid lands of northern China. *Sci. Total Environ.* 619–620, 1003–1013. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.11.207>
- Zhang, Y.F., Wang, X.P., Hu, R., Pan, Y.X., 2016. Throughfall and its spatial variability beneath xerophytic shrub canopies within water-limited arid desert ecosystems. *J. Hydrol.* 539, 406–416. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2016.05.051>
- Zheng, J., Fan, J., Zhang, F., Yan, S., Xiang, Y., 2018. Rainfall partitioning into throughfall, stemflow and interception loss by maize canopy on the semi-arid Loess Plateau of China. *Agric. Water Manag.* 195, 25–36. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2017.09.013>

Tabela 1

Normais climatológicas (1961-1990) dos elementos meteorológicos no município de Floresta, PE, no Sertão Central do Brasil.

Mês	Chuva (mm)	T _N	T _M	T _X	UR (%)	u (m s ⁻¹)	ET _o (mm)	R _G (MJ m ² dia ⁻¹)
Janeiro	66,1	21,7	27,4	34,7	59,9	2,0	5,9	23,4
Fevereiro	79,4	21,5	26,7	33,9	63,8	1,9	5,7	23,6
Março	104,3	21,4	26,5	33,6	68,5	1,9	5,5	23,2
Abril	66,7	21,0	26,0	32,8	70,4	1,9	5,0	21,5
Mai	37,2	20,2	25,0	31,8	70,4	2,0	4,4	18,7
Junho	19,9	18,9	23,8	30,7	70,1	2,4	4,2	16,9
Julho	16,6	18,1	23,3	30,4	69,0	2,5	4,3	17,9
Agosto	7,0	18,1	24,1	31,7	61,1	2,7	5,4	21,8
Setembro	7,6	19,3	25,9	33,7	54,1	2,9	6,3	23,8
Outubro	12,1	20,8	27,6	35,3	50,3	2,7	6,8	25,5
Novembro	22,6	21,8	28,3	36,0	50,8	2,4	6,8	25,7
Dezembro	49,8	22,0	28,0	35,2	54,2	2,1	6,3	24,1
Anual	489,3	20,4	26,1	33,3	61,9	2,3	5,5	22,2

T_N, T_M e T_X - temperatura mínima, média e máxima; UR - umidade relativa do ar; u - velocidade do vento; ET_o - evapotranspiração de referência; R_G - radiação solar global.



	Domínio de Caatinga	Área desmatada
Localização	08°18'31"S. 38°31'37"W	08°18'00"S. 38°30'36"W
Elevação (m)	378	380
Altura do dossel (m)	3 - 15	Até 1
Vegetação		
Período úmido	Espécies nativas arbóreo-arbustivo e, extrato herbáceo	Dominada por espécies herbáceas
Período seco	Espécies arbóreo-arbustivo sem folhas e solo exposto	Solo exposto
Manejo	Pastoreio de animais	Pastoreio de animais

Fig. 1. Descrição e vista dos sítios experimentais: Domínio de Caatinga (A e B), e área desmatada adjacente (C e D); durante o período chuvoso (esquerda) e seco (direita), no município de Floresta, PE, no Sertão Central do Brasil.

Tabela 2

Características das espécies vegetais selecionadas para o experimento de partição da água da chuva, no sítio do Domínio de Caatinga, no município de Floresta, PE, no Sertão Central do Brasil.

Nome científico	Nome comum	Tronco		Dossel		
		DAP (cm)	Nº fustes	Altura (m)	Área (m ²)	Biomassa (kg planta ⁻¹)
<i>S. tuberosa</i>	Umbuzeiro	21.0	4.7	4.9	99.9	211.9
<i>C. leptophloeos</i>	Imburana	40.3	1.0	5.5	64.7	847.3
<i>A. pyrifolium</i>	Pereiro	7.4	2.4	4.1	12.5	19.0
<i>C. quercifolius</i>	Faveleira	13.1	2.3	6.5	33.7	68.9
<i>C. pyramidale</i>	Catingueira	8.1	3.1	4.9	19.4	25.6

DAP: Diâmetro a altura do peito, medido a 1,30 m

Biomassa: Estimada para plantas da Caatinga (Sampaio and Silva, 2005)

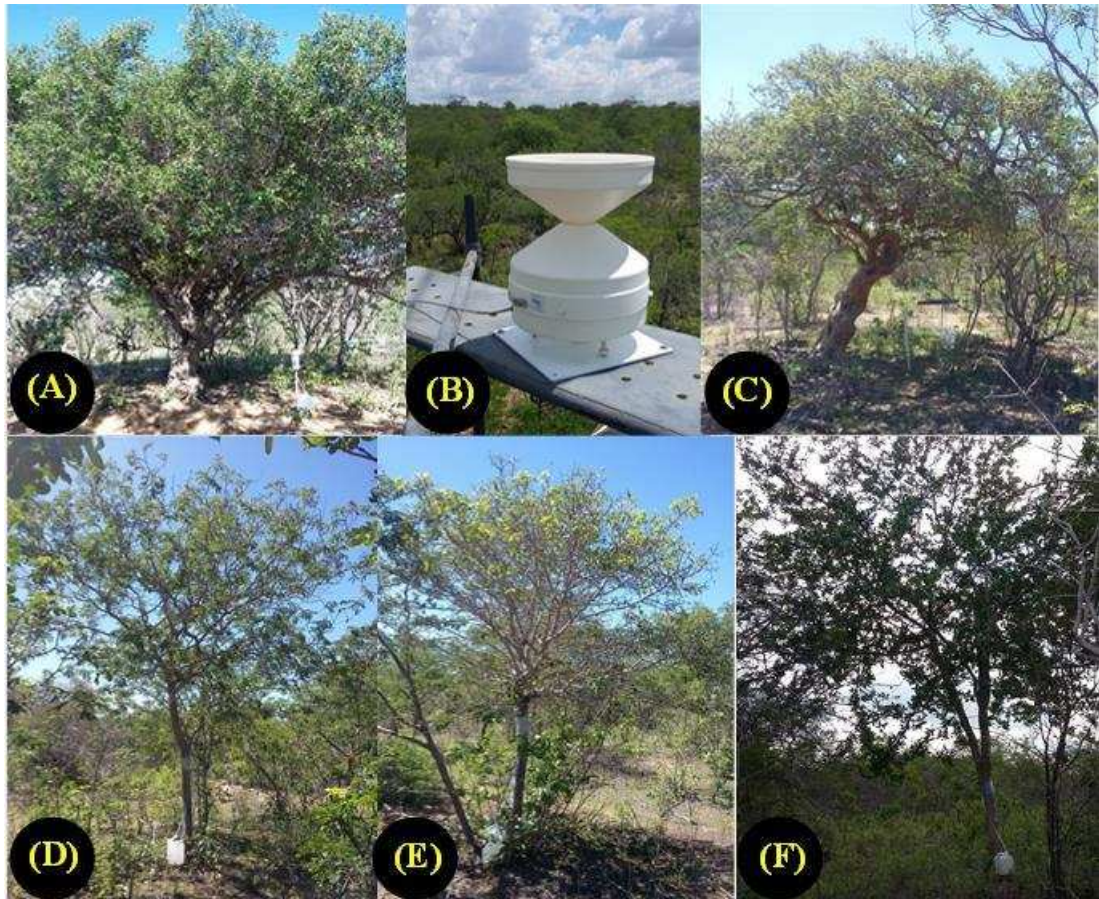


Fig. 2. Medição da precipitação incidente, precipitação interna e escoamento do tronco em espécies vegetais do Domínio de Caatinga: (A) *Spondias tuberosa*; (B) pluviômetro automático; (C) *Commiphora leptophloeos*; (D) *Cenostigma pyramidale*; (E) *Aspidosperma pyrifolium*; (F) *Cnidoscolus quercifolius*.

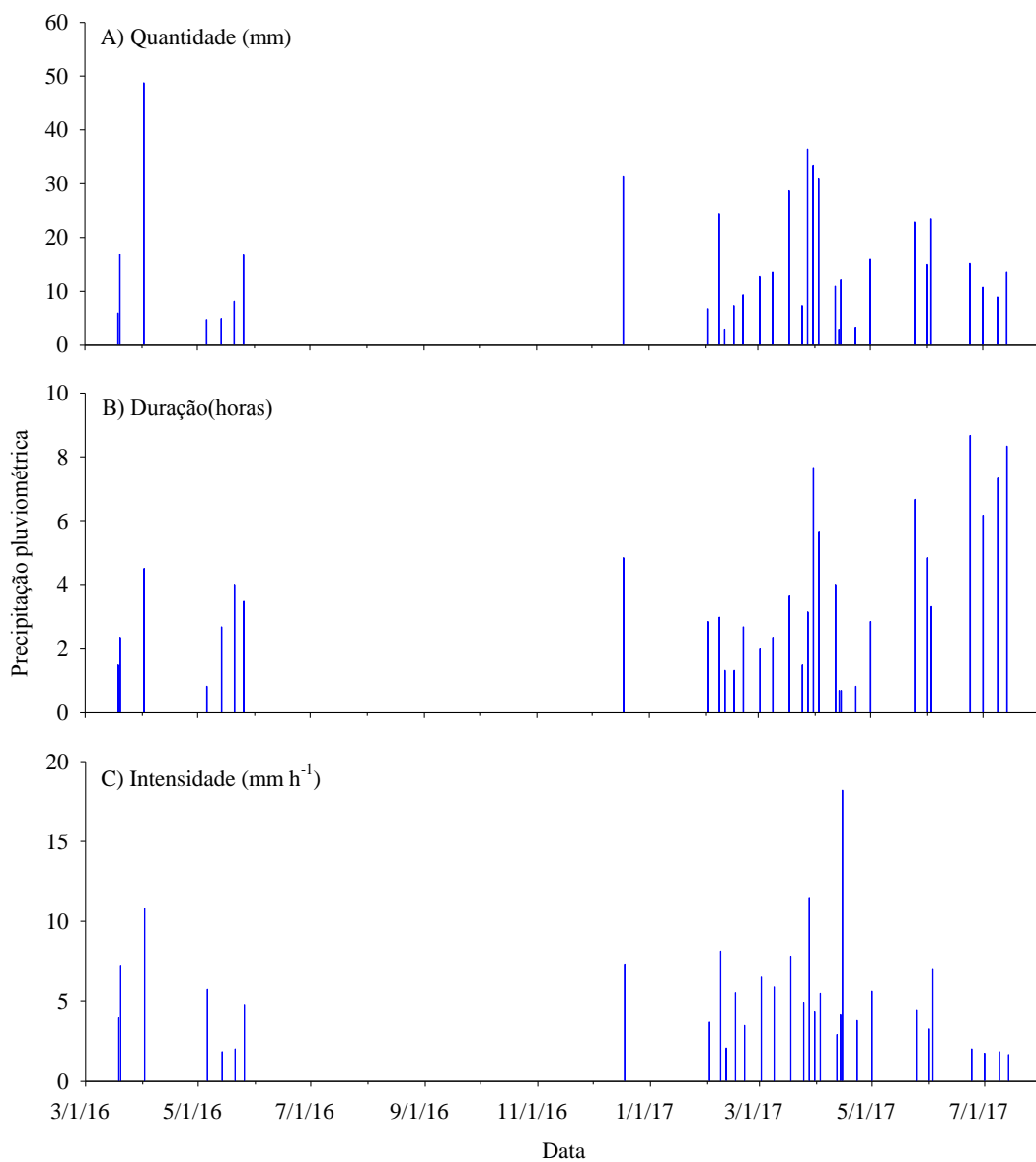


Fig. 3. Distribuição diária de precipitação pluviométrica (mm) durante o período experimental de 2016-2017, no sítio do Domínio de Caatinga, no município de Floresta, PE, no Sertão Central do Brasil.

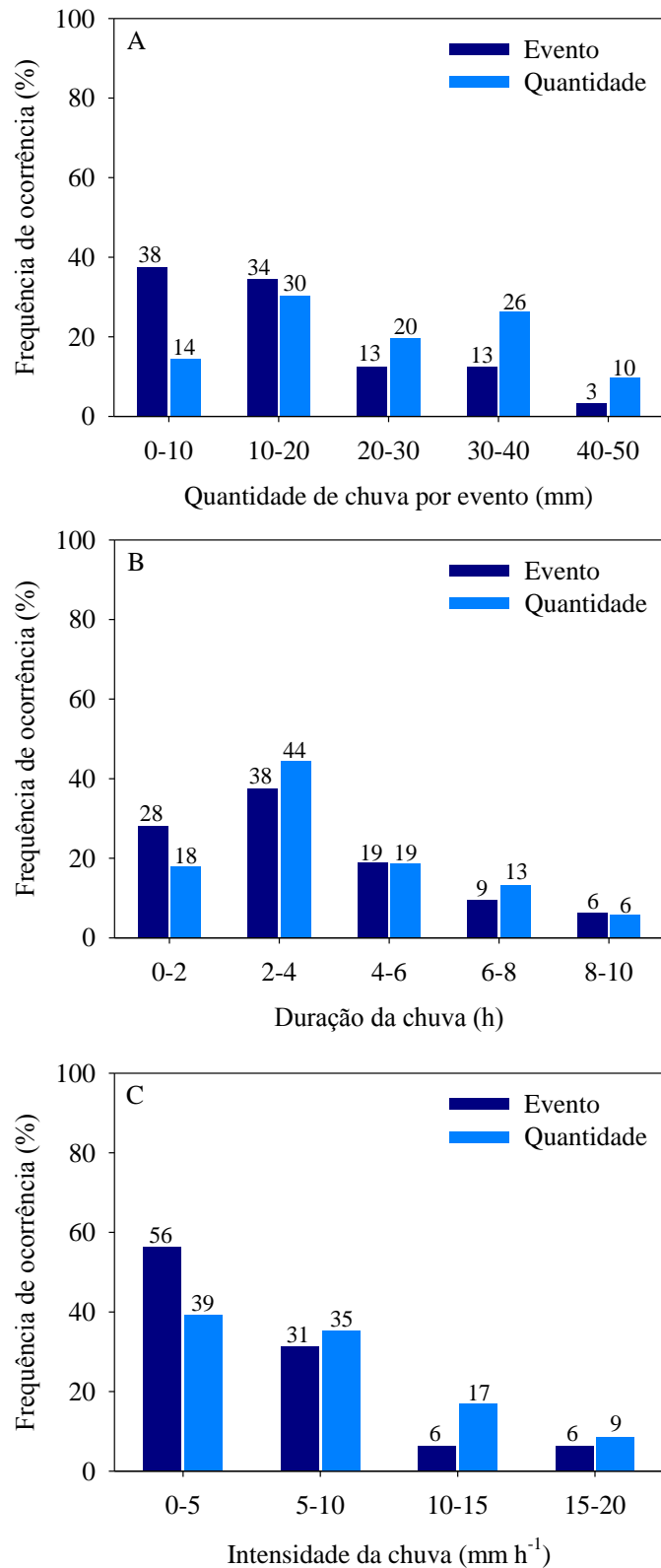


Fig. 4. Distribuição de frequência de evento e quantidade de chuva em diferentes intervalos de tamanho do evento (A), duração (B) e intensidade da chuva (C) durante o período experimental de 2016-2017, no sítio do Domínio de Caatinga, no município de Floresta, PE, Sertão Central do Brasil.

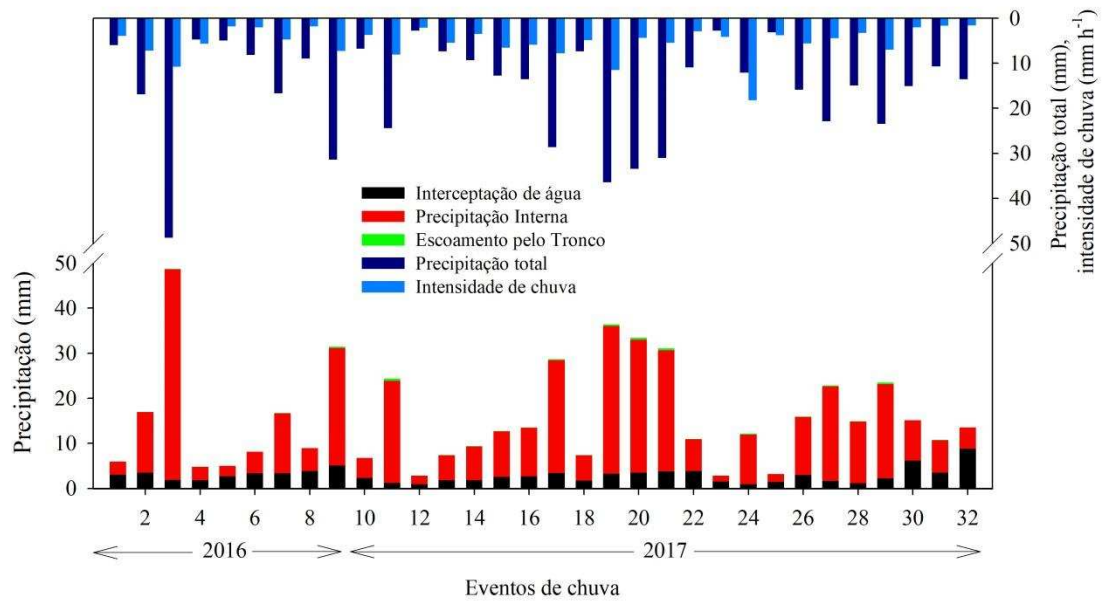


Fig. 5. Eventos individuais de precipitação expressa como: intensidade, precipitação total, perda por interceptação, fluxo de tronco e precipitação interna associada aos períodos de observação para o sítio do Domínio de Caatinga, no município de Floresta, PE, no Sertão Central do Brasil..

Tabela 3

Valores médios (mm) e percentuais (% da precipitação total), para a precipitação interna (Pi), escoamento do tronco (Et) e interceptação pelo dossel (I) da água da chuva, para cinco espécies vegetais do Domínio de Caatinga, no município de Floresta, PE, no Sertão Central do Brasil.

Espécie	Pi (mm)	Et (mm)	I (mm)	Pi (%)	Et (%)	I (%)
<i>S. tuberosa</i>	11,00b	0,13a	4,70a	69,5	0,8	29,7
<i>C. leptophloeos</i>	13,88a	0,13a	1,87b	87,6	0,8	11,6
<i>A. pyriformium</i>	12,89a	0,19a	2,79b	81,4	1,2	17,4
<i>C. quercifolius</i>	13,55a	0,10ab	2,21b	85,6	0,6	13,8
<i>C. pyramidale</i>	12,93a	0,08b	2,82b	81,7	0,5	17,8
Caatinga	12,85	0,13	3,63	81,2	0,8	18,0

Médias na vertical seguidas pela mesma letra minúscula não se diferem entre si ao nível de significância ($P < 0,05$) pelo teste em pares de Friedman, ou seja, não há diferença dos valores de partição da chuva entre as espécies.

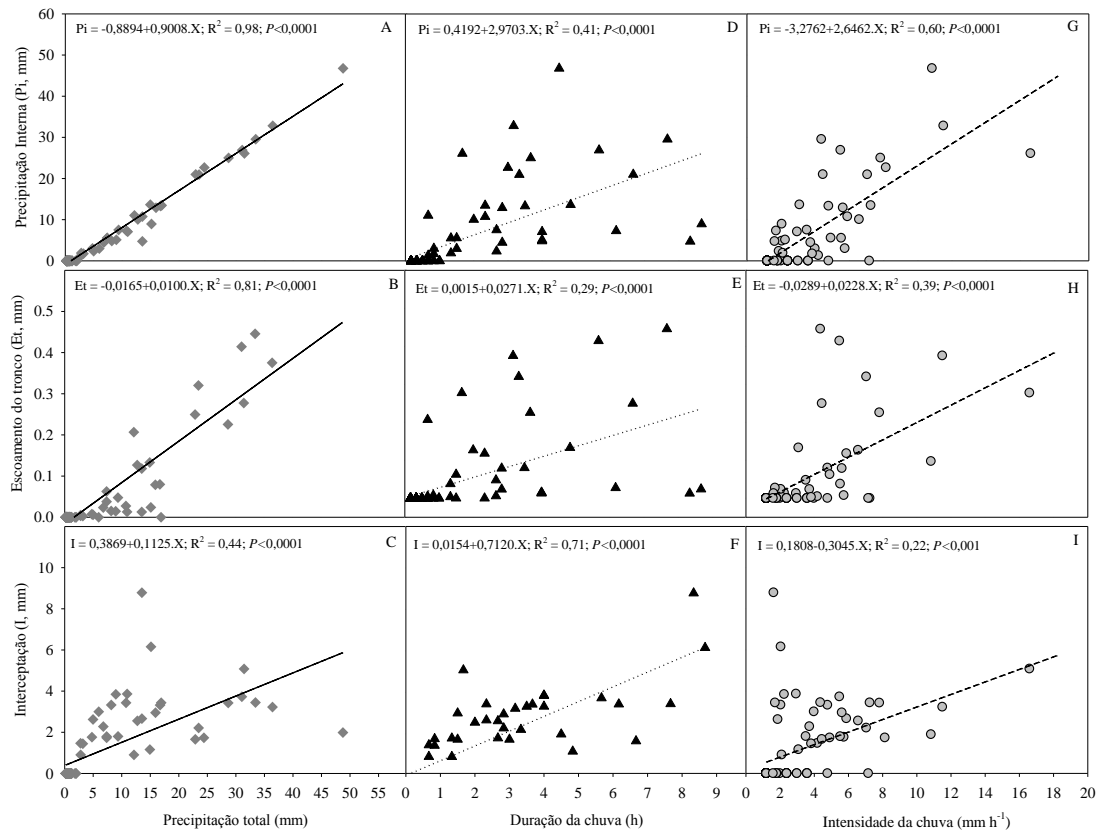


Fig. 6. Partição da chuva em precipitação interna (Pi), escoamento do tronco (Et) e intercepção pelo dossel (I) em função da precipitação total (A, B, C); duração da chuva (D, E, F) e intensidade de chuva (G, H, I), para espécies vegetais do Domínio de Caatinga, no município de Floresta, PE, no Sertão Central do Brasil.

Tabela 4

Modelos matemáticos obtidos pelas regressões lineares entre os componentes do particionamento da chuva (precipitação interna, escoamento do tronco, e interceptação) e das características da chuva (quantidade, duração e intensidade), em cinco espécies vegetais do Domínio de Caatinga, no município de Floresta, PE, no Sertão Central do Brasil.

	Espécies	Equações com PT	R ²	Equações com DC	R ²	Equações com IC	R ²
Pi	<i>S. tuberosa</i>	-0,927+0,7959.PT	0,96**	0,437+2,4912.DC	0,36**	-2,460+2,0297.IC	0,60**
	<i>C. leptophloeos</i>	-0,842+0,9555.PT	0,98**	0,174+3,3870.DC	0,48**	-2,212+2,2973.IC	0,54**
	<i>A. pyrifolium</i>	-0,925+0,9088.PT	0,97**	0,497+2,9313.DC	0,39**	-2,733+2,344.IC	0,63**
	<i>C. quercifolius</i>	-0,919+0,9469.PT	0,96**	0,711+2,9601.DC	0,36**	-2,932+2,4739.IC	0,63**
	<i>C. pyramidale</i>	-0,830+0,8965.PT	0,98**	0,274+3,0818.DC	0,45**	-2,33+2,2222.IC	0,58**
Et	<i>S. tuberosa</i>	-0,015+0,008.PT	0,96**	0,001+0,029.DC	0,50**	-0,017+0,0195.IC	0,55**
	<i>C. leptophloeos</i>	-0,015+0,008.PT	0,96**	0,001+0,029.DC	0,50**	-0,017+0,0195.IC	0,55**
	<i>A. pyrifolium</i>	-0,016+0,013.PT	0,57**	0,003+0,044.DC	0,23**	-0,044+0,0340.IC	0,36**
	<i>C. quercifolius</i>	-0,008+0,007.PT	0,83**	0,0003+0,022.DC	0,33**	-0,016+0,0167.IC	0,43**
	<i>C. pyramidale</i>	-0,009+0,005.PT	0,73**	0,0004+0,014.DC	0,24**	-0,014+0,0115.IC	0,38**
I	<i>S. tuberosa</i>	0,424+0,2164.PT	0,61**	-0,003+1,1873.DC	0,73**	0,189-0,504.IC	0,31**
	<i>C. leptophloeos</i>	0,333+0,061.PT	0,15*	0,256+0,3095.DC	0,15*	0,065-0,2462.IC	0,24**
	<i>A. pyrifolium</i>	0,430+0,1016.PT	0,29**	-0,059+0,7417.DC	0,64**	0,478-0,1843.IC	0,08*
	<i>C. quercifolius</i>	0,408+0,0691.PT	0,11*	-0,274+0,7308.DC	0,53**	-	0,00
	<i>C. pyramidale</i>	0,326+0,1200.PT	0,44**	0,158+0,6138.DC	0,46**	0,053-0,3218.IC	0,30**

Pi, precipitação interna (mm); Et, escoamento do tronco (mm); I, interceptação do dossel (mm); PT, precipitação total (mm); DC, duração da chuva (h); IC, intensidade da chuva (mm h⁻¹).

** , *Significativa a 0,0001 e 0,005, respectivamente, pelo teste F.

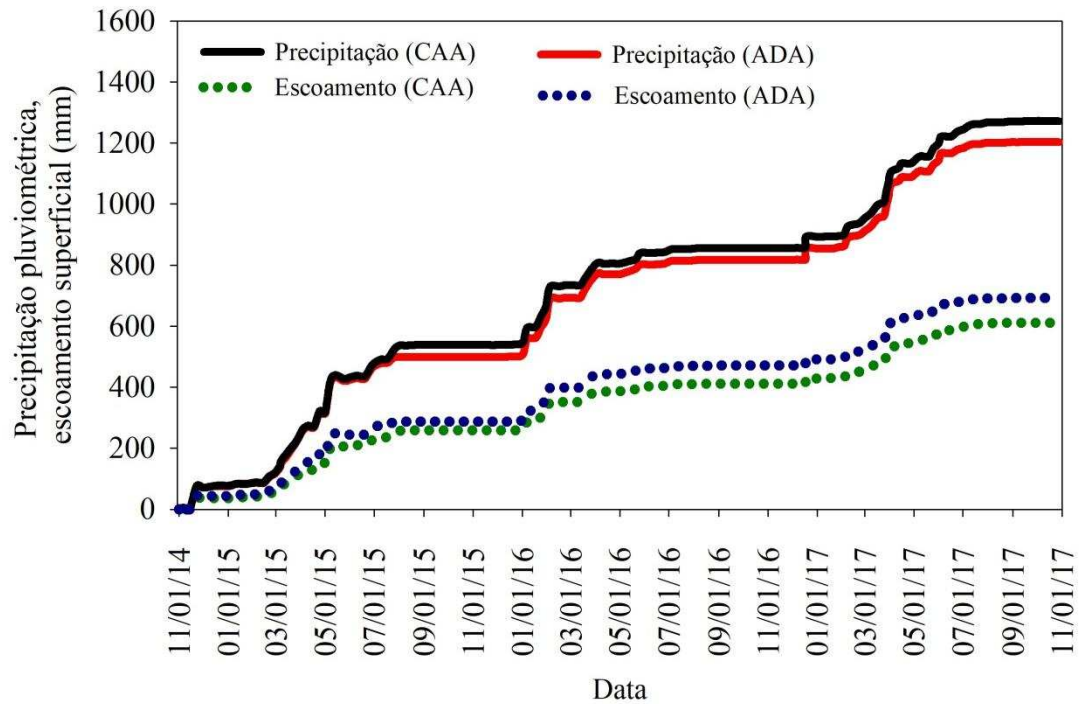


Fig. 7. Valores acumulados de precipitação pluviométrica e escoamento superficial nos sítios do Domínio de Caatinga (CAA) e área desmatada adjacente (ADA), para o período de novembro 2014 a novembro 2017, no município de Floresta, PE, no Sertão Central do Brasil.

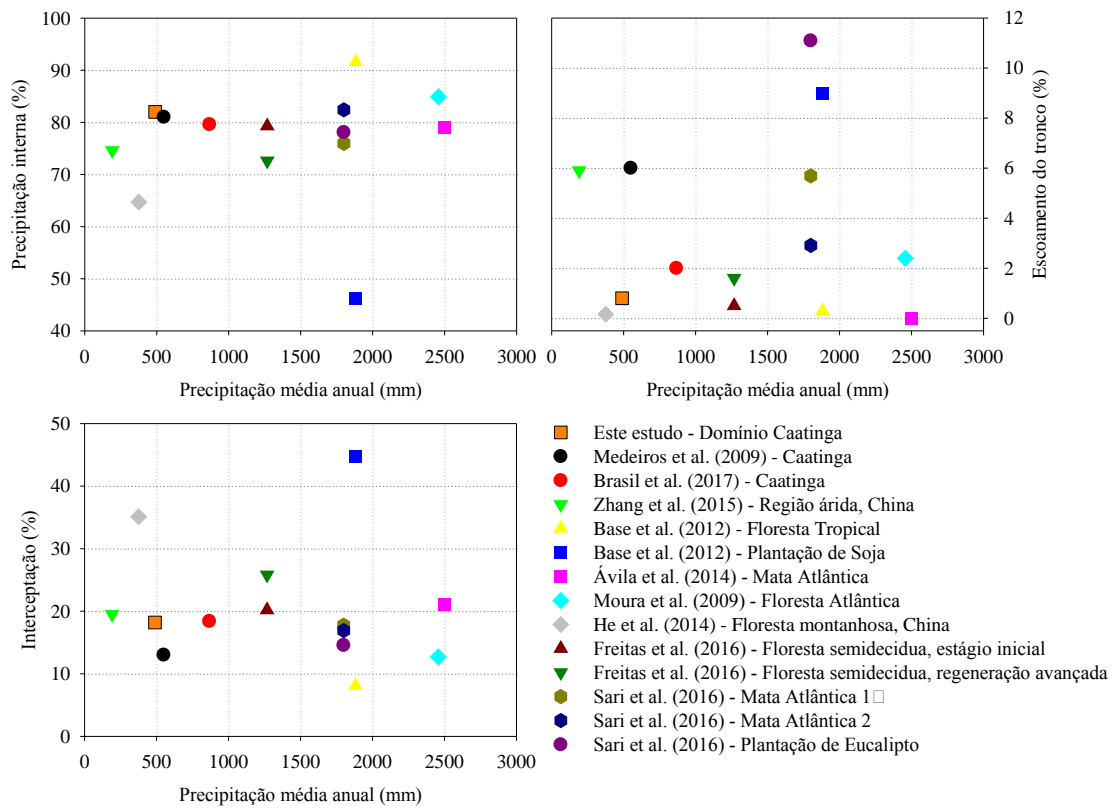


Fig. 8. Valores percentuais dos componentes da partição da chuva *versus* precipitação média anual (normal climatológica).

V ARTIGO

PADRÕES SAZONAIS DE DEPOSIÇÃO E CICLAGEM DE NUTRIENTES DE SERAPILHEIRA EM FLORESTA TROPICAL SECA

Resumo: A Caatinga é um domínio brasileiro, coberto por vegetação que possui grande biodiversidade de espécies. A deposição e decomposição de serapilheira em ecossistemas florestais e, ou, áreas degradadas são essenciais para a ciclagem de nutrientes na interface planta-solo. Nesse contexto, objetivou-se verificar a dinâmica sazonal do aporte de serapilheira da vegetação de caatinga e identificar quais mecanismos desencadeiam o seu padrão de deposição. O sítio experimental é um fragmento de vegetação de caatinga, localizado no município de Floresta, Semiárido do Brasil. Durante março/2016 a outubro/2017, foi monitorada a deposição de serapilheira de seis espécies vegetais: *Spondias tuberosa*; *Commiphora leptophloeos*; *Cnidoscolus quercifolius*; *Aspidosperma pyriformium*; *Cenostigma pyramidale*; e *Croton blanchetianus*, com separação das frações folhas, galhos, estruturas reprodutivas e miscelânea. Determinou-se a deposição mensal de serapilheira (total, por fração e por espécies), a taxa de decomposição, o tempo médio de renovação da serapilheira (50 e 95%), e a exportação de nutrientes via material decíduo. Simultaneamente, foram obtidos dados dos elementos meteorológicos e umidade do solo. Foi elaborada a matriz de correlação de Pearson, e realizadas análises de multicolinearidade, canônica e de trilha nos dados de serapilheira e condições ambientais, para avaliar suas correlações. A Caatinga depositou em média 1.177 kg MS ha⁻¹ ano⁻¹ de serapilheira, sendo 56% de folhas; 24% de galhos; 15% de estruturas reprodutivas e, 5% de miscelânea. O aporte mensal variou significativamente ($P < 0,05$), apresentando padrões sazonais variados entre os tipos de espécies vegetais. A radiação solar global, precipitação pluviométrica, velocidade

do vento e temperatura média do ar são fatores limitantes na regulação da deposição de serapilheira e de suas frações. A taxa de decomposição da serapilheira foi de 0,33 Kg MS ha⁻¹ ano⁻¹, enquanto o tempo necessário para o desaparecimento de 50 e 95% da serapilheira foi, respectivamente, de 2,1 e 9,1 anos. O gradiente de concentração da exportação de nutrientes obedeceu a seguinte ordem decrescente: Ca > K > Mg > S > Na > F > Mn > Zn > Cu, com valor médio de 23,76 kg ha⁻¹ ano⁻¹. A deposição de serapilheira foi determinada pelas condições ambientais e mecanismo fisiológico das espécies, as quais são fundamentais na manutenção do Domínio de Caatinga e recuperação de áreas degradadas.

Palavras-chave: Região semiárida, Caatinga, variáveis ambientais, análise multivariada, processo de decomposição.

SEASONAL PATTERNS OF DEPOSITION AND CYCLING OF LITTERFALL NUTRIENTS IN DRY TROPICAL FOREST

Abstract: Caatinga is a Brazilian domain, covered by vegetation that has great biodiversity of species. The deposition and decomposition of litterfall in forest ecosystems and, or degraded areas are essential for the cycling of nutrients at the plant-soil interface. In this context, the objective was to verify the seasonal dynamics of the litterfall of the caatinga vegetation and to identify which mechanisms trigger its deposition pattern. The experimental site is a fragment of caatinga vegetation, located in the municipality of Floresta, Brazilian semi-arid. During March 2016 to October 2017, it was monitored the deposition of litterfall of six plant species: *Spondias tuberosa*; *Commiphora leptophloeos*; *Cnidoscolus quercifolius*; *Aspidosperma pyrifolium*; *Cenostigma pyramidale*; and *Croton blanchetianus*, with separation of the fractions leaves, twigs, reproductive structures and miscellaneous.

The monthly deposition of litterfall (total, by fraction and by species), decomposition rate, mean litterfall renewal time (50 and 95%), and export of nutrients via deciduous material was determined. Simultaneously, data were obtained from meteorological elements and soil moisture. The Pearson correlation matrix was elaborated, and multicollinearity, canonical and trail analyzes were performed on the litterfall data and environmental conditions to evaluate their correlations. The Caatinga deposited on average 1177 kg DM ha⁻¹ year⁻¹ of litterfall, being 56% of leaves; 24% of twigs; 15% of reproductive structures and 5% of miscellaneous. The monthly contribution varied significantly ($P < 0.05$), presenting seasonal patterns varied among plant species types. Global solar radiation, rainfall, wind speed and mean air temperature were limiting factors in the regulation of litterfall deposition and its fractions. The litterfall decomposition rate was 0.33 kg DM ha⁻¹ year⁻¹, while the time required for the disappearance of 50 and 95% of the litterfall was, respectively, 2.1 and 9.1 years. The concentration gradient of the nutrient export decreased according to the following order: Ca > K > Mg > S > Na > F > Mn > Zn > Cu, with a mean value of 23.8 kg ha⁻¹ year⁻¹. The litterfall deposition was determined by the environmental conditions and physiological mechanism of the species, which are fundamental in the maintenance of the Caatinga domain and recovery of degraded areas.

Keywords: Semi-arid region, Caatinga, environmental variables, multivariate analysis, decomposition process.

1. Introdução

A degradação de terras é um dos mais graves problemas ambientais regionais e globais, de modo que todos os ecossistemas florestais apresentam consideráveis alterações de suas áreas originais, decorrentes principalmente de ações antrópicas (Coelho et al., 2014; Correia et al., 2016; Rai et al., 2016). Estima-se que 80% do

território ocupado pela vegetação de caatinga tem sido modificado (Vieira et al., 2013), uma vez que a exploração intensiva do semiárido nordestino, com destaque para as atividades agrícolas e pecuárias, promove perda da biodiversidade, diminuição da fertilidade dos solos e aumento de processos erosivos (Coelho et al., 2014; Souza et al., 2015).

Em regiões áridas e semiáridas, a presença de vegetação melhora as condições micrometeorológicas, sendo um processo chave na estruturação de comunidades vegetais (Vieira et al., 2013). Assim, a deposição e decomposição da serapilheira em ecossistemas naturais constituem a principal fonte de matéria orgânica e de energia para os organismos heterotróficos, com forte impacto na ciclagem de carbono e nutrientes. Além disso, este processo contribui para a recuperação e conservação de áreas degradadas (Campos C et al., 2017; Correia et al., 2016; Freitas et al., 2015; Huang and Li, 2017; Rai et al., 2016).

As espécies vegetais podem depositar quantidades significativas de nutrientes, que entram naturalmente no sistema solo-planta, por meio do acúmulo de material senescente e pela sua posterior decomposição, promovendo a reativação da ciclagem mineral (Ludvichak et al., 2016; Rai et al., 2016; Sánchez-Andrés et al., 2010). Na Caatinga, os processos de deposição e decomposição de material decíduo merecem destaque, devido à ocorrência de solos com baixos níveis de nutrientes (Santana and Souto, 2011), reduzido conteúdo de estoque de carbono (Schulz et al., 2016), e estresse abiótico frequente (Vieira et al., 2013). Huang and Li (2017) esclarecem que, em ambientes com precipitação pluviométrica anual entre 152 e 726 mm, a fotodegradação da serapilheira prevalece. Fatores como a alta incidência de radiação, temperaturas elevadas, baixa cobertura vegetal e reduzida disponibilidade hídrica contribuem para inibição da atividade microbiana local.

A deposição da serapilheira oscila em resposta a estímulos bióticos e abióticos, a exemplo do estágio sucessional da vegetação, densidade de plantas, idade do povoamento vegetal, herbivoria, estoque de nutrientes, disponibilidade hídrica, condições meteorológicas locais, entre outros (Correia et al., 2016; Silva et al., 2009). Interações entre a deposição de serapilheira e parâmetros climáticos em ambiente de caatinga são minimamente estudadas, embora sejam de extrema relevância para o modelo exploratório atual deste domínio. O uso de ferramentas estatísticas, como análises multivariadas (matriz de Pearson, análise canônica, multicolinearidade, análise de trilha), possibilita a avaliação destas correlações (Barbosa et al., 2017; Cunha et al., 2011; Salla et al., 2015).

Portanto, o objetivo deste estudo foi compreender a dinâmica de acúmulo de serapilheira da vegetação de caatinga, identificar os mecanismos que desencadeiam o seu padrão de deposição e suas correlações, bem como quantificar a exportação de nutrientes via material decíduo, a fim de constatar o papel deste componente na recuperação de áreas degradadas e manutenção funcional dos solos do Domínio de Caatinga.

2. Material e Métodos

2.1. Descrição da área de estudo

O sítio de estudos está localizado em uma área rural do município de Floresta, estado de Pernambuco, Nordeste do Brasil (08°18'31"S, 38°31'37"W, 378m). O clima da região é Semiárido quente, do tipo BSw^h (Alvares et al., 2013). Nas Tabelas 1 e 2, é possível verificar as características climáticas locais e físico-químicas do solo, respectivamente.

O fragmento de vegetação de caatinga possui área superior a 200 ha, na qual não é feita extração de recursos florestais lenhosos nos últimos 30 anos (Fig. 1A e

1B). Possui densidade de suporte de 930 árvores ha⁻¹, diâmetro médio na altura do peito (DAP, medido a 1,3 m do solo) de 26 cm e 5 cm, diâmetro médio na base (DNB, medido a 0,3 m do solo) de 33 cm e 7 cm, e altura média de 8 e 3 m, para plantas de porte arbóreo e arbustivo, respectivamente. Esses dados foram obtidos a partir de inventário florestal e de equações de biomassa específicas para árvores e arbustos da Caatinga, conforme descrito por Albuquerque et al. (2015) e Sampaio and Silva (2005).

2.2. Deposição e decomposição da serapilheira

A serapilheira refere-se ao material de origem orgânica que se deposita e se acumula sobre o solo, sendo fonte primária de nutrientes para os ecossistemas (Correia et al., 2016; Rai et al., 2016). Para quantificação da deposição acumulada na Caatinga, foi utilizado o método das armadilhas, que tem por objetivo recolher os detritos vegetais. Para isso, foram utilizados 26 coletores de madeira, confeccionados com tela plástica, malhas de 1 mm, e dimensões 0,50 m x 0,50 m x 0,20 m (0,25 m²). A amostragem da camada de serapilheira foi estabelecida de forma sistemática no sítio experimental, com coletores instalados abaixo dos dosséis vegetativos, porém na altura de 1 m acima do solo (Fig. 1C e 1D).

Foi monitorada a deposição de serapilheira em espécies predominantes da área: Anacardiaceae: *Spondias tuberosa* Arruda. (Umbuzeiro); Burseraceae: *Commiphora leptophloeos* (Mart.) Gillett (Imburana de cambão); Euphorbiaceae: *Cnidoscolus quercifolius* Pohl. (Faveleira) e, *Croton blanchetianus* Baill. (Marmeleiro); Apocynaceae: *Aspidosperma pyrifolium* Mart. (Pereiro); e Fabaceae: *Cenostigma pyramidale* (Tul.) Gagnon & Lewis (Catingueira). Na Tabela 3, são apresentadas as características médias das plantas monitoradas.

As coletas de serapilheira foram realizadas mensalmente, com a separação do material em frações de folhas (abrangendo pecíolos e folíolos), galhos (de todas as dimensões e as cascas), estruturas reprodutivas (flores, inflorescências, frutos e sementes) e miscelânea (componentes de origem animal e partes não identificáveis) (Fig. 1E). O acompanhamento da deposição de serapilheira compreendeu o período de março de 2016 a outubro de 2017 (20 amostragens). O aporte de serapilheira por hectare (kg ha^{-1}) foi estimado com base na área e quantidade média mensal de matéria seca por amostragem ($\text{g } 0,25 \text{ m}^{-2}$). Todas as amostras foram pesadas em balança analítica de precisão e submetidas à secagem em estufa de circulação forçada, a 65°C até a obtenção de massa constante, com posterior pesagem.

Concomitantemente, foram efetuadas coletas dos detritos vegetais depositados sobre o solo, por meio de um quadro de madeira com dimensões 0,50 m x 0,50 m. Esta moldura foi lançada aleatoriamente em locais próximos aos coletores de serapilheira (Fig. 1F) e cinco amostras foram coletadas em cada campanha de medição. Com os dados de serapilheira, foi determinada a taxa e o tempo médio de decomposição, assim como o tempo médio de renovação da vegetação.

A taxa de decomposição foi obtida pelo cálculo da constante “K”, sendo que este parâmetro indica a velocidade do processo de decomposição. Para isso, foram utilizados os valores de produção anual de serapilheira, provenientes dos coletores suspensos, e a média anual da serapilheira sobre o solo. O tempo médio de renovação (retorno) da serapilheira no solo é o inverso de K; por fim, o tempo médio de desaparecimento deste material foi calculado para porcentagens de 50% ($t_{0,5}$) e 95% ($t_{0,05}$) (Arato et al., 2003; Olson, 1963; Vital et al., 2004).

2.3. Medições micrometeorológicas e da umidade do solo

A aquisição de dados meteorológicos foi feita por sensores eletrônicos dispostos em uma torre micrometeorológica instalada no sítio experimental, sendo: um saldo radiômetro (NR-Lite, Inc, Logan, Utah, USA) para medição do saldo de radiação (R_N); um piranômetro (SQ300, Apogee/Campbell Scientific, Inc, Logan, Utah, USA) para a radiação solar global (R_G); dois fluxímetros (HFT3-REBS, Campbell Scientific, Inc, Logan, Utah, USA), instalados na profundidade de 0,05 m, para medição do fluxo de calor no solo (G); um sensor quântico (LI-190SB, Li-cor, Nebraska, USA) para medição da radiação fotossinteticamente ativa acima do dossel ($RFA(ac)$) e, dois sensores quânticos lineares (Q321, Apogee/Campbell Scientific, Inc, Logan, Utah, USA), instalados em duas diferentes posições abaixo do dossel vegetativo, sobre a superfície do solo, para medição da radiação fotossinteticamente ativa abaixo do dossel ($RFA(ab)$). Foram utilizados também um pluviômetro automático (CS700-L, Hydrological Services, Liverpool, Austrália) para registro da precipitação pluviométrica (PT); um anemômetro (03002 R,M, Young Wind Sentry Set, Campbell Scientific Inc, Logan, Utah, USA) para medição da velocidade (u) e direção do vento (DV); além de psicrômetros aspirados com termopares do tipo T (cobre-constantan) para medições da temperatura do bulbo seco e bulbo úmido. Os psicrômetros foram utilizados para obter valores de temperatura do ar (T) e umidade relativa do ar (UR). A aquisição dos dados foi feita por um datalogger modelo CR10X (Campbell Scientific Inc, Logan, Utah, USA). A fração interceptada da RFA (f_{RFA}) foi obtida pela diferença entre os valores de RFA incidente acima e abaixo do dossel vegetativo. Para monitorar a umidade volumétrica do solo (θ_v), foi utilizado um sensor capacitivo (Diviner 2000®, Sentek Pty Ltda., Austrália), o qual foi inserido em tubos de acesso instalados até a profundidade de 0,60 m, com leituras

efetuadas a cada 0,10 m. No local, foi realizada a calibração do sensor, conforme sugerido pelo fabricante (Araújo Primo et al., 2015; Silva et al., 2007).

2.4. Efeito das condições ambientais sobre a deposição da serapilheira

Para investigar as condições ambientais dominantes na variação sazonal do acúmulo de serapilheira, foi aplicada a matriz de correlação linear de Pearson, o teste de multicolinearidade, assim como a análise canônica e de trilha (Barbosa et al., 2017; Cunha et al., 2011; Salla et al., 2015).

Inicialmente, foram estimados os coeficientes de correlação de Pearson entre os dados de deposição de serapilheira total e por frações, juntamente com as quinze variáveis que representam as condições ambientais: temperatura média do ar (T), temperatura média do solo (T_S), temperatura do dossel (T_C), umidade relativa do ar (UR), saldo de radiação (R_N), fluxo de calor no solo (G), radiação solar global (R_G), déficit de pressão de vapor d'água (DPV), radiação fotossinteticamente ativa acima e abaixo do dossel (RFA(ac); RFA(ab)), fração interceptada da radiação fotossinteticamente ativa (f_{RFA}), velocidade do vento (u), direção do vento (DV), precipitação pluviométrica (PT) e, umidade volumétrica do solo (θ_v). A significância das correlações foi avaliada pelo teste t de Student, a 1 e 5% de probabilidade, e interpretadas como: muito fraca (0 a 0,19), fraca (0,20 a 0,39), moderada (0,40 a 0,69), forte (0,70 a 0,89), e muito forte (0,90 a 1,00) (Barbosa et al., 2017).

Em seguida, foi aplicado o diagnóstico de multicolinearidade apenas naquelas variáveis respostas e explicativas que exibiram correlações significativas entre si. O número de condição (NC), que representa a razão entre o maior e menor valor da matriz de correlação, foi utilizado para avaliar a existência de multicolinearidade forte ($NC > 1000$), moderada ($100 < NC < 1.000$) e fraca ($NC < 100$) entre os grupos de variáveis (Salla et al., 2015).

As variáveis explicativas restantes (multicolinearidade fraca) foram então utilizadas na análise de correlação canônica, a fim de verificar se existem associações entre os grupos. Para tal, o teste de qui-quadrado foi utilizado para verificar a significância das correlações ($P < 0,01$). Por fim, foi aplicada a análise de trilha no desdobramento dos coeficientes de correlação de Pearson para avaliar o efeito direto e indireto da variável explicativa na variável resposta.

2.5. Composição química da serapilheira

A exportação de nutrientes foi avaliada com base nos teores de potássio, cálcio, magnésio, enxofre, cobre, ferro, manganês, zinco e sódio. Os materiais vegetais foram macerados e uma amostra composta (média de 100 gramas) foi obtida em cada data de coleta. As amostras foram enviadas para a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa Semiárido, onde foram realizadas as análises dos teores de nutrientes (Embrapa, 2009). As quantidades totais de nutrientes, presentes em cada fração, foram calculadas pela multiplicação das concentrações de nutrientes pelo teor de matéria seca.

2.6. Análise estatística

Os dados de serapilheira, que seguiram distribuição normal conforme o teste de Anderson-Darling, Lilliefors e Jarque-Bera, foram submetidos à análise de variância (teste F), e o teste LSD de Fisher (menor diferença significativa) foi aplicado para comparar os valores mensais ($P < 0,05$). A análise estatística foi realizada com a ferramenta XLSTAT (Statistical Software and Data Analysis in Excel), versão 2017 (Addinsoft, Paris, França, www.xlstat.com). As análises multivariadas foram realizadas pelo programa estatístico “Genética Quantitativa e

Estatística Experimental” – GENES (Cruz, 2006). Os gráficos foram confeccionados no programa SigmaPlot® v.10,0.

3. Resultados

3.1. Condições meteorológicas

A quantidade de precipitação ocorrida em 2016 e 2017 foi de 337,7 mm e 381,6 mm, nesta ordem, com valores inferiores à normal climatológica (489 mm). Embora os totais anuais tenham sido próximos, ocorreu nítida variação na distribuição da chuva entre os anos. Para 2016, maiores volumes estiveram contidos entre os meses de janeiro a maio, que correspondem ao período chuvoso para a região. Em seguida, para o ano hidrológico de 2017, eventos de chuva ocorreram de dezembro/2016 a agosto de 2017 (Tabela 4), sendo mais uniforme a distribuição das chuvas.

Maiores valores de incidência e do saldo de radiação foram observados durante as estações da primavera e do verão (setembro a fevereiro), em ambos os anos. Este resultado foi decorrente da menor declinação solar e maior intensidade dos raios solares sobre esta região. Para este mesmo período, a temperatura média do ar foi elevada, enquanto os valores de umidade relativa do ar foram menores apenas durante os meses em que a incidência de radiação foi elevada e poucos eventos de chuva foram observados (setembro a fevereiro) (Tabela 4). A velocidade do vento apresentou valor médio de $1,7 \text{ m s}^{-1}$, com maiores médias durante os meses de setembro a novembro, correspondentes aos meses de alta incidência solar.

Para a fração interceptada da radiação fotossinteticamente ativa, maiores valores foram obtidos nos meses de janeiro a junho, nitidamente ocasionados pela presença do dossel vegetativo mais robusto em respostas aos estímulos hídricos. Os menores valores, observados nos meses de julho a dezembro, devem-se à

característica caducifoliar das espécies da caatinga (Santana and Souto, 2011). Para a umidade volumétrica do solo, os valores oscilaram pouco, com média de $0,08 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ e maiores valores durante os meses chuvosos (Tabela 4).

3.2. Deposição de serapilheira

A variabilidade na produção total e por frações de serapilheira foi significativamente evidenciada entre os 20 meses avaliados durante os anos de 2016 e 2017, com caráter sazonal e ininterrupto, e quantidades mensais variando entre 12,53 e 200,38 kg MS ha⁻¹ (Fig. 2).

O valor anual do primeiro ano de medições foi de 902,12 kg MS ha⁻¹, enquanto no período de janeiro a outubro de 2017 foi de 1.060,04 kg MS ha⁻¹, com valor total para o período experimental (20 meses) de 1.962 kg MS ha⁻¹. Utilizando a média móvel para obter o valor correspondente à deposição em 12 meses, determinou-se que a produção anual é de 1.177 kg MS ha⁻¹, equivalente ao total de 1,18 ton. MS ha⁻¹ ano⁻¹.

Foi constatada maior produção de serapilheira no mês de maio/2016 (200,38 kg MS ha⁻¹), seguido do mês de julho/2017 e junho/2016 (169,32; 172,11 kg MS ha⁻¹), os quais foram estatisticamente superiores ($P < 0,0001$). Os meses de setembro a novembro de 2016 e outubro de 2017 apresentaram as menores deposições de serapilheira ($P < 0,0001$) (Fig. 2). Para o ano de 2016, as maiores deposições de serapilheira ocorreram entre os meses de março a junho, enquanto em 2017 valores elevados foram observados entre os meses de julho a setembro. De modo geral, as maiores taxas de acúmulo de serapilheira são observadas no período de março a julho, com valores mensais superiores a 100 kg MS ha⁻¹ (Fig. 2), indicando que a deposição máxima ocorre durante a estação de outono e início inverno. No entanto, é

perceptível que a deposição de serapilheira não apresenta padrões sazonais uniformes entre os diferentes anos.

Dentre as frações, a serapilheira foliar é notadamente aquela de maior contribuição, representando 56% do total depositado, e padrão de deposição bastante similar à curva de serapilheira total. Em seguida, a fração galhos compõe cerca de 24%; estruturas reprodutivas, 15% e; miscelânea apenas 5% (Fig. 2). A deposição de folhas foi superior às demais frações na maioria dos meses, com picos de produção nos meses de maio, junho e julho de 2016 e, de junho a setembro de 2017.

Maiores contribuições da fração galhos foram observadas nos meses de maio e junho de 2016, e nos meses de janeiro a julho de 2017, chegando a superar a deposição da fração folhas em alguns períodos (Fig. 2). Para as estruturas reprodutivas, os meses de março a maio, em ambos os anos, proporcionaram maiores acúmulos. A fração miscelânea foi reduzida durante todo o período experimental, com valores ligeiramente maiores nos meses de dezembro de 2016 e, fevereiro e junho de 2017. Todas as frações mostraram variabilidade sazonal nas suas deposições.

3.3. Efeito das condições ambientais sobre a sazonalidade da deposição de serapilheira

Com base na correlação de Pearson, foi possível observar que as condições ambientais não foram capazes de explicar as variações na deposição de serapilheira da fração miscelânea ($P > 0,05$). Para as demais variáveis respostas, foram observadas correlações significativas entre uma ou mais variáveis explicativas. Para estes grupos de variáveis, verificou-se a ocorrência de multicolinearidade severa, logo, foi retirada uma ou mais variáveis independentes que estivessem muito correlacionadas. Assim,

das quinze variáveis explicativas utilizadas inicialmente, apenas em onze foi obtido o NC inferior a 100, restando: T, UR, R_N , G, R_G , RFA(ab), f_{RFA} , u, DV, PT e θ_v .

Com base nos resultados da análise canônica entre os grupos de variáveis respostas (serapilheira total e por frações) e explicativas (condições ambientais), foi possível identificar que apenas dois eixos foram significativos, sugerindo que duas ou mais variáveis representativas do ambiente atuaram em associação na variação de alguma variável resposta (Tabela 5).

No primeiro eixo canônico, a deposição de serapilheira da fração estruturas reprodutivas aumenta quando o R_N é maior, há ocorrência de chuvas e aumento da umidade do solo, além de maiores valores de T e “u” reduzida. No segundo eixo canônico, verifica-se que a redução da umidade relativa do ar, das chuvas e da f_{RFA} e maiores valores RFA(ab) e de “u” explicam a diminuição da deposição de serapilheira da fração galhos (Tabela 5). Dessa forma, as variações na deposição de SRP-Galho e SRP-Estruturas reprodutivas ocorrem de forma associada entre as variáveis do grupo explicativas, ao passo que, para a SRP-Total e SRP-Folha, os efeitos são isolados, ou seja, apenas uma variável é capaz de explicar as variações na deposição dessas frações via efeitos diretos e indiretos.

Para a variável SRP-Total, o desdobramento do coeficiente de correlação de Pearson mostrou efeito direto e negativo da radiação solar global (-0.579), e efeitos indiretos por meio da UR, f_{RFA} , DV e, “u”, chegando a obter coeficientes superiores aos próprios efeitos diretos das variáveis (Tabela 6). Assim, as maiores deposições de serapilheira total ocorrem em períodos que a intensidade de radiação é menor.

A temperatura média do ar contribui de forma negativa, por meio de efeitos diretos e indiretos na deposição da SRP-Folha (-0.713). No entanto, quando o fluxo de calor no solo é negativo, a deposição de SRP-Folha aumenta (-0.523). Assim,

meses com menores valores de temperaturas médias do ar e menor fluxo de calor no solo intensificam o aporte desta fração. Para a deposição de estruturas reprodutivas, verificou-se que períodos com menores velocidades de vento e maior precipitação favorecem a queda deste material (Tabela 6). Além de que, houve efeitos indiretos da RFA(ab) e f_{RFA} com o vento (u).

Para a fração SRP-Galho, a precipitação foi considerada como o principal efeito direto e positivo (0,600) na deposição dessa fração, além de seus efeitos indiretos sobre outras variáveis (f_{RFA} , u, θ_v) (Tabela 6). No entanto, o alto efeito da variável residual (0,70) indica que esse conjunto de quatro variáveis não pode explicar totalmente as variações observadas na deposição da fração galhos. Provavelmente, essas alterações se devem a outras variáveis não exploradas neste estudo, a exemplo da fenologia das plantas, características morfológicas, entre outras.

Como não houve correlações significativas entre a SRP-Miscelânea e condições do ambiente (teste de Pearson), não foi realizada a análise de trilha para esta variável resposta.

3.4. Deposição de serapilheira por espécies do Domínio de Caatinga

Em relação à produção de matéria seca total por espécie, é possível verificar que as quantidades de serapilheira acumuladas por cada espécie nos anos de 2016 e 2017 foram semelhantes (Fig. 3).

A espécie *A. pyrifolium* (Pereiro) foi aquela que mais contribuiu para a deposição total de serapilheira, seguida da espécie *C. quercifolius* (Faveleira), *C. leptophloeos* (Imburana de Cambão), *C. blanchetianus* (Marmeleiro), *S. tuberosa* (Umbuzeiro) e *C. pyramidale* (Catingueira) (Fig. 3), com deposições iguais a 555,12;

399,07; 370,99; 226,98; 226,28 e, 188,10 kg MS ha⁻¹, respectivamente, durante o período de avaliação.

Os padrões sazonais das frações folhas, galhos, estruturas reprodutivas e miscelânea variaram obviamente entre as seis espécies vegetais avaliadas, conforme esboçado na Fig. 4. Dentre as espécies, a *A. pyrifolium* apresentou o maior aporte foliar (319,55 kg MS ha⁻¹), enquanto os menores valores foram obtidos em *C. pyramidale* (80,30 kg MS ha⁻¹), indicando o mesmo comportamento observado para a deposição total entre espécies. Os meses de maio, junho e julho de 2016, e em julho de 2017, impulsionaram aumentos cumulativos em praticamente todas as espécies vegetais e, de forma mais tímida, para a Catingueira (Fig. 4).

Já em relação à deposição da fração galho, as maiores contribuições surgiram das espécies *C. leptophloeos* e *A. pyrifolium*, com o mês de fevereiro de 2017 sendo aquele de maior deposição para todas as espécies (Fig. 4). O aporte das estruturas reprodutivas das espécies *S. tuberosa*, *C. leptophloeos* e *C. blanchetianus* basicamente não variou ao longo do período de análise (março de 2016 a outubro de 2017,) com totais de 17,7; 22,7 e 21,7 kg MS ha⁻¹, respectivamente. Por outro lado, a *C. pyramidale* apresentou a menor deposição (5,4 kg MS ha⁻¹). As espécies *C. quercifolius* e *A. pyrifolium* foram as que mais contribuíram com a queda de estruturas reprodutivas, chegando a acúmulos totais iguais a 133,1 e 91,4 kg MS ha⁻¹, nesta ordem, com destaque para os meses de março, abril e maio de 2017 (Fig. 4).

Para a fração miscelânea, os coletores localizados abaixo das espécies *C. quercifolius* e *C. pyramidale* obtiveram maiores quantidades depositadas deste material, com destaque para os meses de dezembro de 2016 para a Faveleira, e o mês de junho de 2017 para a Catingueira (Fig. 4).

3.5. Decomposição da serapilheira

A média anual de serapilheira acumulada sobre o solo foi de 3.571 kg ha⁻¹. A constante de decomposição média da perda de massa da serapilheira foi de 0,33 kg MS ha⁻¹ ano⁻¹, e o tempo necessário para que ocorra a desaparecimento de 50% e 95% da serapilheira indica que a taxa de decomposição é bastante baixa, com reaproveitamento lento de nutrientes (Tabela 7).

3.6. *Exportação de nutrientes da vegetação para a serapilheira*

Na Fig. 8 está exibida a quantidade média dos nutrientes exportados pela vegetação de caatinga para a serapilheira total produzida, durante os 20 meses analisados. As concentrações médias dos macronutrientes K, Ca, Mg e S foram respectivamente de 3,6; 12,6; 1,4 e 1,3 g kg⁻¹, enquanto para os micronutrientes Cu, Fe, Mn, Z e Na foi de 13,5; 296,1; 44,5; 25,3 e 449,2 mg kg⁻¹ (dados não apresentados).

Verifica-se que Cálcio é o elemento exportado em maior quantidade entre os macronutrientes, seguido pelo Potássio. Entre os micronutrientes, maiores valores de exportação foram obtidos para Sódio e Ferro, e menores para o Cobre (Fig. 8). A exportação dos nutrientes através da serapilheira seguiu a ordem decrescente: Ca > K > Mg > S > Na > F > Mn > Zn > Cu. Com exceção de nitrogênio, fósforo e boro (dados não obtidos), o retorno total estimado de macronutrientes e de micronutrientes foi de 22,9 e 0,86 kg ha⁻¹ ano⁻¹, nesta ordem.

As variações temporais da exportação dos nutrientes da vegetação foram relativamente pequenas e a variação sazonal acompanhou as oscilações da deposição da serapilheira total. Os maiores fluxos de nutrientes foram constatados nos meses do final da estação de outono e início de inverno e as menores taxas entre os meses de agosto a janeiro, independentemente da concentração (Fig. 8).

4. Discussões

4.1. Deposição de serapilheira

Para a vegetação Caatinga, as informações sobre produção de serapilheira ainda são insuficientes, com número reduzido de trabalhos publicados. Neste trabalho, a deposição anual de serapilheira foi de 1,18 ton. ha⁻¹ ano⁻¹. Estima-se que a produção de serapilheira na Caatinga esteja na faixa entre 1,5 a 3,0 ton. ha⁻¹ ano⁻¹, podendo atingir valores superiores a 6,0 ton. ha⁻¹ ano⁻¹ nos locais mais úmidos. No entanto, estes valores ainda são inferiores aos observados em outras formações florestais no Brasil (Menezes et al., 2012).

Na Tabela 8, é apresentada a revisão de trabalhos referentes ao aporte de serapilheira para ambientes de vegetação de caatinga e outras tipologias vegetais. Admite-se que valores mais elevados de deposição de serapilheira nos outros tipos de formações vegetais apresentadas na Tabela 8 sejam reflexos da abundância de indivíduos arbóreos, com maiores alturas, espessuras dos troncos, maior volume de madeira e dosséis mais fechados (Nunes and Pinto, 2007).

Independentemente da capacidade de produção de serapilheira em cada tipologia vegetal, para todos os ecossistemas florestais, a presença desse material constitui-se como agente promotor da recuperação de áreas degradadas, refletindo a capacidade produtiva, conservação, biodiversidade e manutenção natural dos ecossistemas florestais (Alves et al., 2006; Arato et al., 2003; Correia et al., 2016; Freitas et al., 2015; Santana and Souto, 2011; Zhang et al., 2014). Portanto, a serapilheira pode ser um indicador de avaliação e monitoramento da restauração florestal, por meio do sistema solo-planta-serapilheira (Correia et al., 2016).

Na África Central, Cizungu et al. (2014) verificaram que a deposição anual de serapilheira em uma floresta tropical preservada foi praticamente 2 vezes superior

àquela obtida em uma área adjacente com plantação de Eucalipto, com valores de 4,17 e 2,21 ton. ha⁻¹ ano⁻¹, nesta ordem. Correia et al. (2016) compararam a serapilheira acumulada em uma floresta em restauração e outra ombrófila densa primária (tabuleiro), na Reserva Natural Vales - ES. Para a floresta em restauração, a média de deposição foi de 3,18 ton. ha⁻¹ ano⁻¹; enquanto na outra foi de 4,41 ton. ha⁻¹ ano⁻¹. As diferenças entre os dois sítios permitiram identificar que, mesmo após anos de restauração (23 anos), a vegetação ainda não conseguiu atingir valores de estoque de serapilheira semelhantes a áreas preservadas. Nunes and Pinto (2007) obtiveram valores de produção de serapilheira iguais a 15,1 ton. ha⁻¹ ano⁻¹ na mata nativa e 11,4 ton. ha⁻¹ ano⁻¹ na área de reflorestamento. Esta discrepância de valores pode estar relacionada à composição florística e estágio sucessional da vegetação.

Face ao exposto, pode-se afirmar que a remoção da vegetação de caatinga para implantação de áreas agrícolas, ou para fins extrativistas, resulta em perdas irreparáveis de toda a dinâmica e interação do sistema solo-planta-serapilheira. Ademais, áreas com agricultura abandonadas levam décadas para estabelecer vegetação semelhante à original (Pereira et al., 2003). Portanto, para áreas de caatinga com intervenção antrópica, a perda de matéria seca depositada sobre o solo pode chegar a 1,18 ton. ha⁻¹ ano⁻¹.

Dentro do material formador de serapilheira, obteve-se que a produção de folhas foi superior (Fig. 2). Estudos em áreas de caatinga relatam que a fração folha é o principal material depositado, com percentuais variando entre 56% e 80%, enquanto a fração galho esteve entre 7% e 28%, estruturas reprodutivas entre 8% e 13%, e que a miscelânea foi de 0,8% da serapilheira total (Alves et al., 2006; Andrade et al., 2008; Costa et al., 2007, 2010; Santana and Souto, 2011), corroborando com os resultados do presente estudo.

A maior contribuição da fração folhas na formação da serapilheira não é exclusiva de plantas da caatinga, encontrando respaldo na literatura científica também para outras formações vegetais naturais ou implantadas (Arato et al., 2003; Correia et al., 2016; Freitas et al., 2015; Ludvichak et al., 2016; Terror et al., 2011; Vital et al., 2004; Zhang et al., 2014).

4.2. Efeito das condições ambientais sobre a sazonalidade da deposição de serapilheira

A ausência de correlações significativas, entre as condições ambientais e a SRP-Miscelânea, deve-se ao fato de que este componente não é parte constituinte da planta, uma vez que se refere, em sua maioria, ao material de origem animal, a exemplo de partes mortas e secreções. Sendo assim, sua deposição sofre pouca influência do ambiente, estando mais relacionado à presença de pequenos animais herbívoros, fato confirmado pelo padrão sazonal irregular dessa fração (Fig. 2). Arato et al. (2003) também não encontraram correlações significativas entre a deposição de serapilheira e variáveis climáticas, as quais apresentaram baixos coeficientes de Pearson.

Com base nos resultados da análise canônica, observou-se que, de acordo com a associação entre as variáveis, a máxima deposição de estruturas reprodutivas ocorre nos períodos de fevereiro a abril. Em contraste, para a fração galhos, o conjunto de condições indica que menores deposições correm nos meses de setembro a dezembro (Tabela 5).

A sazonalidade na deposição de serapilheira total foi fortemente e negativamente afetada pela radiação solar global. Logo, para esta área de caatinga, os maiores aportes de material decíduo ocorrem durante os meses de menor incidência de radiação (maio a julho), os quais coincidem com a transição entre as estações de

outono e inverno no hemisfério Sul (Vianello and Alves, 2012). Em área de caatinga, Correia et al. (2016) verificaram que, quanto maior o índice de área da planta e quanto menos compactados forem os solos, maior é a concentração de serapilheira acumulada sobre o solo.

Outros estudos também sugerem que a radiação solar é a variável ambiental dominante nos padrões sazonais de deposição de serapilheira. Silva et al. (2009) mostraram que a deposição de serapilheira apresentou correlação negativa com a precipitação, a qual foi influenciada positivamente pela densidade de fluxo de radiação fotossinteticamente ativa. Zhang et al. (2014) indicaram que a precipitação e a radiação solar são fatores limitantes na regulação da deposição de serapilheira em florestas tropicais. Nestes ambientes, a deposição de folhas, maduras em detrimento do surgimento de folhas novas, ocorre em períodos abundantes de radiação, resultando em elevados valores acumulados.

As oscilações mensais das frações de serapilheira (folha, galho, estruturas reprodutivas) apresentaram relações de dependência com outras variáveis ambientais (Tabela 6). A temperatura média do ar e o fluxo de calor no solo foram determinantes na variação dos valores de SRP-Folha, com efeitos diretos e negativos. Dessa forma, meses com temperatura do ar elevada e fluxo de calor no solo positivo (solo mais exposto) proporcionaram baixa deposição da fração foliar, sendo meses típicos da primavera e início do verão. Neste período, a demanda atmosférica é elevada e o conteúdo de água no solo é reduzido. Assim, as plantas da caatinga utilizam adaptações morfológicas e fisiológicas para manterem-se vivas durante períodos de estresse hídrico, a exemplo da senescência foliar e caducifolia, sendo estas as respostas das plantas como medida preventiva à alta perda de água por transpiração (Andrade et al., 2008; Santana and Souto, 2011).

Em outras tipologias vegetais, a abscisão foliar devido ao estresse hídrico também se configura como um mecanismo de adaptação das plantas (Arato et al., 2003; Zhang et al., 2014). Em florestas de manguezais, valores elevados de temperatura podem acelerar a taxa de transpiração, elevando os teores de sal nas folhas, o que resulta na sua abscisão. Em contraste, eventos de chuva promovem reduções na salinidade da água e, conseqüentemente, menores produções de serapilheira (Zhang et al., 2014).

Por outro lado, a deposição da SRP-Estrutura reprodutivas é influenciada de forma conjunta pela velocidade do vento e precipitação, o que sugere que meses com menores valores de velocidade de vento, somados a períodos chuvosos, favorecem a deposição dessa fração (Tabela 6). Tal situação pode estar condicionada ao fato de que a totalidade do ciclo de floração e frutificação da maioria das espécies da caatinga ocorre após o início das chuvas (Andrade et al., 2008; Parente et al., 2012), como forma de garantir a perpetuação da espécie em curto espaço de tempo. Silva et al. (2009) observaram que a queda de frações reprodutivas também foi influenciada pela velocidade do vento, porém, com efeitos positivos.

Para a SRP-Galho, a precipitação teve influência direta e positiva na variação da deposição dessa fração, provavelmente devido à ação mecânica das gotas de chuva sobre galhos secos retidos no dossel (Arato et al., 2003; Martins and Rodrigues, 1999). Pode-se observar que os meses com maior volume de chuva foram aqueles em que a deposição de galhos foi superior às demais frações (Tabela 2 e Fig. 2). No entanto, devido ao alto valor residual da análise de trilha, os efeitos diretos e indiretos da precipitação pluviométrica não podem explicar totalmente as variações desta fração.

Ye et al. (2013) encontraram correlações significativas entre a serapilheira foliar com a temperatura do ar e precipitação, e deposição de galhos com a chuva, as quais explicam a sazonalidade da produção de serapilheira em manguezais.

Neste estudo, as maiores deposições de serapilheira ocorreram no período de outono/inverno, e menores na transição entre primavera e verão (Fig. 2). Outros trabalhos verificaram esta tendência em áreas de caatinga (Costa et al., 2010; Menezes et al., 2012). Andrade et al. (2008) constataram que o acúmulo massivo de serapilheira ocorreu no mês de junho, com valores elevados também em maio, julho e agosto. Alves et al. (2006) encontraram maior deposição após o período chuvoso, que ocorreu no mês de junho. Santana and Souto (2011) verificaram máxima produção no mês de maio.

Inúmeros trabalhos são generalistas e associam a deposição de serapilheira às estações do ano, considerando apenas as magnitudes e padrões de oscilação da precipitação pluviométrica. No entanto, o conjunto de variáveis ambientais e suas inter-relações são, de fato, responsáveis pela sazonalidade no acúmulo de serapilheira nos diferentes ecossistemas do mundo (Correia et al., 2016; Sánchez-Andrés et al., 2010; Silva et al., 2009; Vital et al., 2004; Zhang et al., 2014).

4.3. Deposição de serapilheira por espécies do Domínio de Caatinga

A deposição anual, a sazonalidade e o quantitativo depositado das frações de serapilheira das seis espécies avaliadas apresentaram variações acentuadas (Fig. 3 e 4). Assim, é possível inferir que o padrão de deposição está relacionado notadamente com o desenvolvimento e crescimento do dossel, que é conduzido pela natureza de cada espécie (Rai et al., 2016).

Nota-se que a espécie *A. pyrifolium* (Pereiro) foi aquela que mais contribuiu para os acúmulos totais e fração folha, com deposições em praticamente todos os

meses. A emissão de folhas por essa espécie não responde imediatamente aos estímulos hídricos, sendo verificada permanência das suas folhas por maior período de tempo, indicando que a espécie é mais tolerante à baixa disponibilidade hídrica (Parente et al., 2012).

Em seguida, as maiores deposições da espécie *C. quercifolius* (Faveleira) devem-se ao fato de suas folhas serem longas e grossas, e com pequenos acúleos no limbo, além de espinhos urticantes nas nervuras, resultando em maiores quantidades de matéria seca desta fração (Drumond et al., 2007). Salientasse também que os aumentos de deposição observados em todas as espécies no mês de julho de 2017 condizem com os resultados das correlações, uma vez que neste mês houve menor incidência de radiação solar e menores temperatura (Tabela 4).

Para a fração galhos, os maiores valores observados de deposição foram da *C. leptophloeos*, fato que pode estar associado às particularidades desta espécie, a qual possui um caule de maior diâmetro (DAP 24,9 cm; Tabela 3), e casca lisa que se desprende em lâminas delgadas, sendo progressivamente depositada (Maia, 2012). Tal característica explica o alto efeito residual obtido na análise de trilha, pois mesmo em períodos de baixa precipitação, a planta libera essas estruturas.

Para a serapilheira cuja origem é proveniente de estruturas reprodutivas, novamente as espécies *A. pyrifolium* e *C. quercifolius* apresentaram maiores aporte, sendo a última superior. As flores desta espécie apresentam-se em pequenos cachos axilares e terminais, cuja florescência ocorre durante longo período do ano, com produções contínuas de pequenas quantidades de sementes e frutos deiscentes (Drumond et al., 2007). Da mesma forma ao observado na persistência de folhas para *A. pyrifolium*, a presença de frutos também perdura entre os anos (Parente et al., 2012).

Em ambas as espécies, picos de intensidade na deposição de estruturas reprodutivas ocorreram a partir de fevereiro de 2017, corroborando com os efeitos diretos da precipitação (Tabela 6) e com a literatura. Assim, alguns trabalhos citam que o pico de atividade de brotação, seguido de floração e frutificação de algumas espécies da caatinga, inicia-se após ocorrência de chuvas (Maia, 2012; Parente et al., 2012).

Neste trabalho, a fração miscelânea foi composta predominantemente por partes do corpo e fezes de insetos. A sua contribuição basicamente não variou entre as espécies e ao longo dos anos, sendo que os maiores picos, observados em alguns meses, devem-se à atividade herbívora dos insetos, em que foi observada forte desfolha e presença massiva de fezes de insetos. Santana and Souto (2011) também evidenciaram a participação de insetos herbívoros no processo de deposição, resultando em aumentos na fração miscelânea.

Em resumo, as espécies *A. pyrifolium* e *C. quercifolius* apresentaram deposições elevadas. No entanto, para as demais espécies suas contribuições são significativas, independentemente da menor quantidade acumulada, uma vez que a riqueza e abundância de espécies transmite ao ambiente maior diversidade, principalmente no atual modelo exploratório da Caatinga. A crise da biodiversidade é um dos principais danos causados pela redução das florestas, afetando a composição, a abundância e a riqueza das espécies de conjuntos biológicos (Cizungu et al., 2014).

Após corte ou queima na Caatinga, espécies como *A. pyrifolium* e *C. pyramidale* são abundantes em áreas degradadas, sendo consideradas pioneiras de ambientes desertificados. Este fato é atribuído à resistência à seca dessas espécies, além de características que reduzem os impactos da pressão antrópica e da atividade de ramoneio por animais domésticos (Ferraz et al., 2014; Pereira et al., 2003; Souza

et al., 2015). Para *A. pyriformis*, sua madeira não possui qualidade exigida para produção de carvão e lenha, principais responsáveis pelo atendimento de 30% da matriz energética do Nordeste, bem como não são utilizadas na confecção de cercas pelos agricultores (Ferraz et al., 2014; Souza et al., 2015). Em ambas as espécies, o acesso pelos animais ocorre apenas quando as folhas iniciam processo de senescência e caem sob o solo, perdendo suas características de toxicidade (Parente et al., 2012; Souza et al., 2015).

A atividade de ramoneio realizada por caprinos é responsável pela redução da atividade das folhas e inibição da formação de brotações jovens (Parente et al., 2012; Souza et al., 2015). Cerca de 70% das espécies da caatinga é utilizada como alimento por estes animais, a exemplo das espécies *S. tuberosa* (Umbuzeiro) e *C. leptophloeos* (Souza et al., 2015).

4.4. Decomposição da serapilheira

A decomposição da serapilheira é a forma básica pela qual ocorre a ciclagem nutricional, sendo fonte de energia para organismos heterotróficos (Correia et al., 2016; Freitas et al., 2015; Rai et al., 2016). O valor da taxa de decomposição da serapilheira foi baixo ($K=0,33$), indicando que seu aproveitamento é lento. Dessa forma, em áreas com vegetação de caatinga, a decomposição da serapilheira ocorre de forma relativamente devagar, quando comparada a outros ecossistemas, fato esse que pode estar relacionado à limitação hídrica local, uma vez que a atividade microbiana local é inibida sob baixa disponibilidade de água (Holanda et al., 2015; Huang et al., 2016).

Para florestas tropicais, os valores de K variam de 0,3 a 4,0 (Olson, 1963). Lopes et al. (2009), em uma área de caatinga no Ceará, obtiveram o valor de 0,71. Os valores de K variam em diferentes tipologias vegetais. Vital et al. (2004) verificaram

que, em floresta estacional semidecídua, a taxa de decomposição da serapilheira é alta, com valores entre 1,2 e 1,9. Estes autores encontraram valores de $K=1,71$ e um tempo de desaparecimento de 50 e 95% para a serapilheira de 0,4 e 1,75 anos, o que indica o rápido aproveitamento deste material. Arato et al. (2003) encontraram valor K igual a 1,17 e tempo estimado de desaparecimento de 50% em 215 dias. Os valores obtidos por estes dois autores estão próximos daqueles observados em florestas estacionais semidecíduas.

Em escala local, o ambiente microclimático, o regime hídrico local, os organismos do solo e a qualidade da serapilheira afetam a regulação das taxas de decomposição do material decíduo (Bernaschini et al., 2016; Cizungu et al., 2014; Holanda et al., 2015; Huang and Li, 2017; Ludvichak et al., 2016; Rai et al., 2016). Estudos realizados em região de clima continental árido, na margem sul do deserto de Gurbantunggutno na China, demonstraram que a radiação ultravioleta e a frequência e quantidade de precipitação, e suas interações, afetaram a decomposição de serapilheira em cinco espécies nativas. Nestes estudos, foram encontrados valores de K maiores na presença de chuva e sob luz solar (0,49 a 0,94), e menores quando houve bloqueio da radiação UV (0,35-0,52), indicando que a radiação desempenha papel importante na decomposição de serapilheira em ambiente deserto (Huang and Li, 2017).

Embora o valor de K para o presente estudo tenha sido baixo, o acúmulo e permanência de material decíduo sobre o solo possui diversas vantagens em ambiente semiárido, atuando como cobertura vegetal. Assim, o material decíduo protege o solo da incidência de raios solares e do impacto direto das gotas de chuva, evita oscilações térmicas diárias no solo, aumenta a aeração, além de armazenar sementes e abrigar comunidades de fauna atuantes nos processo de decomposição

(Andrade et al., 2008; Cizungu et al., 2014; Holanda et al., 2015; Huang and Li, 2017; Sánchez-Andrés et al., 2010; Santana and Souto, 2011)

4.5. *Exportação de nutrientes da serapilheira*

Os valores de serapilheira devolvidos pela vegetação de caatinga foram inferiores àqueles obtidos em outros ecossistemas florestais brasileiros, devido, principalmente, à baixa deposição mensal e baixos teores dos nutrientes. Vital et al. (2004) citam limites propostos das concentrações de macronutrientes na matéria seca: Potássio (0,1 a 0,3%); Cálcio (0,02 a 5%) e Magnésio (0,02 a 2,5%). No presente estudo, os percentuais destes elementos estiveram inclusos na faixa sugerida, representando 0,30%, 1,07% e 0,12%, respectivamente. A concentração média de Potássio ($3,6 \text{ g kg}^{-1}$) também se encontra na faixa limite obtida em florestas tropicais brasileiras, variando de 2,93 a $11,8 \text{ g kg}^{-1}$ (Terror et al., 2011).

Terror et al. (2011), estudando a transferência de nutrientes na serapilheira em um fragmento de floresta paludosa, obtiveram valores de concentração de Potássio igual a $3,07 \text{ g kg}^{-1}$, semelhantes aos encontrados no presente estudo ($3,6 \text{ g kg}^{-1}$). Porém, o aporte anual foi de $9,89 \text{ kg ha}^{-1}$, 2,4 vezes superior ao obtido neste trabalho. Paula et al. (2009) quantificaram exportações de 43,6; 32,7 e $28,3 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ de Potássio em três formações florestais de restinga na Ilha da Marambaia, RJ. Em uma floresta estacional semidecidual, situada no centro-sul do estado de São Paulo, Vital et al. (2004) obtiveram transferência de $52,79 \text{ kg(K)ha}^{-1}$, $199,80 \text{ kg(Ca)ha}^{-1}$ e $38,70 \text{ kg(Mg)ha}^{-1}$, para um acúmulo de serapilheira igual a 6.227 kg ha^{-1} . Nesse local, os maiores valores de exportação estiveram associados à alta deposição anual e às elevadas concentrações destes nutrientes ($6,23; 22,85; 4,40 \text{ g kg}^{-1}$, nesta ordem).

A ciclagem de nutrientes em floresta é dependente da produção de serapilheira, que é a principal via de transferência de elementos no sistema solo-

planta. Portanto, a serapilheira constitui a matéria prima disponível e acessível à vegetação dos ecossistemas (Ludvichak et al., 2016; Zhang and Shangguan, 2016). Para ambientes sob ação antrópica e aqueles passíveis de alterações, a avaliação do potencial de deposição e a reciclagem de nutrientes via serapilheira permitem estudar o potencial dos ecossistemas naturais na manutenção da fertilidade do solo, e avaliar a capacidade das espécies na recuperação de áreas degradadas (Santana and Souto, 2011).

5. Conclusões

A deposição de serapilheira pela vegetação de caatinga tem caráter sazonal, sendo influenciada, principalmente, pela incidência de radiação solar, precipitação pluviométrica, velocidade do vento e temperatura do ar. As espécies que constituem a vegetação possuem diferentes padrões e magnitudes de deposição, sendo fundamentais na manutenção do Domínio de Caatinga e recuperação de áreas degradadas, capazes de depositar anualmente 1,18 ton. MS ha⁻¹ e 23,76 kg de nutrientes ha⁻¹ via material decíduo.

Agradecimentos

Esta pesquisa foi financiada pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Pernambuco (FACEPE - APQ-1159-1.07/14) e pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq - no. 475279/2010-7 e no. 476372/2012-7). Os autores agradecem ao Grupo de Agrometeorologia no Semiárido (GAS) pela assistência na condução do experimento e à Coordenação de aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) por financiar a bolsa de doutorado do primeiro autor.

Referências

- Albuquerque, E.R.G.M., Sampaio, E.V.S.B., Pareyn, F.G.C., Araújo, E.L., 2015. Root biomass under stem bases and at different distances from trees. *J. Arid Environ.* 116, 82–88. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2015.02.003>
- Alvares, C.A., Stape, J.L., Sentelhas, P.C., Gonçalves, J.L.M., Sparovek, G., 2013. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorol. Zeitschrift* 22, 711–728.
- Alves, A.R., Souto, J.S., Souto, P.C., Holanda, A.C. de, 2006. Aporte e decomposição de serrapilheira em área de Caatinga , na Paraíba. *Rev. Biol. e Ciências da Terra* 6, 194–203.
- Andrade, R.L. de, Souto, J.S., Souto, P.C., Bezerra, D.M., 2008. Deposição De Serrapilheira Em Área De Caatinga Na RPPN “Fazenda Tamanduá”, Santa Terezinha-PB. *Rev. Caatinga* 21, 223–230.
- Arato, H.D., Martins, S.V., Ferrari, S.H.D.S., 2003. Produção e decomposição de serapilheira em um sistema agroflorestal implantado para recuperação de área degradada em Viçosa-MG. *Rev. Árvore* 27, 715–721. <https://doi.org/10.1590/S0100-67622003000500014>
- Araújo Primo, J.T. de, Silva, T.G.F. da, Siqueira e Silva, S.M., Moura, M.S.B. de, Souza, L.S.B. de, 2015. Calibração de sondas capacitivas, funções físico-hídricas e variação do armazenamento de água em um argissolo cultivado com palma forrageira. *Rev. Ceres* 62, 20–29. <https://doi.org/10.1590/0034-737X201562010003>
- Barbosa, M.L., Silva, T.G.F., Zolnier, S., Silva, S.M.S., Morais, J.E.F. De, Assis, M.C.D.S., 2017. Association of morphological and water factors with irrigated forage cactus yield. *R. Bras. Eng. Agríc. Ambient.* 21, 600–605.

<https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v21n9p600-605>

- Bernaschini, M.L., Moreno, M.L., Pérez-Harguindeguy, N., Valladares, G., 2016. Is litter decomposition influenced by forest size and invertebrate detritivores during the dry season in semiarid Chaco Serrano? *J. Arid Environ.* 127, 154–159. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2015.11.009>
- Campos C, A., Cruz H, L., Rocha O, S., 2017. Mass, nutrient pool, and mineralization of litter and fine roots in a tropical mountain cloud forest. *Sci. Total Environ.* 575, 876–886. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.09.126>
- Cizungu, L., Staelens, J., Huygens, D., Walangululu, J., Muhindo, D., Cleemput, O. Van, Boeckx, P., 2014. Forest Ecology and Management Litterfall and leaf litter decomposition in a central African tropical mountain forest and Eucalyptus plantation. *For. Ecol. Manage.* 326, 109–116. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2014.04.015>
- Coelho, V.H.R., Montenegro, S.M.G.L., Almeida, C. das N., Lima, E.R.V. de, Ribeiro Neto, A., Moura, G.S.S. de, 2014. Dinâmica do uso e ocupação do solo em uma bacia hidrográfica do semiárido brasileiro. *Rev. Bras. Eng. Agrícola e Ambient.* 18, 64–72. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662014000100009>
- Correia, G.G. de S., Martins, S.V., Miranda Neto, A., Silva, K. de A., Correia, G.G. de S., Martins, S.V., Miranda Neto, A., Silva, K. de A., 2016. Estoque de serapilheira em floresta em restauração e em floresta atlântica de tabuleiro no sudeste brasileiro. *Rev. Árvore* 40, 13–20. <https://doi.org/10.1590/0100-67622016000100002>
- Costa, C.C.A., Souza, A.M., Silva, N.F. da, Camacho, R.G.V., Dantas, I.M., 2007. Produção de Serapilheira na Caatinga da Floresta Nacional do Açú-RN. *Rev. Bras. Biociências* 5, 246–248. <https://doi.org/10.4067/S0718->

- Costa, C.C. de A., Camacho, R.G.V., Macedo, I.D. de, Silva, P.C.M. da, 2010. Análise comparativa da produção de serapilheira em fragmentos arbóreos e arbustivos em área de caatinga na FLONA de Açu-RN. *Rev. Árvore* 34, 259–265.
- Cunha, M. V., Lira, M.A., Santos, M.V.F., Freitas, E. V., Dubeux Jr., J.C.B., Mello, A.C.L., Martins, K.G.R., 2011. Association between the morphological and productive characteristics in the selection of elephant grass clones. *Rev. Bras. Zootec.* 40, 482–488. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982011000300004>
- Drumond, M.A., Salviano, L.M.C., Cavalcanti, N. de B., Pereira, L.G.R., 2007. Produção , distribuição da biomassa e composição bromatológica da parte aérea da faveleira. *Rev. Bras. Ciências Agrárias* 2, 308–310.
- Ferraz, J.S.F., Ferreira, R.L.C., Silva, J.A.A. da, Meunier, I.M.J., Santos, M.V.F. dos, 2014. Estrutura do componente arbustivo-arbóreo da vegetação em duas áreas de caatinga, no município de Floresta, Pernambuco. *Rev. Árvore* 38, 1055–1064.
- Freitas, C.A.A. de, Caldeira, M.V.W., Horn, S.K., Castro, K.C., Viera, M., 2015. Serapilheira acumulada em complexo rupestre de granito, Mimoso do Sul, ES. *Rev. Árvore* 39, 671–681. <https://doi.org/10.1590/0100-67622015000400009>
- Holanda, A.C., Feliciano, A.L.P., Maragon, L.Ca., Freire, F.J., Holanda, E.M., 2015. Decomposição da serapilheira foliar e respiração edáfica em um remanescente de Caatinga na Paraíba. *Rev. Árvore* 39, 245–254.
- Huang, G., Li, Y., 2017. Photodegradation effects are related to precipitation amount, precipitation frequency and litter traits in a desert ecosystem. *Soil Biol. Biochem.* 115, 383–392. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2017.08.034>

- Huang, X., Shi, Z.H., Zhu, H.D., Zhang, H.Y., Ai, L., Yin, W., 2016. Soil moisture dynamics within soil profiles and associated environmental controls. *Catena* 136, 189–196. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2015.01.014>
- Lopes, J.F.B., Andrade, E.M. de, Lobato, F.A. de O., Palácio, H.A. de Q., Arrae, F.D.D., 2009. Deposição e decomposição de serapilheira em área da Caatinga. *Rev. Agro@mbiente On-line* 3, 72–79.
- Ludvichak, A.A., Schumacher, M.V., Dick, G., Momolli, D.R., Pablo De Souza, H., Do, C., Guimarães, C., 2016. Nutrient return through litterfall in a eucalyptus dunnii maiden stand in sandy soil. *Rev. Árvore* 40, 1041–1048. <https://doi.org/10.1590/0100-67622016000600009>
- Maia, G.N., 2012. Caatinga: árvores e arbustos e suas utilidades, 2nd ed. Fortaleza.
- Martins, S. V., Rodrigues, R.R., 1999. Produção de serapilheira em clareiras de uma floresta estacional semidecidual no município de Campinas, SP. *Rev. Bras. Botânica* 22, 405–412. <https://doi.org/10.1590/S0100-84041999000300009>
- Menezes, R., Sampaio, E., Giongo, V., Pérez-Marin, A., 2012. Biogeochemical cycling in terrestrial ecosystems of the Caatinga Biome. *Brazilian J. Biol.* 72, 643–653. <https://doi.org/10.1590/S1519-69842012000400004>
- Nunes, F.P., Pinto, M.T.C., 2007. Produção de serapilheira em mata ciliar nativa e reflorestada no alto São Francisco, Minas Gerais. *Biota Neotrop.* 7, 97–102. <https://doi.org/10.1590/S1676-06032007000300011>
- Olson, J.S., 1963. Energy Storage and the Balance of Producers and Decomposers in Ecological Systems. *Ecology* 44, 322–331. <https://doi.org/10.2307/1932179>
- Parente, H.N., Andrade, A.P. de, Silva, D.S. da, Santos, E.M., Araujo, K.D., Parente, M. de O.M., 2012. Influência do pastejo e da precipitação sobre a fenologia de quatro espécies em área de caatinga. *Rev. Árvore* 36, 411–421.

<https://doi.org/10.1590/S0100-67622012000300003>

- Paula, R.R., Pereira, M.G., de Menezes, L.F.T., 2009. Aporte de nutrientes e decomposição da serapilheira em três fragmentos florestais periodicamente inundados na ilha da Marambaia, RJ. *Cienc. Florest.* 19, 139–148.
- Pereira, I.M., Andrade, L.A., Sampaio, E.V.S.B., Barbosa, M.R. V., 2003. Use-history Effects on Structure and Flora of Caatinga. *Biotropica* 35, 154–165. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7429.2003.tb00275.x>
- Rai, A., Singh, A.K., Ghosal, N., Singh, N., 2016. Understanding the effectiveness of litter from tropical dry forests for the restoration of degraded lands. *Ecol. Eng.* 93, 76–81. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2016.05.014>
- Salla, V.P., Danner, M.A., Citadin, I., Sasso, S.A.Z., Donazzolo, J., Gil, B.V., 2015. Análise de trilha em caracteres de frutos de jabuticabeira. *Pesqui. Agropecuária Bras.* 50, 218–223. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2015000300005>
- Sampaio, E.V.S.B., Silva, G.C., 2005. Biomass equations for Brazilian semiarid caatinga plants. *Acta Bot. Brasilica* 19, 935–943. <https://doi.org/10.1590/S0102-33062005000400028>
- Sánchez-Andrés, R., Sánchez-Carrillo, S., Alatorre, L.C., Cirujano, S., Álvarez-Cobelas, M., 2010. Litterfall dynamics and nutrient decomposition of arid mangroves in the Gulf of California: Their role sustaining ecosystem heterotrophy. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 89, 191–199. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2010.07.005>
- Santana, J.A. da S., Souto, J.S., 2011. Produção de serapilheira na Caatinga da região semi-árida do Rio Grande do Norte, Brasil. *Idesia (Arica)* 29, 87–94. <https://doi.org/10.4067/S0718-34292011000200011>
- Schulz, K., Voigt, K., Beusch, C., Almeida-Cortez, J.S., Kowarik, I., Walz, A.,

- Cierjacks, A., 2016. Grazing deteriorates the soil carbon stocks of Caatinga forest ecosystems in Brazil. *For. Ecol. Manage.* 367, 62–70. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2016.02.011>
- Silva, C.R. da, Andrade Júnior, A.S. de, Alves Júnior, J., Souza, A.B. de, Melo, F.D.B., Coelho Filho, M.A., 2007. Calibration of a capacitance probe in a Paleudult. *Sci. Agric.* 64, 636–640. <https://doi.org/10.1590/S0103-90162007000600012>
- Silva, R.M. da, Costa, J.M.N. da, Ruivo, M. de L.P., Costa, A.C.L. da, Almeida, S.S., 2009. Influência de variáveis meteorológicas na produção de liteira na Estação Científica Ferreira Penna, Caxiuanã, Pará. *Acta Amaz.* 39, 573–582. <https://doi.org/10.1590/S0044-59672009000300012>
- Souza, B.I., Menezes, R., Cámara Artigas, R., 2015. Efeitos da desertificação na composição de espécies do bioma Caatinga, Paraíba/Brasil. *Investig. Geogr.* 2015, 45–59. <https://doi.org/10.14350/rig.44092>
- Terror, V.L., Sousa, H.C. de, Kozovits, A.R., 2011. Produção, decomposição e qualidade nutricional da serapilheira foliar em uma floresta paludosa de altitude. *Acta Bot. Brasilica* 25, 113–121. <https://doi.org/10.1590/S0102-33062011000100014>
- Vianello, R.L., Alves, A.R., 2012. *Meteorologia básica e aplicações*, 2nd ed. UFV, Viçosa, MG.
- Vieira, I.R., de Araújo, F.S., Zandavalli, R.B., 2013. Shrubs promote nucleation in the Brazilian semi-arid region. *J. Arid Environ.* 92, 42–45. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2013.01.009>
- Vital, A.R.T., Guerrini, I.A., Franken, W.K., Fonseca, R.C.B., 2004. Produção de serapilheira e ciclagem de nutrientes de uma floresta estacional semidecidual

em zona ripária. *Rev. Árvore* 28, 793–800. <https://doi.org/10.1590/S0103-40142000000100005>

Ye, Y., Chen, Y.P., Chen, G.C., 2013. Litter production and litter elemental composition in two rehabilitated *Kandelia obovata* mangrove forests in Jiulongjiang Estuary, China. *Mar. Environ. Res.* 83, 63–72. <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2012.10.011>

Zhang, H., Yuan, W., Dong, W., Liu, S., 2014. Seasonal patterns of litterfall in forest ecosystem worldwide. *Ecol. Complex.* 20, 240–247. <https://doi.org/10.1016/j.ecocom.2014.01.003>

Zhang, Y., Shanguan, Z., 2016. The change of soil water storage in three land use types after 10years on the Loess Plateau. *Catena* 147, 87–95. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2016.06.036>

Tabela 1

Normais climatológicas (1961-1990) dos elementos meteorológicos no município de Floresta, PE, no Sertão Central do Brasil.

Mês	Chuva (mm)	T _N	T _M	T _X	UR (%)	u (m s ⁻¹)	ET _o (mm)	R _G (MJ m ² dia ⁻¹)
Janeiro	66,1	21,7	27,4	34,7	59,9	2,0	5,9	23,4
Fevereiro	79,4	21,5	26,7	33,9	63,8	1,9	5,7	23,6
Março	104,3	21,4	26,5	33,6	68,5	1,9	5,5	23,2
Abril	66,7	21,0	26,0	32,8	70,4	1,9	5,0	21,5
Mai	37,2	20,2	25,0	31,8	70,4	2,0	4,4	18,7
Junho	19,9	18,9	23,8	30,7	70,1	2,4	4,2	16,9
Julho	16,6	18,1	23,3	30,4	69,0	2,5	4,3	17,9
Agosto	7,0	18,1	24,1	31,7	61,1	2,7	5,4	21,8
Setembro	7,6	19,3	25,9	33,7	54,1	2,9	6,3	23,8
Outubro	12,1	20,8	27,6	35,3	50,3	2,7	6,8	25,5
Novembro	22,6	21,8	28,3	36,0	50,8	2,4	6,8	25,7
Dezembro	49,8	22,0	28,0	35,2	54,2	2,1	6,3	24,1
Anual	489,3	20,4	26,1	33,3	61,9	2,3	5,5	22,2

T_N, T_M e T_X - temperatura mínima, média e máxima; UR - umidade relativa do ar; u - velocidade do vento; ET_o - evapotranspiração de referência; R_G - radiação solar global.

Tabela 2

Caracterização física e química do solo no sítio do Domínio de Caatinga, no município de Floresta, PE, no Sertão Central do Brasil.

Prof. cm	Ds	Dp	P total %	pH	P mg dm ⁻³	-----cmolc dm ⁻³ -----						V %	
	---kg dm ⁻³ ---					K	Na	Ca	Mg	H+Al	SB		CTC
0-10	1,44	2,58	44,07	6,3	9,64	5,37	0,68	5,32	1,98	1,03	13,37	14,38	90,6
10-20	1,45	2,52	43,46	6,1	4,24	2,51	1,07	5,37	2,20	1,88	11,12	13,02	85,6
20-30	1,44	2,53	42,76	6,1	3,63	1,29	2,39	5,75	2,23	1,40	11,67	13,07	88,3
30-40	1,46	2,54	42,74	6,2	2,00	1,31	4,84	6,73	2,70	1,32	14,17	15,48	84,7
40-50	1,46	2,56	42,52	6,7	3,69	1,29	8,28	6,73	2,92	0,73	19,23	19,98	94,5
50-60	1,47	2,54	42,38	6,9	20,96	1,62	8,97	6,83	3,05	0,62	20,48	21,10	95,6

Ds - densidade do solo; Dp - densidade da partícula; P total - porosidade total; pH - potencial hidrogeniônico; P - fósforo; K - potássio; Na - sódio; Ca - cálcio; Mg - magnésio; H+Al - acidez Potencial; SB - soma das bases; CTC - capacidade de troca catiônica; V - saturação por Bases.

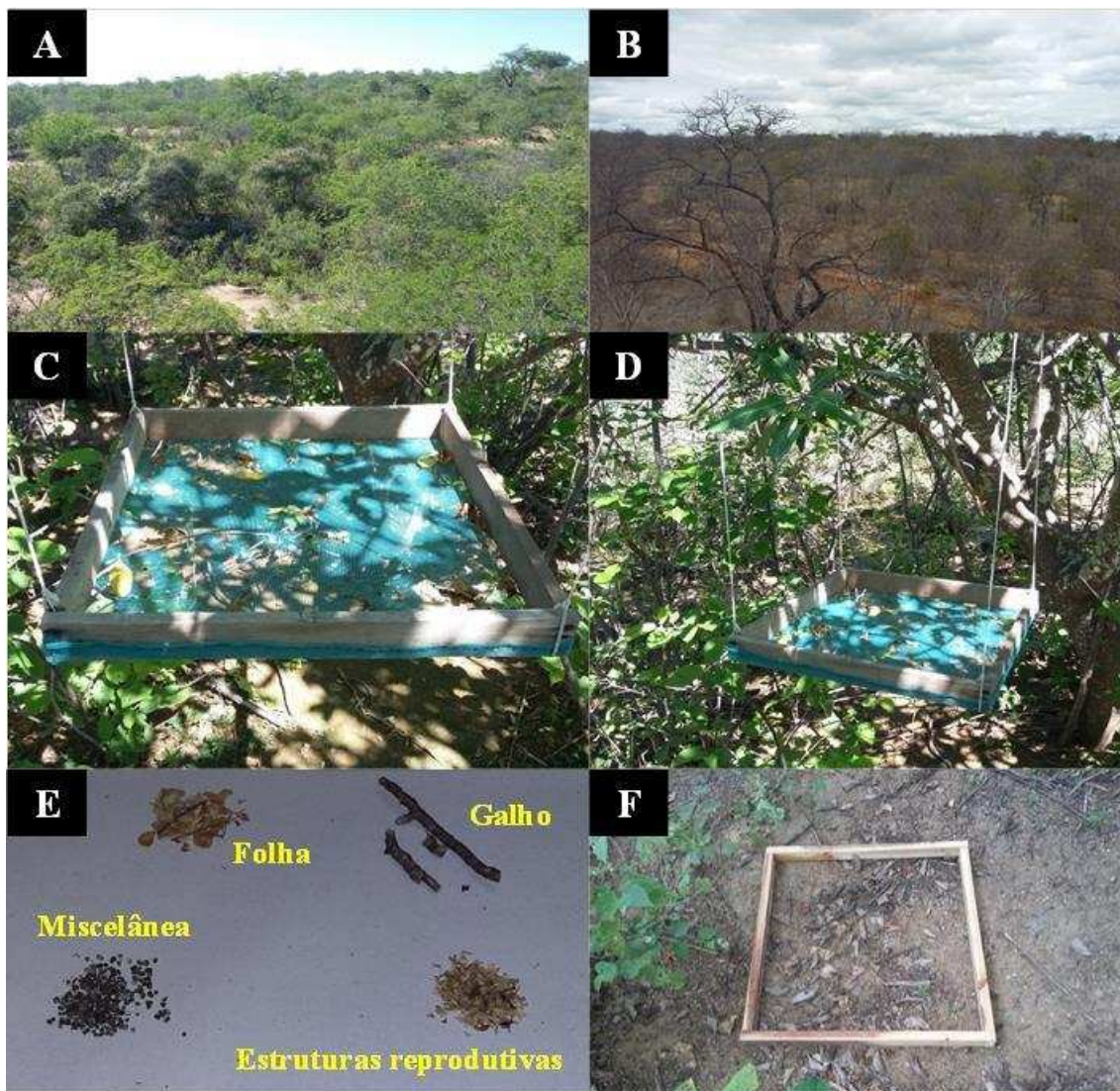


Fig. 1. Aspecto geral do sítio experimental do Domínio de Caatinga: Período chuvoso (A); período seco (B); coletores de serapilheira suspensa (C e D); separação das frações folhas, galhos, estruturas reprodutivas e miscelânea (E), gabarito de madeira para coleta de serapilheira acumulada sobre o solo (F), no município de Floresta, PE, no Sertão Central do Brasil.

Tabela 3

Caracterização de seis espécies predominantes da vegetação de caatinga (valores médios das plantas de cada espécie) utilizadas para monitoramento de deposição de serapilheira, no município de Floresta, PE, no Sertão Central do Brasil.

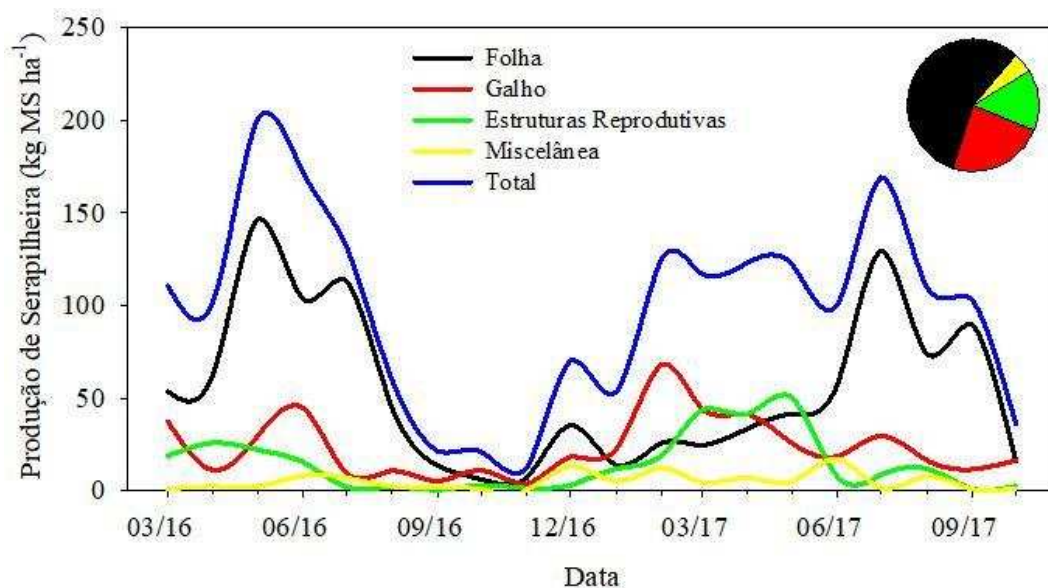
Nome científico	Nome comum	Nº de Fustes	DAP (cm)	Altura (m)	Biomassa (kg planta ⁻¹)
<i>Spondias tuberosa</i>	Umbuzeiro	4	19	5	180
<i>Commiphora leptophloeos</i>	Imburana	3	15	5	317
<i>Cnidoscolus quercifolius</i>	Faveleira	6	6	6,1	33
<i>Aspidosperma pyrifolium</i>	Pereiro	3	7	4	15
<i>Cenostigma pyramidale</i>	Catingueira	4	7	4	6
<i>Croton blanchetianus</i>	Marmeleiro	2	7	4	4

DAP - diâmetro na altura do peito (medido a 1,30 m); Biomassa estimativa pela equação: $0,173 \cdot \text{DAP}^{2,295}$; conforme Sampaio and Silva (2005).

Tabela 4

Valores mensais de precipitação pluviométrica (PT), saldo de radiação (R_N), radiação solar global (R_G), fluxo de calor no solo (G), temperatura média do ar (T), umidade relativa do ar (UR), déficit de pressão de vapor d'água (DPV), direção do vento (DV), velocidade do vento (u), fração interceptada da radiação fotossinteticamente ativa (f_{RFA}), e umidade volumétrica do solo média (0,00-0,60 m) (θ_v), durante o período experimental, no município de Floresta, PE, no Sertão Central do Brasil.

Meses	PT mm	R_N	R_G	G	T °C	UR %	DPV kPa	DV °	u m s ⁻¹	f_{RFA}	θ_v m ³ m ⁻³
Jan-2016	154,0	11,3	17,1	-0,5	26,6	73,9	1,0	142	0,9	0,55	0,09
Fev-2016	27,5	12,9	19,8	-0,7	26,7	67,8	1,2	166	1,2	0,70	0,09
Mar-2016	72,0	11,5	18,6	-0,6	28,8	60,0	1,6	163	1,4	0,62	0,08
Abr-2016	0,2	10,2	16,8	-0,8	28,0	60,4	1,5	165	1,4	0,63	0,09
Mai-2016	34,8	8,8	16,1	-0,7	26,6	63,5	1,3	170	1,4	0,52	0,08
Jun-2016	11,7	7,7	15,1	-0,6	24,9	67,0	1,1	170	1,4	0,42	0,08
Jul-2016	4,0	8,1	16,7	-0,2	24,3	62,3	1,2	171	1,8	0,28	0,08
Ago-2016	0,0	9,3	19,4	0,0	25,4	55,9	1,4	172	1,8	0,29	0,08
Set-2016	0,4	10,1	20,6	0,1	27,4	51,1	1,8	174	2,0	0,32	0,08
Out-2016	0,0	10,6	22,1	0,2	28,9	51,2	2,0	155	2,1	0,31	0,07
Nov-2016	0,0	9,9	20,6	0,0	29,5	52,5	2,0	150	2,0	0,30	0,07
Dez-2016	33,0	9,6	18,3	-0,1	28,0	55,8	1,8	151	1,8	0,29	0,08
Jan-2017	9,0	10,9	20,8	-0,1	29,1	52,0	1,9	167	1,9	0,42	0,08
Fev-2017	54,8	11,1	19,7	0,3	28,6	55,1	1,8	171	1,7	0,44	0,09
Mar-2017	120,0	12,1	19,0	0,5	28,1	60,9	1,5	172	1,3	0,47	0,09
Abr-2017	76,8	11,7	16,9	0,1	26,5	70,3	1,0	170	1,1	0,52	0,12
Mai-2017	45,6	7,8	13,3	0,1	25,6	72,6	0,9	172	1,3	0,50	0,08
Jun-2017	47,8	7,5	14,6	0,1	23,8	77,1	0,7	176	1,5	0,50	0,08
Jul-2017	22,9	6,5	12,9	0,0	21,9	76,3	0,6	178	1,9	0,47	0,06
Ago-2017	3,2	8,9	18,3	0,1	24,2	66,6	1,0	172	1,9	0,36	0,06
Set-2017	1,6	9,1	19,3	0,2	24,8	62,4	1,2	171	2,6	0,32	0,06
Out-2017	0,0	10,8	23,3	0,4	27,4	54,8	1,7	163	2,3	0,31	0,06
Soma ⁽¹⁾ /Média	719,3 ⁽¹⁾	9,8	18,1	-0,1	26,6	62,3	1,4	166	1,7	0,43	0,08



Meses	Total	Folha	Galho	Estr. Reprodutiva	Miscelânea
	-----kg ha ⁻¹ -----				
Mar-2016	110,55±17,7 ^{cdef}	53,47±12,8	37,35±10,1	18,87±5,0	0,87±0,3
Abr-2016	102,40±19,1 ^{cdef}	63,02±15,0	11,19±3,0	25,85±6,9	2,33±0,7
Mai-2016	200,38±38,6 ^a	146,56±35,0	29,29±7,9	22,23±5,9	2,29±0,7
Jun-2016	172,11±28,9 ^{ab}	103,60±24,7	44,86±12,1	15,60±4,1	8,05±2,4
Jul-2016	131,79±26,9 ^{bc}	113,36±27,0	9,36±2,5	2,01±0,5	7,05±2,1
Ago-2016	59,93±11,2 ^{efgh}	44,78±10,7	10,82±2,9	1,96±0,5	2,37±0,7
Set-2016	21,409±13,8 ^{gh}	13,73±8,7	5,07±3,6	0,45±0,4	2,14±2,6
Out-2016	20,92±9,8 ^{gh}	6,14±2,0	11,03±6,2	2,93±3,7	0,82±0,6
Nov-2016	12,35±1,3 ^h	6,94±2,9	3,61±1,8	1,30±1,0	0,50±0,3
Dez-2016	70,29±5,3 ^{defg}	35,57±10,8	18,26±4,5	3,05±1,5	13,41±10,4
Jan-2017	53,16±13,4 ^{fgh}	13,82±8,1	22,36±10,6	11,85±4,7	5,14±2,5
Fev-2017	125,20±27,2 ^{bcd}	25,91±8,6	68,12±23,4	18,99±10,3	12,28±2,9
Mar-2017	116,83±33,3 ^{bcd}	24,48±4,4	44,11±32,4	43,84±14,1	4,40±3,0
Abr-2017	123,22±25,6 ^{bcd}	33,47±18,8	41,29±13,5	41,39±18,8	7,07±4,3
Mai-2017	122,54±34,3 ^{bcd}	41,60±11,2	25,62±10,8	50,43±15,9	4,91±2,8
Jun-2017	100,31±60,0 ^{cdef}	57,11±51,0	18,53±11,5	7,53±6,1	17,14±21,0
Jul-2017	169,32±66,4 ^{ab}	129,81±73,9	29,58±13,6	8,59±4,3	1,35±0,9
Ago-2017	109,96±56,1 ^{cdef}	73,88±36	16,48±13,1	11,79±9,5	7,82±6,6
Set-2017	103,28±76,9 ^{cdef}	89,93±72,1	11,56±5,2	1,04±1,2	0,75±0,5
Out-2017	36,11±7,5 ^{gh}	15,91±5,1	16,44±5,2	2,42±2,4	1,34±0,9
μ Anual	1177	656	285	175	61
%	100	56	24	15	5

Médias na vertical seguidas pela mesma letra minúscula não se diferem entre si ao nível de significância ($\alpha < 0,0001$) pelo teste paramétrico LSD de Fisher.

Fig. 2. Deposição mensal de serapilheira e das frações folha, galhos, estrutura reprodutiva e miscelânea, de espécies vegetais do Domínio de Caatinga, no período de março de 2016 a outubro de 2017, município de Floresta, PE, Sertão Central do Brasil.

Tabela 5

Correlações canônicas e pares canônicos entre o grupo de variáveis respostas (Serapilheira total e por frações) e variáveis explicativas (condições ambientais), no sítio do Domínio de Caatinga, no município de Floresta, PE, no Sertão Central do Brasil.

		Fatores canônicos				
		1°	2°	3°	4°	5°
Variáveis respostas	SRP Total	-0,104	-0,332	0,861	-0,105	0,355
	SRP Estr. Reprodutiva	0,722	-0,574	0,368	-0,113	0,041
	SRP Folha	-0,461	0,051	0,861	-0,184	0,099
	SRP Galho	0,205	-0,562	0,151	0,009	0,787
	SRP Miscelânea	-0,164	-0,412	0,108	0,876	0,154
Variáveis explicativas	T	0,466	0,078	-0,659	-0,076	0,241
	UR	-0,159	-0,529	0,714	0,067	-0,257
	R _N	0,533	-0,054	-0,601	-0,150	0,417
	G	0,121	-0,162	-0,531	0,192	0,007
	R _G	0,090	0,375	-0,856	-0,121	0,165
	RFA(ab)	0,018	0,626	-0,688	0,167	0,066
	f_{RFA}	0,205	-0,669	0,373	-0,382	0,055
	u	-0,452	0,555	-0,481	-0,153	-0,135
	DV	-0,208	-0,432	0,455	-0,192	0,055
	PT	0,409	-0,664	0,130	0,029	0,525
θ_v	0,522	-0,387	0,110	0,309	0,269	
Corr. canônica	0,99**	0,98**	0,92	0,73	0,55	
Qui-quadrado	107	67	31	12	4	
Grau de liberdade	55	40	27	16	7	

**altamente significativo ($P < 0,01$) pelo teste do qui-quadrado.

SRP Total - serapilheira total, SRP Estr. Reprodutiva - serapilheira da fração estruturas reprodutivas, SRP Folha - serapilheira da fração folhas, SRP Galho - serapilheira da fração galhos, SRP Miscelânea - serapilheira da fração miscelânea, T - temperatura do ar, UR - umidade relativa do ar, R_N - saldo de radiação, G - fluxo de calor no solo, R_G - radiação solar global, RFA(ab) - radiação fotossinteticamente ativa abaixo do dossel, f_{RFA} - fração interceptada da radiação fotossinteticamente ativa, u - velocidade do vento, DV - direção do vento, PT - precipitação pluviométrica, θ_v - umidade volumétrica do solo.

Tabela 6

Análise de trilha entre o grupo de variáveis respostas (Serapilheira total e frações) e variáveis explicativas (condições ambientais), no sítio do Domínio de Caatinga, no município de Floresta, PE, no Sertão Central do Brasil.

SRP - Total			SRP - Folha			SRP - Galho			SRP - Estr. Reprodutiva		
D	UR	-0,05	D	T	-0,71	D	fRFA	0,16	D	RFA(ab)	0,09
ID	R _G	0,51	ID	R _N	0,02	ID	u	-0,04	ID	fRFA	-0,23
ID	fRFA	0,07	ID	G	0,00	ID	PT	0,33	ID	u	-0,31
ID	u	0,03	ID	R _G	0,02	ID	θ _v	0,04	ID	PT	-0,14
ID	DV	0,13	ID	RFA(ab)	-0,01		r-total	0,48	ID	θ _v	0,01
	r-total	0,70	ID	DV	-0,03	-	-	-		r-total	-0,58
-	-	-		r-total	-0,71	-	-	-	-	-	-
D	R _G	-0,58	D	R _N	0,02	D	u	0,05	D	fRFA	0,27
ID	UR	0,04	ID	T	-0,59	ID	fRFA	-0,11	ID	RFA(ab)	-0,08
ID	fRFA	-0,08	ID	G	-0,11	ID	PT	-0,40	ID	u	0,33
ID	u	-0,04	ID	R _G	0,02	ID	θ _v	-0,06	ID	PT	0,17
ID	DV	-0,11	ID	RFA(ab)	-0,01		r-total	-0,52	ID	θ _v	-0,01
	r-total	-0,77	ID	DV	-0,01	-	-	-		r-total	0,68
-	-	-		r-total	-0,68	-	-	-	-	-	-
D	fRFA	0,15	D	G	-0,52	D	PT	0,60	D	u	-0,46
ID	UR	-0,02	ID	T	0,01	ID	fRFA	0,09	ID	RFA(ab)	0,06
ID	R _G	0,29	ID	R _N	0,01	ID	u	-0,03	ID	fRFA	-0,19
ID	u	0,05	ID	R _G	0,01	ID	θ _v	0,04	ID	PT	-0,21
ID	DV	0,06	ID	RFA(ab)	-0,01		r-total	0,70	ID	θ _v	0,02
	r-total	0,53	ID	DV	0,00	-	-	-		r-total	-0,79
-	-	-		r-total	-0,51	-	-	-	-	-	-
D	u	-0,07	D	R _G	0,02	D	θ _v	0,08	D	PT	0,32
ID	UR	0,02	ID	T	-0,49	ID	fRFA	0,07	ID	RFA(ab)	-0,04
ID	R _G	-0,33	ID	R _N	0,02	ID	u	-0,04	ID	fRFA	0,15
ID	fRFA	-0,11	ID	G	-0,19	ID	PT	0,34	ID	u	0,31
ID	DV	-0,05	ID	RFA(ab)	-0,01		r-total	0,45	ID	θ _v	-0,01
	r-total	-0,53	ID	DV	-0,02	-	-	-		r-total	0,72
-	-	-		r-total	-0,67	-	-	-	-	-	-
D	DV	0,22	D	RFA(ab)	-0,02	-	-	-	D	θ _v	-0,02
ID	UR	-0,03	ID	T	-0,29	-	-	-	ID	RFA(ab)	-0,03
ID	R _G	0,29	ID	R _N	0,01	-	-	-	ID	fRFA	0,12
ID	fRFA	0,04	ID	G	-0,24	-	-	-	ID	u	0,35
ID	u	0,01	ID	R _G	0,02	-	-	-	ID	PT	0,18
	r-total	0,55	ID	DV	-0,02	-	-	-		r-total	0,61
-	-	-		r-total	-0,54	-	-	-	-	-	-
-	-	-	D	DV	0,04	-	-	-	-	-	-
-	-	-	ID	T	0,49	-	-	-	-	-	-
-	-	-	ID	R _n	-0,01	-	-	-	-	-	-
-	-	-	ID	G	-0,05	-	-	-	-	-	-
-	-	-	ID	R _G	-0,01	-	-	-	-	-	-
-	-	-	ID	RFA(ab)	0,01	-	-	-	-	-	-
-	-	-		r-total	0,46	-	-	-	-	-	-
r ²		0,65	-	-	0,76	-	-	0,50	-	-	0,71
Residual		0,59	-	-	0,49	-	-	0,70	-	-	0,54

SRP Total - serapilheira total, SRP Folha - serapilheira da fração folhas, SRP Galho - serapilheira da fração galhos, SRP Estr. Reprodutiva - serapilheira da fração estruturas reprodutivas, PT - precipitação pluviométrica, T - temperatura média do ar, UR - umidade relativa do ar, R_N - saldo de radiação, G - fluxo de calor no solo, R_G - radiação solar global, RFA(ab) - radiação fotossinteticamente ativa abaixo do dossel, f_{RFA} - fração interceptada da RFA, u - velocidade do vento, DV - direção do vento, θ_v - umidade volumétrica do solo.

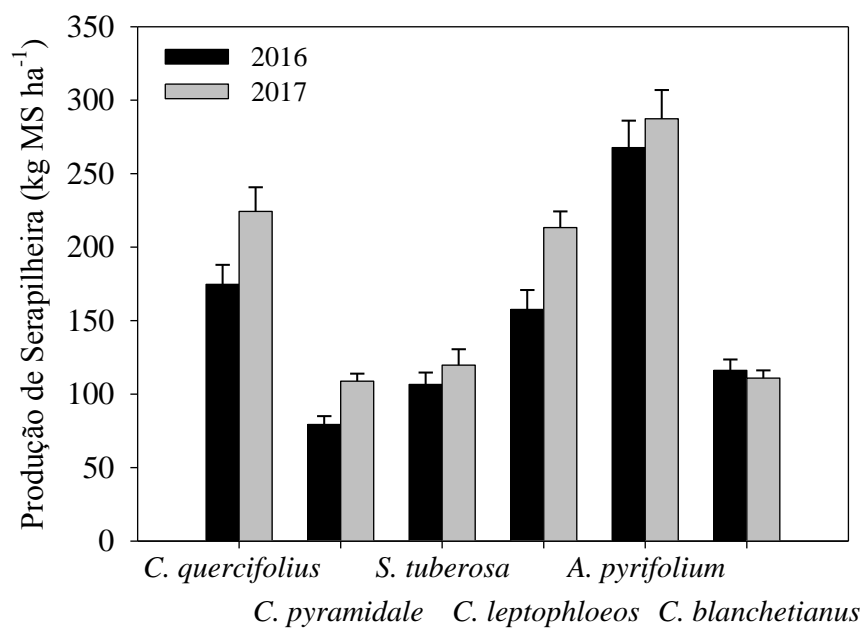


Fig. 3. Produção anual de Serapilheira de seis espécies vegetais do Domínio de Caatinga: 2016 (março a dezembro) e 2017 (janeiro a outubro), no município de Floresta, PE, no Sertão Central do Brasil.

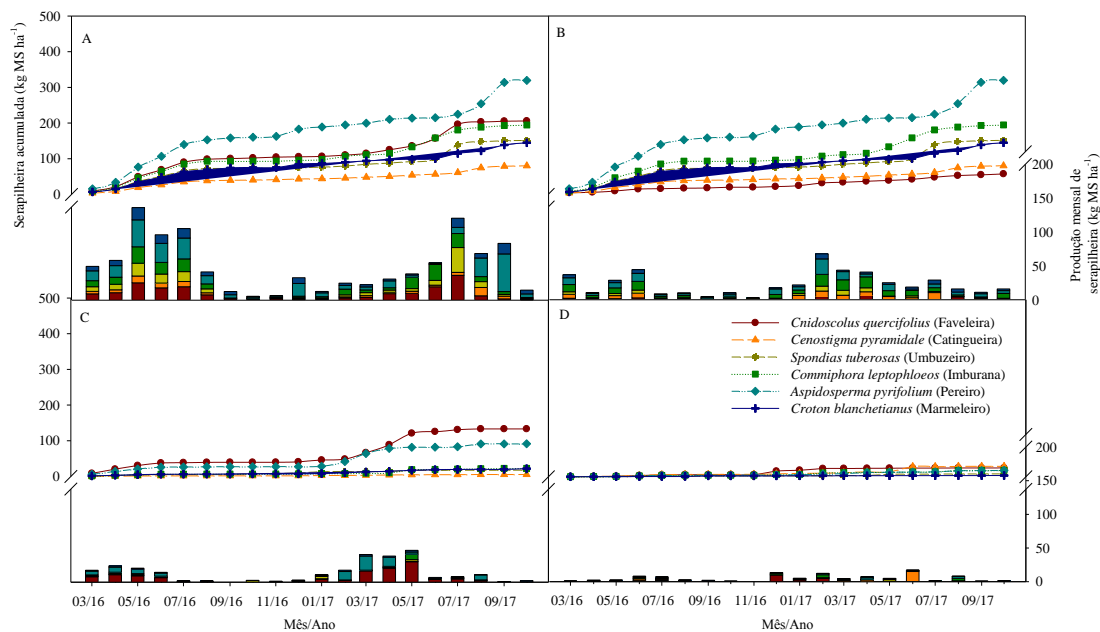


Fig. 4. Serapilheira acumulada mensalmente das frações Folhas (A), Galhos (B), Estruturas reprodutivas (C) e, Miscelânea (D), em seis espécies vegetais do Domínio de Caatinga, no período de março de 2016 a outubro de 2017, no município de Floresta, PE, no Sertão Central do Brasil.

Tabela 7

Determinação da taxa de decomposição (K), tempo médio de renovação (1/K) e tempos de decomposição de 50% ($t_{0,5}$) e 95% ($t_{0,05}$) da serapilheira, no sítio do Domínio de Caatinga, no município de Floresta, PE, no Sertão Central do Brasil.

Período	$K = L/X_{ss}$	1/K	$T_{0,5} = \ln 2/K$	$T_{0,05} = 3/K$
	-	-----anos-----		
Mar/2016 - Out/2017	0,33	3,0	2,1	9,1

L - quantidade de serapilheira produzida anualmente ($\text{kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$); X_{ss} - média anual de serapilheira acumulada sobre o solo ($\text{kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$).

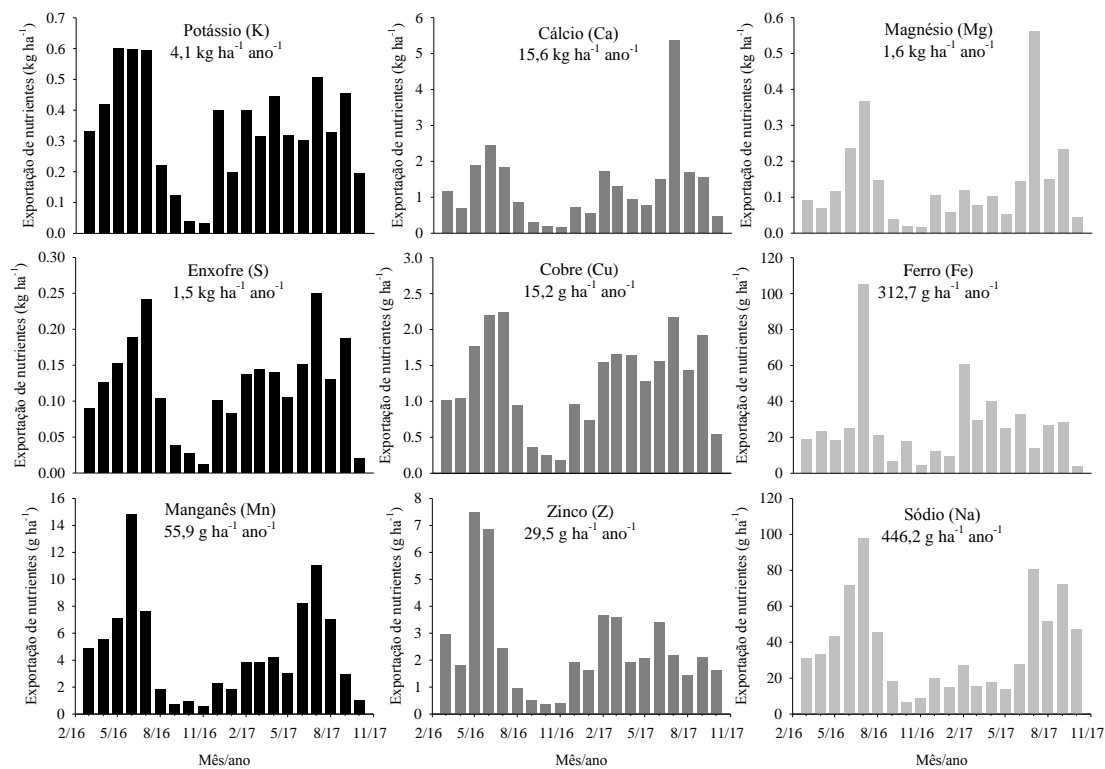


Fig. 5. Variação sazonal da exportação média de nutrientes da vegetação para a serapilheira total no sítio do Domínio de Caatinga, durante os meses de março de 2016 a outubro de 2017, no município de Floresta, PE, no Sertão Central do Brasil.

Tabela 8Deposição anual de serapilheira (kg ha⁻¹ ano⁻¹) em diferentes tipologias brasileiras.

Referência	Deposição	Tipologia vegetal – Local
Este estudo	1.177	Caatinga arbustivo-arbórea, PE
Silva et al. (2015)	1.631	Caatinga estágio avançado de regeneração, PB
Santana e Souto (2011)	2.069	Caatinga arbóreo-arbustiva hiperxerófila, RN
Costa et al. (2010)	3.384	Caatinga hiperxerófila/porte arbóreo, RN
	2.580	Caatinga hiperxerófila/porte arbustivo, RN
Lopes et al. (2009)	2.855	Caatinga hiperxerófila, CE
Andrade et al. (2008)	2.284	Caatinga arbustiva-arbórea fechada, PB
Costa et al. (2007)	2.985	Caatinga hiperxerófila, RN
Alves et al. (2006)	899	Caatinga hiperxerófila, PB
Correia et al. (2016)	4.411	Floresta Ombrófila Densa, ES
	3.177	Floresta em Restauração, ES
Freitas et al. (2015)	8.982	Floresta Ombrófila Densa Montana, ES
Ludvichak et al. 2016)	6.990	Povoamento de <i>Eucalyptus dunnii</i> - Bioma Pampa, RS
Terror et al. (2011)	5.680	Florestas paludosas, MG
Nunes and Pinto (2007)	15.100	Mata mesófila semi-decídua, MG
	11.400	Vegetação ciliar reflorestada, MG
Vital et al. (2004)	10.646	Floresta Estacional Semidecídua, SP
Arato et al. (2003)	10.165	Sistema agroflorestal/espécies arbóreas e frutíferas, MG

CONCLUSÕES GERAIS

O conjunto de dados, extraídos do estudo denominado Impacto do desmatamento na interação biosfera-atmosfera do Domínio Caatinga, gerou resultados pioneiros, que podem nortear futuras pesquisas e trabalhos de campo. Estes resultados podem ampliar estudos dos efeitos da mudança do uso da terra para este domínio e, conseqüentemente, contribuir para o desenvolvimento do manejo e uso sustentável na região semiárida brasileira. Como principais conclusões obtidas na presente pesquisa, destacam-se:

1. A remoção da vegetação de caatinga alterou as características da superfície, reduzindo a energia disponível, com tendência de maiores valores particionados para os fluxos de H e G. Logo, a evapotranspiração em área desmatada foi 10% inferior à área com vegetação de caatinga;
2. A mudança da vegetação de caatinga por áreas sem cobertura vegetal pouco afetou os atributos físico-químicos do solo. Porém, resultou em alterações significativas do clima regional, com diminuição da concentração de vapor d'água no ar e redução das chuvas;
3. A mudança de uso da terra alterou os padrões de distribuição da umidade do solo, resultando em declínios da umidade equivalentes a 26% e 47%, os quais são correspondentes às conversões da vegetação de caatinga em cultivos de palma forrageira e área desmatada, respectivamente;
4. Nas áreas desmatadas, houve perda de interceptação de água pelo dossel equivalente a 18% da precipitação total incidente, com conseqüentes aumentos de 10% no escoamento superficial, os quais foram mais intensos durante as primeiras chuvas;
5. A deposição de serapilheira foi determinada pelas condições ambientais e mecanismos fisiológicos das espécies. Assim, em áreas de caatinga com intervenção antrópica, a perda de matéria seca depositada sobre o solo pode chegar a 1,18 ton. ha⁻¹ ano⁻¹, e 23,76 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de nutrientes deixam de ser exportados ao solo.

APÊNDICE

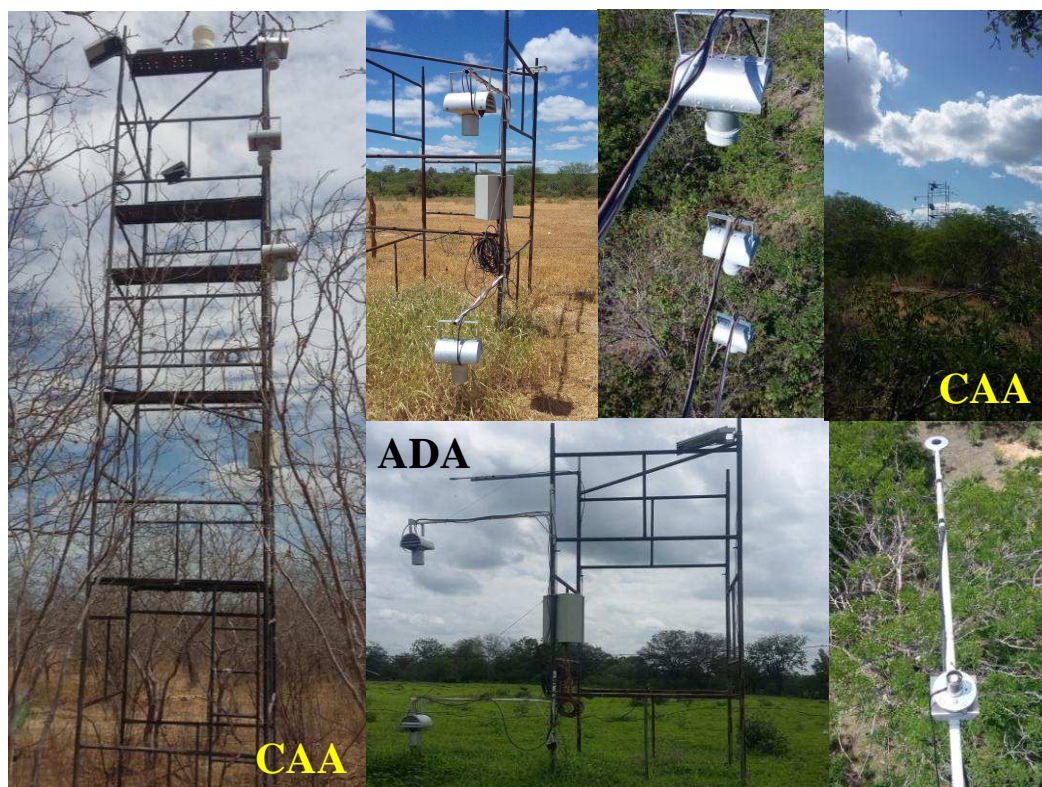


Fig. 1. Torres micrometeorológicas na área de estudo do sistema CAAM-DES-AT: Domínio de Caatinga (CAA) e Área Desmatada Adjacente (ADA), no município de Floresta, PE, no Sertão Central do Brasil.



Fig. 2. Sítio do Domínio de Caatinga, no município de Floresta, PE, no Sertão Central do Brasil.

Caatinga (CAA) – Torre 8 m



Fig. 3. Instrumentação da torre localizada no sítio do Domínio de Caatinga, no município de Floresta, PE, no Sertão Central do Brasil.

**Área Desmatada Adjacente (ADA)
Torre 3 m**

Saldo radiômetro

**2 conjuntos psicrométricos
aspirados**

1 Fluxímetro

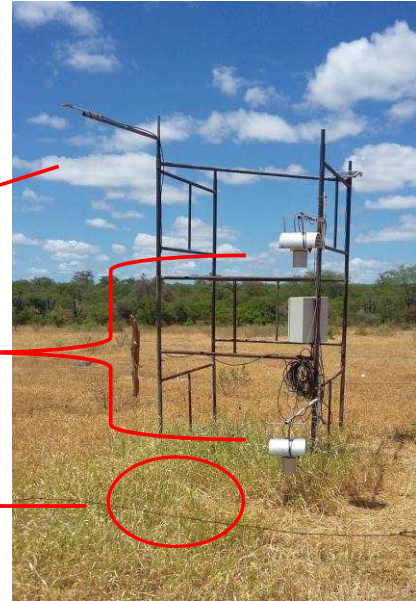


Fig. 4. Instrumentação da torre localizada no sítio Área Desmatada Adjacente, no município de Floresta, PE, no Sertão Central do Brasil.



Fig. 5. Etapas da realização de inventário florestal no sítio do Domínio de Caatinga, no município de Floresta, PE, no Sertão Central do Brasil.

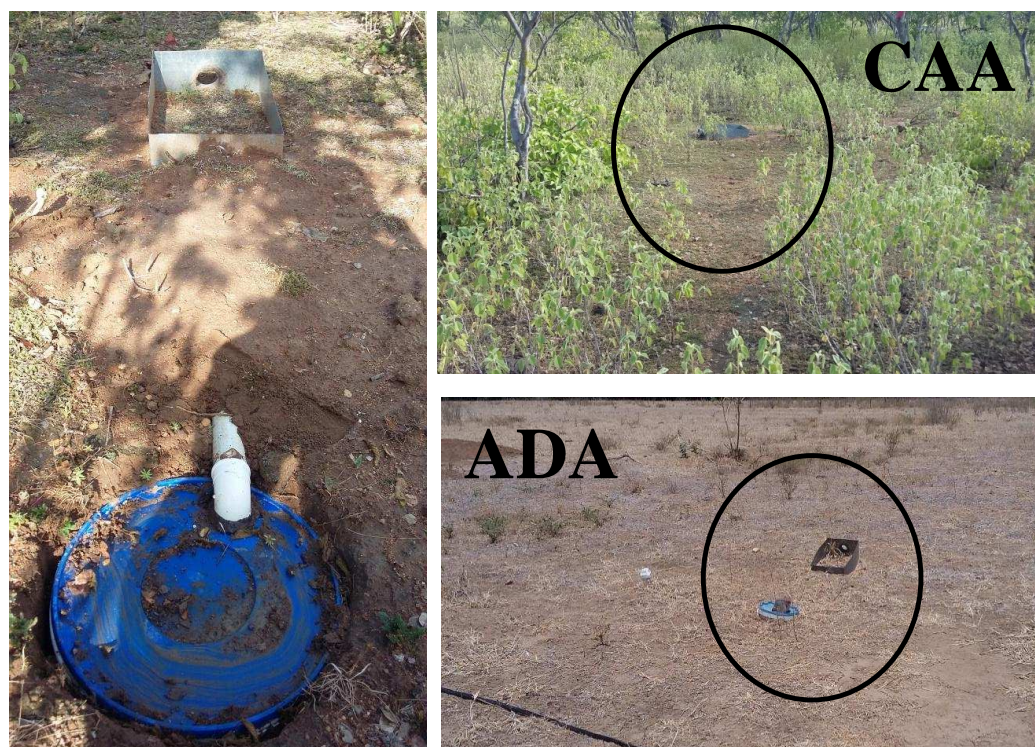


Fig. 6. Calhas de escoamento superficial de água do solo nos sítios do Domínio de Caatinga (CAA) e Área Desmatada Adjacente (ADA), no município de Floresta, PE, no Sertão Central do Brasil.

Pluviômetros de precipitação interna



Calhas de escoamento de água pelo tronco



Fig. 7. Monitoramento da precipitação interna e escoamento de água pelo tronco no sítio do Domínio de Caatinga, no município de Floresta, PE, no Sertão Central do Brasil.



Fig. 8. Medição da radiação fotossinteticamente ativa, utilizando o ceptômetro AccuPAR, no sítio do Domínio de Caatinga, no município de Floresta, PE, no Sertão Central do Brasil.