

DANIELLE DE FÁTIMA GOMES

O ESTABELECIMENTO DE PLANTAÇÕES DE CACTÁCEAS FORRAGEIRAS PODE
REDUZIR A EXPANSÃO DAS ÁREAS EM PROCESSO DE DESERTIFICAÇÃO?

Serra Talhada-PE

2018

DANIELLE DE FÁTIMA GOMES

O ESTABELECIMENTO DE PLANTAÇÕES DE CACTÁCEAS FORRAGEIRAS PODE
REDUZIR A EXPANSÃO DAS ÁREAS EM PROCESSO DE DESERTIFICAÇÃO?

Dissertação apresentada à Universidade Federal Rural de Pernambuco, Unidade Acadêmica de Serra Talhada, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, para obtenção do título de Mestre em Produção Vegetal.

Orientador: Prof. Dr. Thieres George Freire da Silva

Co-orientadores: Prof^a. Dr^a. Luciana Sandra Bastos de Souza e Pesq. Dr^a. Magna Soelma Beserra de Moura

Serra Talhada-PE

2018

G633e Gomes, Danielle de Fátima

O estabelecimento de plantações de cactáceas forrageiras pode reduzir a expansão das áreas em processo de desertificação?/
Danielle de Fátima Gomes. - Serra Talhada, 2018.

64 f. : il.

Orientador: Thieres George Freire da Silva.

Coorientadores: Luciana Sandra Bastos de Souza e Magna Soelma Beserra de Moura

Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Unidade Acadêmica de Serra Talhada, Serra Talhada, PE, 2018.

Inclui referências e apêndices.

1. Interação biosfera - Atmosfera. 2. Desertificação. 3. Água - Distribuição 4. Ação antrópica . I. Silva, Thieres George Freire da, orient. II. Souza, Luciana Sandra Bastos de, coorient. III. Moura, Magna Soelma Beserra de, coorient. IV. Título.

CDD 631

DANIELLE DE FÁTIMA GOMES

O ESTABELECIMENTO DE PLANTAÇÕES DE CACTÁCEAS FORRAGEIRAS PODE
REDUZIR A EXPANSÃO DAS ÁREAS EM PROCESSO DE DESERTIFICAÇÃO?

Dissertação apresentada à Universidade Federal Rural de Pernambuco, Unidade Acadêmica de Serra Talhada, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, para obtenção do título de Mestre em Produção Vegetal.

APROVADA: 22 / 02 / 2018

Banca Examinadora

Thieres George Freire da Silva
Prof. Dr. Thieres George Freire da Silva (UFRPE/UAST)

Orientador

Luciana Sandra Bastos de Souza
Prof.^a. Dr.^a. Luciana Sandra Bastos de Souza (UFRPE/UAST)

Examinadora Externa

André Laurêncio de Melo
Prof. Dr. André Laurêncio de Melo (UFRPE/UAST)

Examinador Externo

Thalyta Soares dos Santos
Pesq. Dr.^a. Thalyta Soares dos Santos (UFRPE/UAST)

Examinadora Externa

Ao meu esposo e aos meus pais que estiveram sempre ao meu lado incondicionalmente em todas as minhas decisões, com todo o amor.

Dedico

AGRADECIMENTOS

A Deus, em primeiro lugar, por ter me dado paciência e não me deixar fraquejar diante dos empecilhos vivenciados e dos “sapos” engolidos durante essa jornada. “Agradecer sempre” aí está o segredo de sempre ser abençoada.

Aos meus pais, Juvenal Pedro e Luzinete Sobrinho pelo apoio e compreensão, minha base, fundamentais também na minha formação como cidadã.

Ao meu irmão Wesley Gomes que compartilha comigo cada vitória, cada derrota, cada lágrima e alegrias.

Ao meu companheiro Lincon Dantas por sempre me orientar e mostrar o sentido da vida, em todos os quesitos do pessoal ao profissional, agradeço por seu amor, cumplicidade, companheirismo e dedicação ao longo de todos os dias.

Aos meus sogros, Jurandir e Elisabete, por todos os ensinamentos, carinho e amor.

Ao meu orientador professor Thieres George por suas orientações.

A minha co-orientadora professora Luciana Sandra pelas sugestões apresentadas. Arrependo-me de não ter procurado durante essa jornada e tenho certeza que, caso isto tivesse ocorrido muita coisa teria sido diferente.

Aos membros da banca (pesquisadora Thalyta Soares e o professor André Laurênio) pelas importantes contribuições.

Ao Grupo de Agrometeorologia no Semiárido - GAS pelo auxílio na execução das atividades, comprometimento e todo profissionalismo. Sou grata aos membros que direta ou indiretamente contribuíram na execução deste trabalho e me ajudaram a chegar até o fim. Em especial a Carlos André pelo apoio em campo, ensinamentos e palavras de incentivo. Desejo-lhe muito sucesso!

Aos proprietários da Fazenda Algodões (Sr. Luiz, Dona Socorro, Gorete e Carlos André) pelo apoio e a infraestrutura cedida para a realização deste estudo.

A todos os professores e técnicos que integram o Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal (PGPV) da UFRPE-UAST, pela importante contribuição para minha formação.

Aos colegas e amigos do PGPV, Padre Antônio, Luana Pádua, Thialla Amorin, Maria Helena, Andréa Santos, Elizângela Nunes, Maria Aparecida (Cidinha), Franquiele Oliveira, George Júnior e Alexandre Maniçoba. Em especial, à Aline Oliveira e à Valdilene Melo pelo

apoio incondicional dentro e fora da universidade. Por dividirem comigo alegrias, tristezas e por todo carinho e incentivo.

Aos familiares e amigos que de uma forma ou outra estiveram ao meu lado durante estes dois anos de caminhada.

À Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia de Pernambuco (FACEPE), pelo financiamento do projeto.

Ao CNPq, pelo apoio financeiro.

Enfim, minha eterna gratidão!

- ¹*Tudo tem o seu tempo determinado, e há tempo para todo o propósito debaixo do céu.*
- ²*Há tempo de nascer, e tempo de morrer; tempo de plantar, e tempo de arrancar o que se
plantou;*
- ³*Tempo de matar, e tempo de curar; tempo de derrubar, e tempo de edificar;*
- ⁴*Tempo de chorar, e tempo de rir; tempo de prantear, e tempo de dançar;*
- ⁵*Tempo de espalhar pedras, e tempo de ajuntar pedras; tempo de abraçar, e tempo de
afastar-se de abraçar;*
- ⁶*Tempo de buscar, e tempo de perder; tempo de guardar, e tempo de lançar fora;*
- ⁷*Tempo de rasgar, e tempo de coser; tempo de estar calado, e tempo de falar;*
- ⁸*Tempo de amar, e tempo de odiar; tempo de guerra, e tempo de paz.*

(Eclesiastes).

RESUMO

GOMES, Danielle de Fátima, M.Sc., Universidade Federal Rural de Pernambuco, Unidade Acadêmica de Serra Talhada, fevereiro de 2018. **O estabelecimento de plantações de cactáceas forrageiras pode reduzir a expansão das áreas em processo de Desertificação?** Orientador: Prof. Dr. Thieres George Freire da Silva, Co-orientadores: Prof^{ra}. Dr. Luciana Sandra Bastos de Souza e Pesq. Dr^a. Magna Soelma Beserra de Moura.

A compreensão sobre as principais consequências hidrodinâmicas e biofísicas promovidas pela mudança do uso do solo, vem sendo investigada por muitos pesquisadores. Entretanto, pouco se sabe como o estabelecimento de plantações de cactáceas forrageiras pode minimizar os impactos promovidos pelas ações antropogênicas sobretudo em área em processo de desertificação. Nesse contexto, o objetivo desta pesquisa é investigar a cobertura vegetal, as variáveis hidrodinâmicas e meteorológicas de uma área de caatinga com perturbação antrópica (CPA) em comparação a uma área com indícios de desertificação (AID) e outra com agroecossistema de cactáceas (AAC, *Opuntia stricta* (Haw.) Haw.) palma forrageira, clone Orelha de Elefante Mexicana. O experimento foi conduzido na Fazenda Algodões (8,31° S, 38,51° O e 348 m), no município de Floresta – PE, durante o período de agosto de 2016 e agosto de 2017. O índice de cobertura vegetal (ICV) na CPA e na ACC foram utilizados três sensores PAR linear (SQ-321 Calibration Line Quantum Net10 sensors, Apogee, Logan, Utah, USA), ambos acoplados à estrutura das torres micrometeorológicas. Na AID o ICV foi monitorado por meio de um ceptômetro (AccuPAR, LP-80, Decagon Devices, Pullman, EUA). Adicionalmente, foi feita a análise do solo para caracterização das propriedades físico-hídricas no início do experimento e ao longo do tempo foram feitas medições do conteúdo de água no solo. Dados diários dos elementos meteorológicos foram obtidos a partir de três torres micrometeorológicas instaladas uma em cada área (CPA, AID e AAC). Os resultados revelaram que a mudança do uso do solo de áreas de caatinga com perturbação antrópica por áreas com indícios de desertificação implicou numa redução da cobertura vegetal de 41% para 17%. A variação de armazenamento de água (CAS) acompanhou o comportamento da precipitação, sendo maior na área de caatinga com perturbação antrópica ($\mu = 0,109 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$), mesmo esta apresentando histórico de criação de animal de pequeno porte. A temperatura média do ar (T_m) indica que existe uma maior absorção de calor na área de agroecossistema de cactáceas (8,3°C) que resultou num aquecimento do ar superior nesse ambiente. A sazonalidade da umidade relativa do ar (UR) foi influenciada pelo tipo de cobertura vegetal, resultando em maior média para a área com indícios de desertificação ($\mu = 64,5\%$) e uma menor para a área de caatinga com perturbação antrópica ($\mu = 62,0\%$). Todavia, a interação entre a elevada temperatura e a baixa umidade relativa do ar resultou num elevado déficit de pressão de vapor (DPV) para a área de agroecossistema de cactáceas ($\mu = 1,54 \text{ kPa}$). O saldo de radiação (R_n) variou em resposta a disponibilidade hídrica após os eventos de chuva, apresentando menores valores para a área com indícios de desertificação ($\mu = 9,8 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$). Assim, conclui-se que a mudança do uso do solo altera os padrões hidrometeorológicos e da cobertura vegetal em interface superfície-atmosfera. Dessa forma, os resultados sugerem que o estabelecimento de áreas agrícolas com plantas cactáceas forrageiras *Opuntia stricta* (Haw.) Haw pode reduzir a expansão das ambientes em processo de Desertificação, sobretudo na região do Semiárido.

Palavras-chave: Ações antrópicas, interação biosfera-atmosfera, disponibilidade de água.

ABSTRACT

GOMES, Danielle de Fátima, M.Sc., Universidade Federal Rural de Pernambuco, Unidade Acadêmica de Serra Talhada, fevereiro de 2018. **Can the establishment of forage cactus plantations reduce the expansion of areas undergoing desertification?** Orientador: Prof. Dr. Thieres George Freire da Silva, Co-orientadores: Prof^a. Dr. Luciana Sandra Bastos de Souza e Pesq. Dr^a. Magna Soelma Beserra de Moura.

Understanding the main hydrodynamic and biophysical consequences of land use change has been investigated by many researchers. However, little is known about how the establishment of forage cactus plantations can minimize the impacts promoted by anthropogenic actions especially in areas in the process of desertification. In this context, the objective of this research is to investigate the vegetation cover, the hydrodynamic and meteorological variables of an area of caatinga with anthropic disturbance (CPA) in comparison to an area with signs of desertification (AID) and another with cacti agroecosystem, *Opuntia stricta* (Haw.) Haw.) Forage palm, Mexican Elephant Ear clone. The experiment was conducted at Fazenda Algodões (8.31 ° S, 38.51 ° W and 348 m), in the municipality of Floresta - PE, during the period of August 2016 and August 2017. CPA and ACC were used three linear PAR sensors (SQ-321 Calibration Line Quantum Net10 sensors, Apogee, Logan, Utah, USA), both coupled to the structure of the micrometeorological towers. In AID, ICV was monitored by means of a ceptometer (AccuPAR, LP-80, Decagon Devices, Pullman, USA). In addition, soil analysis was carried out to characterize the physical-water properties at the beginning of the experiment, and measurements of soil water content were made over time. Daily data of the meteorological elements were obtained from three micrometeorological towers installed one in each area (CPA, AID and AAC). The results showed that the change in the soil use of caatinga areas with anthropogenic disturbance by areas with signs of desertification implied a reduction in plant cover from 41% to 17%. The water storage variation (CAS) followed the precipitation behavior, being higher in the caatinga area with anthropic disturbance ($\mu = 0.109 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$), even presenting a history of small animal rearing. The mean air temperature (Tm) indicates that there is a greater heat absorption in the cactaceous agroecosystem area (8.3°C) which resulted in higher air heating in that environment. The seasonality of relative air humidity (RAH) was influenced by the vegetation cover type, resulting in a higher mean for the area with signs of desertification ($\mu = 64.5\%$) and a lower one for the caatinga area with anthropic disturbance ($\mu = 62.0\%$). However, the interaction between the high temperature and the low relative humidity of the air resulted in a high vapor pressure deficit (VPD) for the area of cacti agroecosystems ($\mu = 1.54 \text{ kPa}$). The radiation balance (Rn) varied in response to water availability after rainfall events, presenting lower values for the area with signs of desertification ($\mu = 9.8 \text{ MJ m}^{-2} \text{ day}^{-1}$). Thus, the results suggest that the establishment of agricultural areas with forage cactus plants *Opuntia stricta* (Haw.) Haw can reduce the expansion of the environments in Desertification process, especially in the semi-arid region.

Keywords: Anthropogenic actions, biosphere-atmosphere interaction, water availability.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 3.1 - Localização da torre micrometeorológica na área de caatinga com perturbação antrópica (CPA), durante a estação chuvosa (a) e seca (b) no município de Floresta, PE, Semiárido brasileiro.....53
- Figura 3.2 - Localização da torre micrometeorológica na área com indícios de desertificação (AID) durante a estação chuvosa (a) e seca (b) em Floresta, PE, Semiárido brasileiro. ..54
- Figura 3.3 - Localização da torre micrometeorológica na área de agroecossistema de cactáceas (AAC), no município de Floresta, PE, Semiárido brasileiro.55
- Figura 3.4 - Sensor PAR linear, instalado abaixo do dossel (SQ-321 Calibration Line Quantum Net10 sensors, Apogee, Logan, Utah, USA) próximo às plantas (RFALI, MJ m⁻² d⁻¹) utilizados na área de caatinga com perturbação antrópica (CPA) durante a estação chuvosa (a) e seca (b).....56
- Figura 3.5 - Sensor PAR linear, instalado abaixo do dossel (SQ-321 Calibration Line Quantum Net10 sensors, Apogee, Logan, Utah, USA) próximo às plantas (RFALI, MJ m⁻² d⁻¹) utilizados na área de agroecossistema de cactáceas (AAC) após o corte (a) e antes do corte (b).56
- Figura 3.6 - Sensor de radiação linear fotossinteticamente ativa (PAR), AccuPAR (modelo LP-80) utilizado na área com indícios de desertificação (AID) para a mensuração acima (a) e abaixo (b) do dossel.....56
- Figura 3.7 - Índice de cobertura vegetal (decimal) na área de caatinga com perturbação antrópica, desmatada para fins agrícolas e com agroecossistema de cactáceas no Semiárido brasileiro.....57
- Figura 3.8 - Umidade do solo (m³ m⁻³) na área de caatinga com perturbação antrópica, desmatada para fins agrícolas e com agroecossistema de cactáceas no Semiárido brasileiro.....58
- Figura 3.9 - Temperatura do ar (°C) em área de caatinga com perturbação antrópica, desmatada para fins agrícolas e com agroecossistema de cactáceas no Semiárido brasileiro.....59
- Figura 3.10 - Umidade relativa do ar (%) em áreas de caatinga com perturbação antrópica, com indícios de desertificação e agroecossistema de cactáceas no Semiárido brasileiro.60

Figura 3.11 - Déficit de pressão de vapor d'água (kPa) em áreas de caatinga com perturbação antrópica, com indícios de desertificação e agroecossistema de cactáceas no Semiárido brasileiro.....	61
Figura 3.12 - Saldo de radiação ($\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$) em áreas de caatinga com perturbação antrópica, com indícios de desertificação e agroecossistema de cactáceas no Semiárido brasileiro.....	62

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 - Características dos núcleos de desertificação. Adaptado de MMA (2011).....	21
Tabela 2.2 - Alguns exemplos de indicadores de desertificação.....	22
Tabela 3.1 - Dados climatológicos (1961-1990) do município de Floresta – PE (INMET, 2017).....	51
Tabela 3.2 - Características físicas do perfil do solo (0 a 0,60 m) dos sítios experimentais....	51
Tabela 3.3 - Composição das torres micrometeorológicas instaladas na área de caatinga com perturbação antrópica (CPA), na área com indícios de desertificação (AID) e na área de agroecossistema com cactáceas (AAC), em Floresta – PE.	52

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AAC	Área de agroecossistema de cactáceas	-
AID	Área com indícios de desertificação	-
CVA	Análise vetorial de mudança	-
CAS	Conteúdo de água no solo	-
CPA	Área de caatinga com perturbação antrópica	-
CV	Coefficiente de variação	%
DTRI	Risco de Tendência da Desertificação	-
DPV	Déficit de pressão de vapor	kPa
da	Densidade do solo	kg dm ⁻³
ds	Densidade de partículas	kg dm ⁻³
dm	Decímetro	-
Eto	Evapotranspiração de referência	mm
Ia	Índice de aridez	-
ICV	Índice de cobertura vegetal	-
kg	Quilograma	-
kPa	Quilopascal	-
MAC	Metabolismo ácido das crassuláceas	-
MMA	Ministério do meio Ambiente	-
mm	Milímetro	-
m	Metros	-
m ²	Metros Quadrados	-
MJ	Megajoules	-
NDVI	Índice de Vegetação por Diferença Normalizada	-
P	Precipitação pluviométrica	mm
Pt	Porosidade total	%
RFA	Radiação fotossinteticamente ativa	MJ m ⁻² d ⁻¹
Rg	Radiação solar global	MJ m ⁻² dia ⁻¹
Rn	Saldo de radiação solar	MJ m ⁻² dia ⁻¹
SAB	Semiárido brasileiro	-
TGSI	Tamanho de partículas do solo	-
Tm	Temperatura média do ar	°C

Tx	Temperatura máxima do ar	°C
Tn	Temperatura mínima do ar	°C
UR	Umidade relativa do ar	%
VV	Velocidade do vento	m s ⁻¹

LISTA DE SÍMBOLOS

σ	Desvio padrão	-
%	Percentual	-
θ	Conteúdo de água	$\text{m}^3 \text{m}^{-3}$
μ	Média	-

SUMÁRIO

RESUMO	vi
ABSTRACT	vii
LISTA DE FIGURAS	viii
LISTA DE TABELAS	x
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	xi
LISTA DE SÍMBOLOS	xiii
1 INTRODUÇÃO	16
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
2.1 CARACTERIZAÇÃO AMBIENTAL DO SEMIÁRIDO BRASILEIRO (SAB).....	17
2.2 ATIVIDADES FORÇANTES A MUDANÇA DO USO DO SOLO	18
2.3 PROCESSO DE DESERTIFICAÇÃO	20
2.4 INDICADORES DE DESERTIFICAÇÃO	21
2.5 INTERAÇÃO BIOSFERA-ATMOSFERA E AS CONSEQUÊNCIAS DO AMBIENTE A MUDANÇA DO USO DO SOLO	23
2.6 ESTABELECIMENTO DE CULTIVOS DE CACTÁCEAS FORRAGEIRAS: ÊNFASE PARA A PALMA.....	26
3 MODIFICAÇÕES DA COBERTURA VEGETAL E HIDROMETEOROLÓGICAS PROMOVIDAS PELA MUDANÇA DO USO DO SOLO NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO	28
RESUMO	29
ABSTRACT	30
3.1 INTRODUÇÃO	31
3.2 MATERIAL E MÉTODOS	32
3.2.1 Área de estudo	32
3.2.2 Caracterização das áreas	32
3.2.3 Índice de cobertura vegetal (ICV)	33

3.2.4	Variáveis hidrodinâmicas	34
3.2.5	Avaliações micrometeorológicas	35
3.2.6	Análise estatística	35
3.3	RESULTADOS E DISCUSSÕES	35
3.3.1	Índice de cobertura vegetal (ICV)	35
3.3.2	Variáveis hidrodinâmicas	37
3.3.3	Avaliações micrometeorológicas	38
3.4	CONCLUSÕES	41
4	REFERÊNCIAS	42
	APÊNDICE	51

1 INTRODUÇÃO

Os ecossistemas áridos e semiáridos são marcados por apresentar longos períodos de estiagem. Essas regiões compreendem uma área de 30-41% da superfície continental do Planeta e abrigam uma população de 2 bilhões de habitantes (MEA, 2005; SACO et al., 2007; RIBEIRO et al., 2016). No Brasil, a região Semiárida abrange uma área de 1,03 km² e reúne parte da região Nordeste e Sudeste (MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL, 2017a).

A região Semiárida, ocupada predominantemente pelo bioma Caatinga vem sofrendo forte pressão antropogênica sobre os recursos naturais em função da mudança da cobertura vegetal por outras superfícies vegetadas, sobretudo pastagens e culturas agrícolas. Essas atividades podem resultar em alterações significativas na interação entre a biosfera e a atmosfera (MMA, 2005; MMA, 2011). Dentre as principais alterações pode-se destacar modificações no albedo e rugosidade, os quais são determinantes nos fluxos de água, energia e suas partições. Alterações na capacidade de armazenamento de água no solo e no microclima local. Logo, atividades ligadas a mudança do uso do solo podem alterar a dinâmica de água e do clima, o que pode culminar em processos mais severos como a desertificação (CUNHA et al., 2013; D'ODORICO et al., 2013; SALAZAR et al., 2016; ZHANG et al., 2016). PIRONE et al., 2016; WANG e YAN, 2017).

Numerosos trabalhos têm reportado as possíveis alterações (hidrodinâmicas e biofísicas) ocorridas no bioma Caatinga em função da mudança do uso do solo (TEIXEIRA et al., 2008; CAVALCANTE, 2016). Porém, pouco se sabe sobre a dinâmica ambiental no estabelecimento de áreas agrícolas com plantas cactáceas forrageiras em superfícies com indícios de desertificação. Podendo mencionar apenas o trabalho desenvolvido por Figueiredo (2012) em áreas em processo de desertificação no Semiárido da Paraíba.

Haja vista sua relevância social e cultural e sabendo-se que constituem o principal meio de subsistência de animais de pequeno porte, o estabelecimento de plantações de cactáceas forrageiras *Opuntia stricta* (Haw.) Haw. (palma forrageira, clone Orelha de Elefante Mexicana) torna-se uma medida mitigadora com intuito de minimizar os impactos resultantes do antropismo desenfreado, resultante de área com indícios de desertificação, em área do Semiárido brasileiro. A palma é uma espécie que tolera as condições edafoclimáticas da região devido as suas características fisiológicas e morfológicas, sendo de crescimento e desenvolvimento relativamente rápido quando comparadas as espécies nativas da região. E

podem funcionar como uma medida de contenção de erosão do solo em função do formato dos cladódios (FIGUEIREDO, 2012).

Neste contexto, tornam-se relevantes e necessários estudos ambientais sobre o estabelecimento de plantações de cactáceas forrageiras em áreas em processo de desertificação, sobretudo no Semiárido brasileiro. Essas informações podem possibilitar a definição de políticas públicas de preservação da vegetação nativa, adequação da população aos cenários futuros do clima e a geração de processos de produção sustentável.

Dessa forma o objetivo deste estudo foi investigar a cobertura vegetal, e as variáveis hidrodinâmicas e meteorológicas de uma área de caatinga com perturbação antrópica (CPA) em comparação a uma área com indícios de desertificação (AID) e outra com agroecossistema de cactáceas (AAC, *Opuntia stricta* (Haw.) Haw.) na região do Semiárido brasileiro.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 CARACTERIZAÇÃO AMBIENTAL DO SEMIÁRIDO BRASILEIRO (SAB)

Os ecossistemas Áridos e Semiáridos recobrem de 30-41% da superfície continental do Planeta e abrigam uma população de 2 bilhões de habitantes (MEA, 2005; SACO et al., 2007; RIBEIRO et al., 2016). No Brasil, a região Semiárida compreende uma área de 1,03 km² e reúnem 1.189 municípios, dos estados de Alagoas, Bahia, Ceará, Paraíba, Pernambuco, Piauí, Sergipe, Rio Grande do Norte e parte de Minas Gerais (MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL, 2017a).

Com uma precipitação anual igual ou inferior a 800 mm, umidade relativa do ar de 50% em média e evaporação em torno de 2.000 mm ano⁻¹, essa região, tipicamente, apresenta temperaturas relativamente altas, forte insolação e sazonalidade no regime de chuvas, que são concentradas, sobretudo na estação seca. São marcadas ainda por apresentar um balanço hídrico negativo, ou seja, evapotranspiração potencial superior a precipitação, o que resulta numa perda expressiva na disponibilidade de água da região (MOURA et al., 2007; ARAÚJO, 2011).

A disponibilidade de água limitada dessas regiões é controlada ano a ano por condicionantes climáticos globais, que regulam o movimento, duração e a intensidade da zona de convergência intertropical, principal fenômeno atmosférico regulador do regime de chuvas sobre o Semiárido brasileiro (NOBRE et al., 2011).

Importante ressaltar que um percentual dos solos da região apresenta menores capacidades de retenção de água da chuva em decorrência das diferentes características (formação e textura) (GARIGLIO et al., 2010). À presença de solos cristalinos na maior parte da superfície, restringem o abastecimento dos aquíferos subterrâneos e tornam os processos químicos mitigados (ARAÚJO, 2011; MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL, 2017b).

A cobertura vegetal, por sua vez, é representada por espécies xerofíticas, caducifólias e bastante toleráveis as condições climáticas da região, estando distribuídas em espécies arbóreas (8-12 m), arbustivas (2-5 m) e herbáceas (abaixo de 2 m). Apresenta uma diversidade de espécies vegetais, dentre elas as endêmicas, que lhe atribui um enorme potencial para uso econômico (alimentação humana, propriedades medicinais, forragem animal e fins energéticos) (MMA, 2011).

Trabalhos têm mostrado que entre 2008-2009, a Caatinga perdeu cerca de 1.921,18 km² da sua cobertura vegetal, o equivalente a 0,23% da superfície total do bioma. Por unidade de federação, em termos de área absoluta, o estado de Pernambuco perdeu 167,77 km² da vegetação nativa (o equivalente a 0,21%) baseada na área total do bioma no estado que são 81.387 km² (MMA-IBAMA, 2010).

Silva et al. (2013) avaliaram o efeito da mudança do uso do solo no município de Floresta, PE, no período de 21 anos (1987 a 2008) por meio de imagens de satélite LANDSAT 5. Os autores evidenciaram que cerca de 15% da cobertura vegetal foi removida em decorrência da interação entre fatores climáticos característicos da região e antropogênicos (atividades agrícolas e agropecuária de pequeno porte). Fernandes et al. (2015) também constataram uma aumento nas taxas de desmatamento (26%) na região semiárida de Sergipe correspondente ao período 1992, 2003 e 2013. Isto devido à conversão da vegetação nativa em áreas de pastagens.

2.2 ATIVIDADES FORÇANTES A MUDANÇA DO USO DO SOLO

Na região do Semiárido brasileiro, a combinação das características do solo e clima confere à população a necessidade de buscar opções de sobrevivência sob a disponibilidade hídrica limitada (MARENGO et al., 2011). Essas restrições ambientais, associadas a fatores sociais, condicionam a exploração não sustentável dos recursos naturais e provocam a degradação (desmatamento, queimadas, etc.) do bioma Caatinga (MMA, 2011), sobretudo

pela expansão da pecuária, sobrepastejo e modificação da vegetação nativa por práticas de cultivo agrícola (ALVES et al., 2009).

Os sistemas de produção agrícola é um processo de seleção contínua que incorpora espécies de certa importância econômica (milho, feijão, algodão, mandioca, mamona e agave) em um determinado espaço (GIULIETTI et al., 2004). É uma atividade que está sujeita às vulnerabilidades do clima característicos da região (MMA, 2011).

Superpostas às altas temperaturas e pouca disponibilidade hídrica, as atividades agrícolas cederam lugar a plantações de plantas forrageiras ou aberturas de pastos. Nesse contexto, a agricultura itinerante foi criando uma diversidade de paisagens com diferentes tempos de regeneração (GARIGLIO et al., 2010). As atividades agrícolas destinadas à prática de pastagem representam 75% da superfície terrestre, destas, 20% corresponde à área total do país. Trabalhos têm demonstrado que entre as pastagens cultivadas no Brasil, cerca de 80% já se encontram em alguma situação de degradação (PERON e EVANGELISTA, 2004; FAGUNDES et al., 2011).

Atividades de pecuária extensiva, quando mal conduzidas contribuem para a redução da quantidade de matéria orgânica, enfraquecendo a estrutura do solo, resultando em processos de erosão (eólica ou hídrica), que por sua vez extrai a argila e o silte, desfigurando sua textura nas camadas superficiais. A porosidade e a densidade são características inversas, de modo que, solos porosos apresentam baixa densidade enquanto que solos compactados apresentam baixa porosidade. A redução na capacidade de infiltração e retenção de água e de biomassa disponível acima do solo pode culminar em alterações no ciclo hidrológico por meio da pouca capacidade de infiltração de água para as camadas mais profundas (DIAS-FILHO e FERREIRA, 2009; ARAÚJO FILHO, 2013; OLIVEIRA et al., 2016; SCHULZ et al., 2016).

Reichert et al. (2007) afirma que a compactação do solo é um procedimento antigo e foi intensificado com o uso de tecnologias modernas para a intensificação de atividades agrícolas (processo de mecanização). Esses autores também destacaram que a compactação em áreas agrícolas e em pastagens ocorre, geralmente, nas camadas mais superficiais (até 20 cm).

Sob essa perspectiva, a interação entre a biosfera e a atmosfera pode ser alterada a partir do avanço dessas práticas. Sob a perspectiva que a pressão antropogênica sobre os recursos naturais por meio da remoção da cobertura vegetal para o estabelecimento de áreas agrícolas, de pastagens e sobrepastejo estão entre as atividades mais impactantes em áreas da Caatinga. Estes processos associados à alta variabilidade climática da região podem

desencadear o empobrecimento dos elementos naturais e culminar em outros processos mais impactantes (i.e. desertificação) (OYAMA e NOBRE, 2003; SILVA e ALCÂNTARA, 2009; MMA, 2011).

2.3 PROCESSO DE DESERTIFICAÇÃO

Em 1977, em Nairóbi, Quênia, a Conferência das Nações Unidas sobre Desertificação, conceituou o “processo de desertificação” como um sinônimo de degradação das terras em razão da seca prolongada ocorrida no Sahel, região da África subsaariana. Desde então, este processo passou a ser mencionado como um problema de âmbito ambiental devido aos impactos ocasionados no local (DREGNE, 2002).

A desertificação é definida como uma perturbação ambiental que atinge principalmente os ecossistemas de clima áridos, semiáridos e subúmidos secos. Trata-se de um processo lento, resultante da forte pressão antropogênica sobre os recursos naturais e da variação climática (MMA, 2005).

Por muito tempo tem se debatido a diferença entre os termos “desertificação” e “desertização” ou formação de desertos. O primeiro termo deve ser usado para a implicação do manejo inadequado dos recursos naturais em ambientes áridos, enquanto que o segundo e desertos como resultado da variação do clima (MMA, 2009).

O conceito oficial de desertificação classifica as áreas susceptíveis a este processo através do índice de aridez (Ia). Neste caso, o clima é considerado árido quando a razão estiver entre 0,05 e 0,20; entre 0,21 e 0,50, o clima é caracterizado como semiárido; são consideradas subúmido seco quando estiver entre 0,51 e 0,65 e acima desse valor subúmido úmido ou úmido (MMA, 2007).

Em escala mundial, esse processo é responsável pela perda de cerca de 1 bilhão de ha de terra no mundo afetando diretamente mais de 700 milhões de pessoas e que no futuro pode ameaçar ainda 3,2 bilhões de ha de terra. E no Brasil, esse processo concentra-se especialmente nos estados do Nordeste, além de alguns municípios setentrionais dos Estados de Minas Gerais e Espírito Santo (RADNAEV e MIKHEEVA, 2011; PEREZ-MARIN et al., 2012) foram atingidos pelos diferentes níveis de desertificação (MMA, 2007).

Existem diferentes indicadores utilizados para avaliar e classificar os estágios de desertificação na região semiárida e subúmida seca do nordeste. De acordo com Matallo Júnior (2001), essas áreas foram classificadas em: Muito Grave, quando apresentam pelo

menos 15 dos 19 indicadores; Grave, quando apresentam entre 11 e 14 indicadores, e, Moderada, apresentando entre 6 e 10 indicadores.

As áreas com elevados riscos de desertificação são chamadas de Núcleos de Desertificação e estão inseridos em diferentes regiões do semiárido brasileiro. Para o Atlas das áreas susceptíveis à desertificação do Brasil, elaborado pelo (MMA, 2007) existe quatro núcleos, são eles: de Gilbués (PI), Irauçuba (CE), Seridó (PB) e Cabrobó (PE). O termo “núcleo de desertificação” foi citado pela primeira vez pelo pesquisador Prof. João Vasconcelos Sobrinho, com o intuito de contextualizar o problema ambiental com abordagem nível local (MATALLO JÚNIOR, 2001). Em seguida são apresentadas as principais características de cada núcleo:

Tabela 2.1 - Características dos núcleos de desertificação. Adaptado de MMA (2011).

Núcleo	Área (km ²)	População	Precipitação (mm)	Causas as desertificação
Cabrobó (PE)	7.133	71.678	480	Destruição da cobertura vegetal, atividades de pastoreio, agrícolas e salinização dos solos.
Gilbués (PI)	5.739	20.459	1100	Destruição da cobertura vegetal, atividades de pastoreio, agrícolas e mineradoras.
Irauçuba (CE)	4.045	192.324	700	Destruição da cobertura vegetal, atividades de pastoreio e agrícolas
Seridó (RN)	2.861	91.673	500	Destruição da cobertura vegetal, atividades de pastoreio, agrícolas e mineradoras.

Além dos núcleos descritos pelo Ministério do Meio Ambiente, existem outras áreas com aspecto de degradação similar (Núcleo Cariris Velhos, PB e Núcleo do Sertão do São Francisco, PE) ainda não distinguido como núcleos de desertificação. O núcleo Cariri Velhos deve-se as condições edafoclimáticas da região bem como o histórico de uso e ocupação e uso do solo. Enquanto que o Núcleo do Sertão do São Francisco está associado a fatores ambientais e sociais que favorecem a degradação do solo (PEREZ-MARIN et al., 2012).

2.4 INDICADORES DE DESERTIFICAÇÃO

Nos últimos anos, o uso de indicadores ambientais no contexto da degradação tem sido um instrumento de grande importância para o monitoramento e acompanhamento dos impactos decorrentes das ações antrópicas (FERREIRA et al., 2008). Para o contexto da

desertificação são vários os fatores que podem ser usados como indicadores para orientar e identificar as áreas no domínio dessa problemática segue alguns exemplos na tabela 2.2.

Tabela 2.2 - Alguns exemplos de indicadores de desertificação

Indicadores	Fatores	Fonte
Social	Índice de desenvolvimento humano; Qualidade de vida; Renda; Densidade demográfica; Desenvolvimento rural.	Salvati, (2014);
Biológico	Cobertura vegetal; Biomassa acima do solo; Espécies animais.	Sharma, (1998); Klass et al. (2012); Wijitkosum, (2016).
Físico	Técnicas de geoprocessamento; Imagens Landsat; Indicadores climáticos Modelos numéricos.	Bakr et al. (2012); Zhang et al.(2014); Ge et al. (2015); Jian et al. (2015); Duan et al. (2016); Varghese e Singh, (2016); Salih et al. (2017); You, (2017).

Sob condições climáticas do México, Becerril-Piña et al. (2015) determinaram a taxa de mudanças na cobertura do solo, bem como integraram índices (vegetação, solo, clima, ações antrópicas) através de tendências baseadas em clima e número de indivíduos e identificaram as diferentes áreas com risco de desertificação. Para isso, foi utilizado o Índice de Risco de Tendência da Desertificação (DTRI), que se baseia em imagens Landsat e dados populacionais. Foi feito também uma análise vetorial de mudança (CVA) com o intuito de avaliar as alterações no uso do solo em ambientes semiáridos do México Central. Os autores concluíram que as pressões antropogênicas (mudança do uso do solo e o desmatamento) são as principais causas que induzem o processo de desertificação na região. Para os autores, o uso da DTRI é indicado como uma ferramenta de baixo custo e de fácil aplicação para avaliar e monitorar o processo de desertificação.

Lamchin et al. (2016) avaliaram através de métodos quantitativos (Normalized Difference Vegetation Index – NDVI, Topsoil Grain Size Índice – TGSÍ e o albedo da superfície terrestre) o processo de desertificação em uma área protegida na Mongólia. Os autores evidenciaram que não houve correlação entre NDVI, o albedo e o TGSÍ. A avaliação integrada da desertificação, ajustado ao NDVI, TGSÍ e albedo da superfície terrestre, apresentou uma diferença de 87% na área desertificada entre os períodos do estudo (1990, 2002 e 2011). De modo geral, cerca de 15% da área foi submetida a degradação da terra, onde

houve um aumento cerca de 8% das áreas com riscos considerado muito grave, nas áreas de risco grave houve uma redução de 5,8% e nas áreas com risco moderado houve um aumento de 7,9%. A degradação do solo deve-se principalmente pelos tipos de cobertura dominante na região (bancos de areia, dunas e áreas de pastagens). A análise indicou correlação positiva significativa entre o TGSÍ e o albedo superficial da terra em todos os diferentes níveis de desertificação. Sendo que os maiores valores de TGSÍ (0,10-0,20) foram encontrados em áreas de desertificação muito grave.

Salih et al. (2017) citam que as técnicas de sensoriamento remoto são importantes ferramentas na detecção e análise das mudanças regionais e locais da cobertura do solo. Pois se trata de um dos principais atuantes referentes ao processo de desertificação. Portanto, o planejamento e gerenciamento do uso e cobertura do solo, assim como o reflorestamento e o cultivo de coberturas, são estratégias de reversão de combate a tal perturbação ambiental (WIJITKOSUM, 2016).

A desertificação também pode ser estudada a partir do fluxo de energia superficial e do balanço de água no solo. Estes são importantes elementos que comprometem o regime de precipitação e a dinâmica de água no sistema. Alterações na cobertura do solo, perda de cobertura vegetal podem restringir ou suprimir a precipitação e provocam o processo de degradação do solo (D'ODORICO et al., 2013).

2.5 INTERAÇÃO BIOSFERA-ATMOSFERA E AS CONSEQUÊNCIAS DO AMBIENTE A MUDANÇA DO USO DO SOLO

O balanço de radiação sobre a superfície é a fonte de energia radiante que rege os principais processos que ocorrem em interface superfície-atmosfera. Dentre os principais processos, pode-se mencionar a partição do fluxo de energia (calor sensível e latente) e aquelas que condicionam o crescimento e o desenvolvimento da cobertura vegetal (SIMON e ALMEIDA, 2014).

A cobertura vegetal desempenha um importante papel nas interações com a atmosfera, principalmente nos sistemas climáticos, biogeoquímicos e hidrológicos, sobretudo através da troca de água, energia e suas partições (D'ODORICO et al., 2013; VON RANDOW et al., 2013). Além disso, atua como uma camada protetora para a conservação dos recursos hídricos e o movimento de água no sistema solo-planta-atmosfera, evitando a perda de solo e controlando os processos erosivos em função de algumas variáveis ambientais como vento e

chuva (PALÁCIO et al., 2012; SILVA et al., 2014b). Dessa maneira, fica clara a importância de sua existência no ambiente.

O processo de antropização na região do Semiárido brasileiro é induzido pelo homem por meio do uso não sustentável dos recursos naturais, que acarreta não só a degradação desse componente como de outros (solo e recursos hídricos) (GALINDO et al., 2008). A mudança do uso do solo por sua vez, pode afetar o clima através da maior absorção/ emissão dos gases provenientes do efeito estufa e as propriedades físicas do solo (albedo, rugosidade e capacidade de armazenamento de água no solo) (CUNHA et al., 2013; D'ODORICO et al., 2013; SALAZAR et al., 2016; ZHANG et al., 2016).

Cunha et al. (2013) informam que a conversão da cobertura vegetal pode alterar as características morfológicas e biofísicas da vegetação que pode implicar ainda em alterações nos componentes dos balanços de energia, água e carbono. Além disso, as trocas turbulentas entre a superfície e a atmosfera podem ser influenciadas pelas propriedades estomáticas da vegetação e modificações do comprimento de rugosidade da superfície.

Araújo Neto et al. (2013) avaliaram as relações hidrológicas e o manejo do uso do solo em uma cobertura com vegetação nativa e outra com vegetação raleada no município de Ceará, CE, no Semiárido brasileiro. Os autores relataram que o manejo de raleamento da vegetação promoveu redução na lâmina drenada, com um coeficiente de escoamento de 9,0% na vegetação nativa (i.e. caatinga) e 5,6% para a com vegetação raleada. O raleamento da vegetação em decorrência do surgimento estrato herbáceo gerou uma redução do escoamento superficial e menores picos de descargas. Resultados semelhantes foram observados por Andrade et al. (2018) em estudo para analisar como o raleamento da cobertura vegetal da caatinga pode interferir no coeficiente de escoamento superficial no município de Iguatu, CE.

Cavalcante (2016) por sua vez, avaliando o efeito da mudança do uso do solo nos componentes ecoidrológicos em área de caatinga e pastagem no Semiárido pernambucano durante o período de agosto de 2014 a julho de 2015 verificou que a remoção da vegetação nativa implicou num aumento da temperatura do ar ($1,9^{\circ}\text{C}$) e uma redução de 10,8% na umidade relativa do ar. O efeito combinado de tais variáveis resultou num déficit de pressão de vapor de água em média de 3,49 kPa para a área da pastagem.

De modo geral, as altas temperaturas, a grande incidência de radiação solar e a irregularidade do regime pluviométrico, por si só definem a importância do monitoramento e desenvolvimento de trabalhos que consistam em apontar o desempenho de parâmetros e

variáveis atmosféricas que comprometem o clima local (BARBIERI et al., 2013; WANDERLEY et al., 2014).

Teixeira et al. (2008) corroboram que estudos sobre os fluxos de água e energia são importantes ferramentas avaliar o impacto mudanças no uso do solo no balanço de água em esfera regional. Figueiredo (2012) afirma que uma das formas de minimizar os impactos promovidos pela mudança do uso do solo seria através da adoção de áreas de cultivo com plantas cactáceas forrageiras, em função multifuncionalidade enquanto cactácea.

Sob condições climáticas do Agreste Meridional do Estado de Pernambuco, Silva et al. (2014a) em estudo realizado em uma área de pastagem de *Brachiaria decumbens* Stapf, afirmaram que os valores de umidade volumétrica do solo acompanham os eventos de precipitação, podendo aumentar ou reduzir em razão da presença ou ausência de chuva. Em seu estudo, os autores evidenciaram que as maiores oscilações nos valores da umidade volumétrica ocorreram nas camadas superficiais (0,0-0,10 e 0,10-0,20 m) e o inverso ocorreu nas camadas mais profundas (0,20-0,30 e 0,30-0,40 m).

Duan et al. (2016) por sua vez, mencionam que o tipo de vegetação pode influenciar nas taxas de escoamento superficial, perda e armazenamento de água no solo, seja em camadas mais superficiais (0-2 m) quanto nas mais profundas (2-5 m).

Para outros ecossistemas a exemplo da Amazônia, Nobre et al. (1991) concluíram que a conversão da floresta tropical em pastagem devida à mudança do uso do solo resultou numa redução de 30% na evapotranspiração e 20% na precipitação. A mudança do uso do solo em grande escala pode trazer alterações no padrão de circulação atmosférica do ar e resultar no aumento e/ou redução da precipitação na área desmatada e nas áreas adjacentes (CORREIA et al., 2007).

Sob condições climáticas do Pantanal, Biudes et al. (2012) constataram que a mudança do uso do solo provocada pela conversão de uma floresta de cambará em pastagem resultou em alterações no microclima e no ecossistema local. Estes autores observaram uma redução de 6% da precipitação, 8,5% na radiação solar incidente e 5,7% da umidade relativa do ar e aumento de 6,6% na temperatura máxima do ar.

Reschke (1997) por sua vez, também averiguou diferenças microclimáticas. Segundo o autor, o desmatamento de floresta por pastagem causou um aumento na amplitude térmica de 1,5° observada na floresta. Sob condições climáticas da China, Fu et al. (2017) também constataram um maior aquecimento do ar na área de pastagem, sendo 0,0375oC maior do que o valor observado em uma área de floresta.

2.6 ESTABELECIMENTO DE CULTIVOS DE CACTÁCEAS FORRAGEIRAS: ÊNFASE PARA A PALMA

Climaticamente, as regiões áridas e semiáridas são marcadas por apresentar eventos de seca intensa. A disponibilidade de água limitada para essa região causa sérios prejuízos tanto ao setor agrícola quanto ao agropecuário. Neste contexto, a implantação de plantações com cactáceas (AAC, *Opuntia stricta* (Haw.) Haw.) palma forrageira torna-se uma medida mitigadora de manejo sustentável de sistemas agrícolas fundamentados no uso de cultivos adaptados às condições edafoclimáticas e de fácil manejo. Uma vez que são consideradas espécies de destaque diante do cenário de mudanças climáticas (ROCHA, 2012).

A palma forrageira é uma cactácea de origem mexicana, sua distribuição engloba alguns países da Europa (Itália, Portugal, Espanha, Grécia, Turquia), República Sul-Africana e países vizinhos (Marrocos, Argélia), América do Sul (México, Argentina, Colômbia, Brasil, Chile e Bolívia). No Brasil, as regiões de cultivo predominante das cactáceas são no semiárido onde as cultivares mais difundidas são a Redonda, a Gigante e a Miúda (BARBERA, 2001; SANTOS et al., 2006; NEVES et al., 2010).

A adaptabilidade da palma forrageira aos ambientes áridos e semiáridos está relacionada às suas características fisiológicas e morfológicas, que favorecem seu desenvolvimento em longos períodos de estiagem (SNYMAN, 2006; REGO et al., 2014). Neste caso, a boa adaptabilidade em parte, é reflexo da captação de dióxido de carbono (CO₂) e a perda de água durante a noite (ALMEIDA, 2012; MARQUES et al., 2017). Além disso, as características do sistema radicular contribuem para uma melhor adaptação a ambientes com pouca disponibilidade de água. De maneira geral, as raízes diminuem a permeabilidade à água, fazendo com que a pequena quantidade de água disponível seja absorvida através das chamadas “raízes de chuva” (HILLS, 2001).

Estudos têm demonstrado que a palma é uma cultura detentora de grande potencial econômico, social e ambiental (FIGUEIREDO, 2012). Sendo essa cultura uma importante fonte alimentícia para os animais, devido ao seu alto valor energético e por possuir um enorme teor de umidade, fazendo com que em período de grandes estiagens, torna uma reserva estratégica de água (FERREIRA et al., 2009).

Rocha (2012) corrobora que a implantação de áreas agrícolas com cactáceas forrageiras pode auxiliar na recuperação de solos e minimizar o processo de erosão em áreas

com algum estágio de degradação. Devido ao seu formato, quando plantada nesse tipo de ambiente pode funcionar como uma barreira de retenção de erosão (FIGUEIREDO, 2012).

Sob condições climáticas do México, Vásquez-Méndez et al. (2010) verificaram que em área de cultivo com cactáceas forrageiras a exemplo da *Opuntia* sp há menores perdas de solo, tornando-se um efeito positivo no que concerne o movimento de água no sistema solo-planta-atmosfera. Assim, a palma forrageira surge como uma ferramenta sustentável, pois, associa sua capacidade de produção com os interesses ambientais frente aos cenários de desertificação principalmente nas regiões áridas e semiáridas (INGLESE et al., 1995).

3 MODIFICAÇÕES DA COBERTURA VEGETAL E HIDROMETEOROLÓGICAS PROMOVIDAS PELA MUDANÇA DO USO DO SOLO NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO

Danielle de Fátima Gomes¹

Thieres George Freire da Silva¹

Thalyta Soares dos Santos²

Luciana Sandra Bastos de Souza²

André Laurênio de Melo²

¹ Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal-PGPV/UFRPE-UAST, Serra Talhada, PE, Brasil

² Universidade Federal Rural de Pernambuco, Unidade Acadêmica de Serra Talhada, Serra Talhada, PE, Brasil

a) Artigo para publicação na revista Pesquisa Agropecuária Brasileira (PAB)

ISSN: 1678-3921

Qualis B1-Ciências Ambientais

RESUMO - Compreender as principais consequências hidrodinâmicas e biofísicas promovidas pela mudança do uso do solo têm sido objeto de estudo para muitos pesquisadores. Contudo, pouco se sabe como o estabelecimento de áreas agrícolas com plantas cactáceas forrageiras pode minimizar os impactos promovidas pela ação do homem. Nesse sentido, objetivou-se com este trabalho investigar a cobertura vegetal, as variáveis hidrodinâmicas e meteorológicas de uma área de caatinga com perturbação antrópica (CPA) em comparação a uma área com indícios de desertificação (AID) e outra com agroecossistema de cactáceas (AAC, *Opuntia stricta* (Haw.) Haw.) palma forrageira, clone Orelha de Elefante Mexicana. O experimento foi conduzido durante o período de agosto de 2016 a agosto de 2017 em Floresta, PE, localizado na região do Semiárido brasileiro. Para determinação do índice de cobertura vegetal (ICV) foram utilizados três sensores PAR linear ambos acoplados à estrutura das torres micrometeorológicas das áreas da CPA e AAC. Na AID o ICV foi monitorado por meio de um ceptômetro. Adicionalmente, foi feita a análise do solo para caracterização das propriedades físico-hídricas no início do experimento e ao longo do tempo foram feitas medições do conteúdo de água no solo (CAS). Dados diários dos elementos meteorológicos foram obtidos a partir de três torres micrometeorológicas instaladas uma em cada área composta de sensores eletrônicos. Foi observada uma ampla sazonalidade no ICV que atingiram valores médios em torno de 63%, 41% e 17% para a área de AAC, CPA e AID, respectivamente (FS, $p > 0,05$). Observou-se que o CAS acompanhou o comportamento da precipitação. A temperatura média do ar indica que existe uma maior absorção de calor na área de agroecossistema de cactáceas (8,3°C). A sazonalidade da umidade relativa do ar foi maior para a área com indícios de desertificação e menor para a área de caatinga com perturbação antrópica. Todavia, a interação entre a elevada temperatura e a baixa umidade relativa do ar da área de agroecossistema de cactáceas resultou num elevado déficit de pressão de vapor ($\mu = 1,54$ kPa). O saldo de radiação por sua vez, variou em resposta aos eventos de chuva, apresentando menores valores para a área com indícios de desertificação. Assim, conclui-se que a mudança do uso do solo altera os padrões hidrometeorológicos e da cobertura vegetal em interface superfície-atmosfera. Dessa forma, os resultados sugerem que o estabelecimento de plantações com plantas cactáceas forrageiras pode reduzir a expansão das áreas em processo de Desertificação, sobretudo na região do Semiárido.

Termos para indexação: Interação biosfera-atmosfera, Caatinga, Desertificação.

ABSTRACT - Understanding the main hydrodynamic and biophysical consequences of land use change have been the object of study for many researchers. However, little is known how the establishment of agricultural areas with forage cactus plants can minimize the impacts caused by the action of man on surfaces in the process of desertification. In this sense, the objective of this work was to investigate the vegetation cover, the hydrodynamic and meteorological variables of a caatinga area with human disturbance (CPA) compared to an area with desertification evidence (AID) and the other with agro-ecosystem of cacti (AAC, *Opuntia stricta* (Haw.) Haw.) Forage palm, Mexican Elephant Ear clone. The experiment was conducted during the period from August 2016 to August 2017 in Floresta, PE, located in the Brazilian semi-arid region. To determine the vegetation cover index (VCI), three linear PAR sensors were used, coupled to the structure of the micrometeorological towers of the CPA and AAC areas. In AID, ICV was monitored by means of a ceptometer. In addition, soil analysis was performed to characterize the physical-water properties at the beginning of the experiment and measurements of soil water content (CAS) were made over time. Daily data of the meteorological elements were obtained from three micrometeorological towers installed one in each area composed of electronic sensors. A wide seasonality was observed in the ICV, which reached mean values around 63%, 41% and 17% for the area of AAC, CPA and AID, respectively (FS, $p > 0.05$). It was observed that CAS followed the precipitation behavior. The average temperature of the air indicates that there is a greater absorption of heat in the agroecosystem area of cacti (8.3°C). The seasonality of relative humidity was higher for the area with signs of desertification and less for the caatinga area with anthropic disturbance. However, the interaction between the high temperature and the low air humidity of the cacti agroecosystem area resulted in a high vapor pressure deficit ($\mu = 1.54$ kPa). The radiation balance, in turn, varied in response to rainfall events, presenting lower values for the area with signs of desertification. Thus, the results suggest that the establishment of plantations with forage cactus plants can reduce the expansion of areas undergoing desertification, especially in the semi-arid region.

Index terms: Biosphere-atmosphere interaction, Caatinga, Desertification.

3.1 INTRODUÇÃO

Os ecossistemas Áridos e Semiáridos recobrem boa parte da superfície continental do Planeta (30 – 41%) (MEA, 2005; SACO et al., 2007; RIBEIRO et al., 2016). No Brasil, este tipo de bioma é representado pela Caatinga que se estende por uma área de aproximadamente 844.400 km² e está presente na região nordeste do país e parte do estado do Maranhão. Em Pernambuco, corresponde a 83% do território do Estado (GARIGLIO et al., 2010), por outro lado, cerca de 53% do seu território já foram totalmente modificadas (MMA, 2011).

A remoção da cobertura vegetal por outras superfícies vegetadas, principalmente pastagens e culturas agrícolas, é responsável por alterações significativas no uso do solo em regiões do Semiárido brasileiro (MMA, 2011; RIBEIRO et al., 2016). Estas mudanças vêm despertando, cada vez mais, o interesse em compreender quais os impactos da sua substituição no funcionamento do ecossistema local e na perda de serviços ecossistêmicos (dinâmica de água e do clima) entre a biosfera e a atmosfera (ARAÚJO NETO et al., 2013; IZIDIO et al., 2013). Dentre as principais mudanças, destacam-se alterações no microclima, albedo, rugosidade da superfície e na umidade do solo, os quais são determinantes para os fluxos de água, energia e suas partições à superfície (CUNHA et al., 2013; D'ODORICO et al., 2013; SALAZAR et al., 2016; ZHANG et al., 2016). Logo, o efeito da mudança do uso na dinâmica da água e do clima podem culminar no avanço do processo de desertificação (PIRONE et al., 2016; WANG e YAN, 2017).

Uma das formas de minimizar os impactos decorrentes das ações antrópicas em respostas do ecossistema às condições ambientais pode ser através do estabelecimento de áreas agrícolas com cactáceas forrageiras *Opuntia stricta* (Haw.) Haw. (palma forrageira, clone Orelha de Elefante Mexicana). Trata-se de espécies de crescimento e desenvolvimento relativamente rápido quando comparadas as espécies nativas da região. Além disso, o formato dos cladódios pode funcionar como uma barreira de retenção evitando processos de erosão (FIGUEIREDO, 2012).

Diversos trabalhos têm corroborado as possíveis alterações das variáveis hidrodinâmicas e biofísicas promovidas pela mudança do uso do solo, em áreas de Caatinga (TEIXEIRA et al., 2008; CAVALCANTE, 2016). Porém, estudos voltados à dinâmica ambiental por meio do estabelecimento de plantações de cactáceas forrageiras em áreas em processo de desertificação ainda são negligenciados, podendo-se citar apenas o trabalho

desenvolvido por Figueiredo (2012) em áreas em processo de desertificação no Semiárido da Paraíba.

Informações desse tipo são de grande aplicabilidade para o avanço de pesquisas, que envolvam a temática de mudanças climáticas e de desertificação, que tem sido bastante debatida entre as agências Governamentais e não Governamentais, de tal modo que possibilitará a definição de políticas públicas de preservação da vegetação nativa, adequação da população aos cenários futuros do clima e a geração de processos de produção sustentável. Com base no exposto, objetivou-se investigar a cobertura vegetal, e as variáveis hidrodinâmicas e meteorológicas de uma área de caatinga com perturbação antrópica (CPA) em comparação a uma área com indícios de desertificação (AID) e outra com agroecossistema de cactáceas (AAC, *Opuntia stricta* (Haw.) Haw.) na região do Semiárido brasileiro.

3.2 MATERIAL E MÉTODOS

3.2.1 Área de estudo

As áreas estudadas estão situadas na fazenda Algodões (8,31° S, 38,51° O e 348 m), município de Floresta – PE, região Semiárida do nordeste brasileiro.

Segundo a classificação de Köppen, o clima local é do tipo BSw^h, ou seja, quente e seco, com estação chuvosa concentrada no período de dezembro a abril (MOURA et al., 2007; ALVARES et al., 2013), a precipitação média anual é 678,2 mm, temperaturas média do ar da ordem, de 26,2°C (com máximas de 32,6 °C e mínimas de 20,4 °C), umidade relativa do ar de 61,4% e velocidade do vento de 2,2 m s⁻¹. Essas condições resultaram numa alta evapotranspiração de referência (5,0 mm dia⁻¹), o que resulta num elevado déficit hídrico conforme a média histórica da região (INMET, 2017) (Tabela 3.1).

3.2.2 Caracterização das áreas

Os dados experimentais foram coletados a partir de 15 de agosto de 2016, estendendo-se até 15 de agosto de 2017, totalizando 397 dias (13 meses). As avaliações de cobertura vegetal, variáveis hidrodinâmicas e meteorológicas foram feitas em uma área de caatinga com perturbação antrópica, uma área com indícios de desertificação e uma área de agroecossistema de cactáceas.

- i. Uma área de caatinga com perturbação antrópica (CPA), com extração de madeira e utilizada para pastejo de animais de pequeno porte, durante a estação chuvosa. Neste sítio há predomínio de espécies como *Aspidosperma pyriforme* Mart. (Pereiro), *Cnidoscolus quercifolius* Pohl (Faveleira), *Cenostigma pyramidale* (Tul.) Gagnon & Lewis (Catingueira), *Jatropha mollissima* (Pohl) Baill. (Aroeira), *Schinopsis brasiliensis* Engl. (Baraúna) (Figura 3.1);
- ii. Uma área com indícios de desertificação (AID), totalizando 4,0 hectares com vegetação de porte rasteiro. Inicialmente esta área foi desmatada para o cultivo de culturas de subsistência (i.e. milho, feijão e algodão) e, posteriormente, de espécies de maior rentabilidade econômica (i.e. tomate, cebola e melancia). Nos últimos dez anos, com a necessidade de se produzir forragem para os animais, foi plantada *Urochloa mosambicensis* (Haw.) Dandy (capim corrente). Porém, os sucessivos anos de seca, entre os anos de 2012 e 2017, promoveram a degradação da pastagem. O que resultou no abandono da área e conseqüentemente surgimento de algumas ervas espontâneas de porte herbáceo predominaram: *Boerhavia diffusa* L. (Pega-pinto), *Sida cordifolia* L. (Malva branca) e *Portulaca oleracea* L. (Beldroega) (Figura 3.2);
- iii. Uma área de agroecossistema de cactáceas (AAC), representada *Opuntia stricta* (Haw.) Haw. (palma forrageira, clone Orelha de Elefante Mexicana), foi cultivada no espaçamento de 2,0 x 0,5 m, resultando em uma densidade de 10.000 plantas ha⁻¹. Cladódios de palma foram plantados em agosto de 2014 e uma colheita foi realizada em fevereiro de 2017. A cultura foi conduzida sob o sistema de sequeiro, com tratos culturais mínimos, apenas à base de capinas manual, adubação mineral e aplicação de herbicida (Figura 3.3).

3.2.3 Índice de cobertura vegetal (ICV)

As medições do ICV em cada área (CPA, AID, AAC) foram realizadas a partir da coleta de dados da interação entre a cobertura vegetal e a radiação fotossinteticamente ativa (RFA, 400-700 nm).

Para a área de caatinga com perturbação antrópica e para a área de agroecossistema de cactáceas foram utilizados três sensores PAR linear, para medição da radiação fotossinteticamente ativa interceptada (RFA, MJ m⁻² d⁻¹; SQ-321 Calibration Line Quantum Net10 sensors, Apogee, Logan, Utah, USA), sendo um posicionado a cima da cultura, para

medição da RFA incidente (RFA_{ac} , $MJ\ m^{-2}\ d^{-1}$), e os outros dois no solo próximo das plantas, para medição da RFA que chega abaixo da cultura (RF_{Ab} , $MJ\ m^{-2}\ d^{-1}$) (Figura 3.4 e 3.5).

Na área com indícios de desertificação, as medidas da (RFA_{Ac}) e (RFA_{Ab}) foram obtidas por meio do método da interceptação de luz, com o auxílio de um ceptômetro (AccuPAR, LP-80, Decagon Devices, Pullman, EUA). Ao todo foram realizadas 15 medições, sendo uma acima e quatro ao nível do solo, com três repetições. Para a melhor precisão das leituras, todas as medidas foram realizadas em horários próximos (12:00 hrs) na mesma direção e altura com relação aos pontos cardeais (Figura 3.6).

3.2.4 Variáveis hidrodinâmicas

As variáveis hidrodinâmicas foram representadas pelas propriedades físico-hídricas (densidade aparente, densidade da partícula, porosidade total, as frações granulométricas) e conteúdo de água no solo – CAS.

Para a determinação das propriedades físico-hídricas dos solos foram selecionados três pontos de coleta onde foi coletada uma amostra nas camadas de 0-10 a 0-70 cm de profundidade para a área de caatinga com perturbação antrópica e de 0-10 a 0-80 cm de profundidade para a área com indícios de desertificação e para a área de agroecossistema de cactáceas. As amostras foram coletadas em diferentes profundidades porque na área de caatinga com perturbação antrópica o solo era mais denso e compacto quando comparado às áreas adjacentes. Após as coletas, as amostras foram devidamente identificadas, armazenadas e enviadas para o Laboratório de Análise de Solo, Água e Planta da Embrapa Semiárido, situada no município de Petrolina, PE (<http://labsolo.org/>) para determinação das características físico hídricas (Tabela 3.2).

Para o monitoramento do CAS foram instalados 22 tubos de acesso, sendo distribuídos da seguinte forma: cinco na área de caatinga com perturbação antrópica, cinco na área com indícios de desertificação e doze na área de agroecossistema de cactáceas. Com base na instalação dos tubos de acesso e da sonda capacitiva (Diviner 2000, Sentek Pty Ltda., Austrália) calibrada em cada área, conforme recomendações do fabricante (SENTEK, 2000) e metodologia descrita por Araújo Primo et al. (2015). Dessa forma, foi possível realizar as leituras do conteúdo de água no solo nas profundidades de 0,10m a 0,60m, em intervalos de oito dias.

3.2.5 Avaliações micrometeorológicas

As avaliações micrometeorológicas foram obtidas dentro de cada área experimental, onde foram instaladas três torres micrometeorológicas de 8m de altura na área de caatinga com perturbação antrópica, 3m de altura na área com indícios de desertificação e 4m de altura na área de agroecossistema de cactáceas. Para a obtenção das medidas de temperatura do ar (T), umidade do ar (UR, déficit de pressão de vapor (DPV) e saldo de radiação (Rn), foram instalados alguns sensores eletrônicos (Tabela 3.3).

Os dados das torres de cada área foram conectados ao datalogger e programados para realizar as medições a cada 60 segundos, com valores médios armazenados a cada 10 minutos.

3.2.6 Análise estatística

Os resultados foram submetidos à análise com uso de estatística descritiva, na qual foram analisados valores médios, que resultaram nas tendências de comportamento das variáveis durante o período experimental. Para comparação das médias, adotou-se o teste paramétrico de Fisher (LSD - *Least significant difference*), ao nível de 5% de probabilidade, por meio da utilização do software XLSTAT®.

3.3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nas Figuras 3.7 e 3.8 são apresentadas o comportamento da precipitação pluviométrica durante o período de 15 de agosto de 2016 a 15 de agosto de 2017. Percebe-se que a precipitação pluviométrica acumulada foi de 365,3 mm ano⁻¹, o equivalente a 59% da normal climatológica (615,2 mm ano⁻¹) no município de Floresta PE (INMET, 2017). Verificou-se que o período chuvoso estendeu-se de dezembro de 2016 a agosto de 2017, com maior volume ocorrido em março (116,1 mm).

3.3.1 Índice de cobertura vegetal (ICV)

No Semiárido brasileiro, a vegetação está vinculada a situações estressoras como o déficit hídrico, sobretudo em função dos baixos volumes pluviométricos associados às condições estressoras da atmosfera (elevadas temperaturas associadas à alta intensidade

luminosa) que influenciam no movimento de água na interface biosfera-atmosfera, que por sua vez compromete os processos fisiológicos da vegetação (TROVÃO et al., 2007; SOUZA et al., 2015). Em vista disto, os altos volumes pluviométricos para o período de estudo resultaram num acréscimo no fator de cobertura do solo (Figura 3.7, FS, $p < 0,05$).

Nesse caso, para a área de caatinga com perturbação antrópica, por exemplo, a variação do ICV ocorreu de 29% nos meses menos chuvosos a 52% nos meses mais chuvosos, com média anual de 41%.

Na área com indícios de desertificação, o ICV médio foi de 17%, com menores magnitudes em torno de 6% e maiores atingindo 45%, logo após o período com eventos de chuva mais expressivos.

E o ICV da área de agroecossistema de cactáceas foi em média (63%), valor este maior quando comparado ao ICV das outras duas áreas, à exceção do período após a colheita das plantas (entre janeiro e fevereiro de 2017), quando houve redução do ICV (25%) (FS, $p < 0,05$). Esse resultado pode estar associado à abertura estomática das plantas forrageiras que ocorre, sobretudo à noite, por causa do seu metabolismo MAC (Metabolismo ácido das crassuláceas), que conferem a estas plantas uma menor perda de água para atmosfera (NOBEL, 2001). Além disso, por se tratar de uma cultura de ciclo semiperene a perene e com alta adaptação ao ambiente Semiárido, é de se esperar maiores taxas do seu ICV ao longo do tempo.

A substituição de áreas de caatinga com perturbação antrópica por áreas com indícios de desertificação resultou numa redução da cobertura vegetal (41% para 17%) de espécies predominantemente arbustivas e árvores de pequeno porte e cobertura descontínua de copas por estrato herbáceo. Portanto, o acelerado desenvolvimento da vegetação herbácea pode reduzir o escoamento superficial direto na área (RODRIGUES et al., 2013; ANDRADE et al., 2018). Araújo Neto et al. (2013) verificaram que uma redução de aproximadamente 5% no coeficiente de escoamento com vegetação raleada e 9,0% para uma área de vegetação nativa.

Com os resultados do presente estudo, percebe-se que, o estabelecimento de sistemas de produção sustentáveis com base em áreas com plantas cactáceas forrageiras *Opuntia stricta* (Haw.) Haw. (palma forrageira, clone Orelha de Elefante Mexicana) apresenta maior vantagem, em vez da manutenção de áreas com solo desnudo.

Vásquez-Méndez et al. (2010) verificaram maiores índices de cobertura vegetal para as *Opuntias sp* (76%), quando comparadas as outras espécies. Esses autores também

destacaram que este percentual de cobertura vegetal é indicativo de proteção contra processos como erosão e escoamento superficial.

Figueiredo (2012), por sua vez, cita que em meio a ambiente em estágio mais avançado de degradação, a palma forrageira pode ser uma alternativa mitigadora dos efeitos das ações antropogênicas no sistema. Pois, as raízes da palma agregam partículas do solo impedindo a erosão.

3.2.2 Variáveis hidrodinâmicas

Na Tabela 3.2 são mostradas as propriedades físicas do perfil do solo (0 a 0,60 m). Analisando a granulometria da área de caatinga com perturbação antrópica (CPA), foi possível constatar que, a textura do solo nas profundidades estudadas apresentou menor quantidade de areia ($\mu = 660,6 \text{ g kg}^{-1}$) e uma maior quantidade de argila ($120,3 \text{ g kg}^{-1}$). Comportamento esse inverso para a área com indícios de desertificação e de agroecossistema de cactáceas.

Os valores de densidade do solo na área de caatinga com perturbação antrópica ($\mu = 1,53 \text{ kg dm}^{-3}$) foram maiores quando comparado com a camada superficial da área com indícios de desertificação ($\mu = 1,39 \text{ kg dm}^{-3}$) e de agroecossistema de cactáceas ($\mu = 1,41 \text{ kg dm}^{-3}$). A mesma apresentou menor porosidade ($\mu = 40,8\%$) quando comparada as demais áreas.

O maior valor de densidade do solo da área de caatinga com perturbação antrópica é resultado da compactação por pisoteio animal, o que dificulta a infiltração da água, provocando o endurecimento e aceleração do processo de erosão laminar (MMA, 2011). Já nas áreas adjacentes (de agroecossistema de cactáceas e com indícios de desertificação), os danos mais impactantes na estrutura física da superfície devem-se ao processo de mecanização e preparo dos solos ocorridos ao longo do tempo (REICHERT et al., 2007).

Silva et al. (2014a) analisando a variação do armazenamento de água no solo e o perfil do sistema radicular em *Brachiaria decumbens*, na mesorregião do Agreste do Estado de Pernambuco, encontraram maiores valores de densidade do solo (1520 kg m^{-3}) na camada mais superficial (0,0-0,20 m). Esses autores destacaram que tal variação pode ser explicada em razão do maior efeito do pisoteio animal e ao menor conteúdo de água no solo.

A variabilidade do conteúdo médio de água no solo (CAS) ao longo do tempo e do perfil do solo para as três áreas de estudo (CPA, AID e AAC) são apresentadas na Figura 3.8.

Verificou-se que para todas as áreas houve uma resposta do conteúdo de água no solo frente aos eventos de chuva que ocorreram durante o período experimental. As menores amplitudes foram registradas na área com indícios de desertificação ($0,103 - 0,025 = 0,078 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$) e na área de agroecossistema de cactáceas ($0,088 - 0,030 = 0,058 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$), enquanto que à área de caatinga com perturbação antrópica apresentou maior conteúdo de água no solo ($0,163 - 0,084 = 0,079 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$) (FS, $p < 0,05$).

Observa-se que a menor média do CAS foi observada para a área com indícios de desertificação ($\mu = 0,043 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$) e a maior para a área de caatinga com perturbação antrópica ($\mu = 0,109 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$) (FS, $p < 0,05$). Esse resultado deve-se a maior incidência de radiação solar na superfície em decorrência da maior exposição do solo (SANTOS et al., 2014) e a textura arenosa. E o maior conteúdo de água no solo atribuído a área de caatinga com perturbação antrópica está associado às características texturais do solo, uma vez que solos com teores maiores de argila tendem a reter maior quantidade de água (VAN LIER et al., 2009).

Na área de agroecossistema de cactáceas ($\mu = 0,045 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$), na maioria do tempo, o conteúdo de água no solo foi inferior aos valores da área de caatinga com perturbação antrópica e mais próximo ao valor da área com indícios de desertificação. Podendo observar exceções nos meses mais secos (setembro a novembro de 2016), quando o CAS na área de caatinga com perturbação antrópica foi intermediário às outras duas áreas e, no mês de junho de 2017, em que não houve diferenças entre si (FS, $p > 0,05$). Este resultado se deve ao nível de cobertura vegetal da área de agroecossistema de cactáceas, ao metabolismo ácido das crassuláceas desta vegetação e às características do seu sistema radicular (SAN JOSÉ et al., 2007).

3.3.3 Avaliações micrometeorológicas

3.3.3.1 Temperatura do ar (T)

As diferenças entre a temperatura do ar na área de caatinga com perturbação antrópica, área com indícios de desertificação e área de agroecossistema de cactáceas está ilustrada na Figura 3.9. As maiores diferenças foram observadas durante as estações da primavera (outubro a dezembro de 2016) e verão (janeiro a março de 2017) (FS, $p < 0,05$, Figura 3.9).

Comparando as amplitudes térmicas, observou-se que a amplitude na área de agroecossistema de cactáceas foi $8,3^\circ\text{C}$ ($30,4^\circ\text{C} - 22,1^\circ\text{C}$) e maior que a observada na área com indícios de desertificação $7,4^\circ\text{C}$ ($29,4^\circ\text{C} - 22,0^\circ\text{C}$) e a observada na área de caatinga com

perturbação antrópica 6,9°C (28,8°C - 21,9°C). Cavalcante (2016) com base em dados coletados durante um período de agosto de 2014 e julho de 2015, em Serra Talhada, Pernambuco, constatou um aumento da temperatura do ar (1,9°C) em área de pastagem em quando comparada a caatinga.

Fu et al. (2017) avaliando como o uso do solo e as alterações climáticas influenciam nas variações espaciais e temporais de serviços ecossistêmicos na China, também constataram um maior aquecimento do ar na área de pastagem, sendo 0,0375°C maior do que o valor observado em uma área de floresta.

3.3.3.2 Umidade relativa do ar (UR)

As variações da umidade relativa do ar nas áreas de caatinga com perturbação antrópica, área com indícios de desertificação e área de agroecossistema de cactáceas, está ilustrada na Figura 3.10. A umidade relativa do ar foi maior na área com indícios de desertificação ($\mu = 64,5\%$) e na área de agroecossistema de cactáceas ($\mu = 64,1\%$). Ao passo que maiores magnitudes ocorreram nos meses mais chuvosos e, ou, frios e, menores valores nos meses mais secos e, ou, quentes (FS, $p < 0,05$). Isto se deve ao fato do desmatamento da caatinga pode ter alterado o padrão de circulação atmosférica do ar, provocando impactos no balanço de umidade da atmosfera (CORREIA et al., 2007).

Os resultados obtidos confirmam as informações de Chambers e Artaxo (2017). Esses autores descrevem que o desmatamento pode ter alterado a variação da umidade da Amazônia, devido à redução da quantidade de água retornada via biosfera-atmosfera. O processo de precipitação pode sofrer interferências da rugosidade da superfície florestada. Tal rugosidade impulsiona a convecção de grande massa de ar para atmosfera, promovendo à formação de nuvens e conseqüentemente a precipitação. No entanto, a remoção da cobertura vegetal interrompe esse processo hidrometeorológico, iniciando circulações superficiais, térmicas que por consequência aumenta a nebulosidade.

Berbet (2002), por sua vez, corrobora que o padrão de circulação atmosférica sobre a área desmatada é proporcional ao incremento do albedo. Segundo a autora, esse fato pode ser explicado a partir de diferentes fatores como: densidade da vegetação e exposição solar do solo desnudo.

3.3.3.3 Déficit de pressão de vapor (DPV)

O efeito combinado da temperatura do ar e umidade relativa do ar resultaram em demanda atmosférica elevada, com valores de déficit de pressão de vapor médio em torno de 1,54 kPa para a área de agroecossistema de cactáceas, 1,38 kPa para a área de caatinga com perturbação antrópica e 1,27 kPa para a área com indícios de desertificação (Figura 3.11).

As diferenças no déficit de pressão de vapor entre as áreas são mais evidentes durante as estações da primavera (outubro a dezembro de 2016) e verão (janeiro a março de 2017). As maiores amplitudes de déficit de pressão de vapor ocorreram na área de agroecossistema de cactáceas 1,57 kPa (2,29 kPa - 0,72 kPa), seguidos do encontrado na área com indícios de desertificação 1,34 kPa (1,92 kPa - 0,58 kPa) e na área de caatinga com perturbação antrópica 1,31 kPa (1,94 kPa - 0,63 kPa). Nos meses com maiores eventos de chuva, as distinções do DPV tenderam a reduzir entre às três áreas.

Os menores valores de déficit de pressão de vapor na área de caatinga com perturbação antrópica podem estar atribuídos a maior retenção de umidade do ar pelo dossel. Além disso, os mecanismos de defesa (alterações no sistema radicular, aumento caulinar, redução no tamanho e perda das folhas) que ocorrem frente a pouca disponibilidade de água no solo funcionam como um moderador para manter a baixa troca de calor entre a vegetação e a atmosfera durante os períodos de estiagem (TROVÃO et al., 2007; BIUDES et al., 2009). Informações semelhantes foram constatadas por Costa et al. (2016) para o manguezal, pois em locais com boa cobertura vegetal não há grandes perdas de energia.

Já o maior déficit de pressão de vapor de água na área de agroecossistema de cactáceas pode estar associado ao seu metabolismo (MAC), que confere a abertura estomática principalmente à noite, onde há menores perdas de água por transpiração. Assim, com os estômatos parcialmente fechados, os tecidos celulares das cactáceas permanecem mais hidratados ao longo do dia (ALMEIDA, 2012).

3.3.3.4 Saldo de radiação (R_n)

A variação sazonal do saldo de radiação nas áreas de caatinga com perturbação antrópica, com indícios de desertificação e de agroecossistema de cactáceas está ilustrada na Figura 3.12.

Os maiores valores encontrados foram nos meses que predominam a estação da primavera (outubro a dezembro) e do verão (janeiro a março) (FS, $p < 0,05$). Mas, percebeu-se que na área de indícios de desertificação houve menor amplitude ($8,4 - 4,8 = 3,6 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$) e diminuição da energia disponível no sistema em relação ao da área de caatinga com

perturbação antrópica ($12,1 - 6,8 = 5,3 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$) e da agroecossistema de cactáceas ($11,9 - 5,9 = 6,0 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$), durante todos os meses do ano (FS, $p < 0,05$). Estes resultados podem ser explicados pela variação do albedo para cada área experimental (RESCHKE, 1997).

Em relação ao período mais seco (agosto a novembro de 2016), observou-se que o R_n foi mais alto na área de agroecossistema de cactáceas, reduzindo suas discrepâncias em relação ao da área de caatinga com perturbação antrópica, logo após os primeiros eventos de chuva (Figura 3.12).

A remoção da vegetação implica em aumento do albedo da superfície e, logo, a redução da absorção da radiação solar. Entretanto, apesar da diminuição do saldo de radiação, a partição de energia é mais destinada para o fluxo de calor sensível, uma vez que, a menor cobertura vegetal e disponibilidade de água reduzem o gasto de energia com a evapotranspiração (SOUZA et al., 2015).

3.4 CONCLUSÕES

A área de agroecossistema de cactáceas apresentou maiores índices de cobertura vegetal em comparação com as áreas de caatinga com perturbação antrópica e com indícios de desertificação.

As maiores magnitudes de umidade do solo foram observadas para a área de caatinga com perturbação antrópica, em virtude das suas características texturais do solo e da vegetação.

A temperatura média do ar indica que existe maior absorção de calor na área de agroecossistema de cactáceas ($8,3^\circ\text{C}$) e na área com indícios de desertificação ($7,4^\circ\text{C}$). As maiores umidades relativas do ar foram observadas nas áreas com indicio de desertificação (64,5 %) e de agroecossistema de cactáceas (64,1%). A maior temperatura do ar e a menor umidade relativa do ar observado na área de caatinga com perturbação antrópica resultaram num déficit de pressão de vapor elevado (1,54 kPa). Por fim, o saldo de radiação foi maior na área de agroecossistema de cactáceas e na área de caatinga com perturbação antrópica.

Assim, conclui-se que a mudança do uso do solo altera os padrões hidrometeorológicos interface superfície-atmosfera e da cobertura vegetal no ambiente. Dessa forma, os resultados sugerem que o estabelecimento de plantações de cactáceas forrageiras *Opuntia stricta* (Haw.) Haw pode reduzir a expansão das áreas em processo de Desertificação, sobretudo na região do Semiárido.

4 REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, R. F. Palma Forrageira na alimentação de ovinos e caprinos no Semiárido brasileiro. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 7, n. 4, p. 08-14, 2012.
- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; DE MORAES GONÇALVES, J. L.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.
- ALVES, J. J. A.; ARAÚJO, M. A.; NASCIMENTO, S. S. Degradação da Caatinga: Uma investigação ecogeográfica. *Revista Caatinga*, v. 22, n. 3, p. 126-135, 2009.
- ANDRADE, E. M. DE; NASCIMENTO, R. DO; RODRIGUES; PALÁCIO, H. A. D. Q.; BRASIL, J. B.; RIBEIRO FILHO, J. C. Hydrological responses of a watershed to vegetation changes in a tropical semiarid region. **Revista Caatinga**, v. 31, n. 1, p. 161-170, 2018.
- ARAÚJO, S. M. S. de. A região Semiárida do Nordeste do Brasil: Questões Ambientais e Possibilidades de uso Sustentável dos Recursos. **Rios Eletrônica- Revista Científica da FASETE**, v. 5, n. 5, p. 89-98, 2011.
- ARAÚJO FILHO, J. A. de. **Manejo pastoril sustentável da Caatinga**. Recife: Projeto Dom Helder Câmara, 2013.
- ARAÚJO NETO, J. R. de; ANDRADE, E. M. de; PALÁCIO, H. A. de Q.; SANTOS, J. C. N. dos; LOBATO, F. A. de O. Análise comparativa do escoamento superficial de microbacias experimentais em clima semiárido tropical. **Water Resources and Irrigation Management**, v. 2, n. 3, p. 111-120, 2013.
- 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. Calibração de sondas capacitivas, funções físico-hídricas e variação do armazenamento de água em um argissolo cultivado com palma forrageira. **Revista Ceres**, v. 62, n. 1, p. 20-29, 2015.
- BAKR, N.; WEINDORF, D. C.; BAHNASSY, M. H.; EL-BADAWI, M. M. Multi-temporal assessment of land sensitivity to desertification in a fragile agro-ecosystem: Environmental indicators. **Ecological Indicators**, v. 15, n. 1, p. 271-280, 2012.
- BARBERA, G. História e importancia economica e agroecologica. In: BARBERA, G.; INGLESES, P.; PIMENTA-BARRIOS, E. Agroecologia, cultivo e usos da palma forrageira. João Pessoa, PB: SEBRAE, 2001. 241p.
- BARBIERI, L. F. P.; CORREIA, M. D. F.; BRAGA, C. C. Desempenho de método de estimativa da temperatura média diária: Um estudo em áreas com forte pressão antrópica. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 6, n. 4, p. 857-874, 2013.
- BECERRIL-PIÑA, R.; MASTACHI-LOZA, C. A.; GONZÁLEZ-SOSA, E.; DÍAZ-DELGADO, C.; BÂ, K. M. Assessing desertification risk in the semi-arid highlands of

central Mexico. **Journal of Arid Environments**, v. 120, p. 4-13, 2015.

- BERBET, M. L. C. **Variação sazonal do albedo e sua influência na mudança do padrão de chuva, em consequência da conversão da Floresta Tropical em Pastagem**. 2002. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Meteorologia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG. 2002.
- BIUDES, M. S.; CAMPELO JÚNIOR, J. H.; NOGUEIRA, J. de S.; SANCHES, L. Estimativa do balanço de energia em cambarazal e pastagem no norte do Pantanal pelo método da razão de Bowen. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 24, n. 2, p. 135-143, 2009.
- BIUDES, M. S.; NOGUEIRA, J. de S.; DALMAGRO, H. J.; MACHADO, N. G. Mudança no microclima provocada pela conversão de uma floresta de Cambará em Pastagem no Norte do Pantanal. **Revista de Ciências Agro-Ambientais**, v. 10, p. 61-68, 2012.
- CAVALCANTE, H. M. B. **Mudança do uso da terra e efeitos ecohidrológicos em área de caatinga e pastagem no Semiárido Pernambucano**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal. Universidade Federal Rural de Pernambuco, Unidade Acadêmica de Serra Talhada, Serra Talhada, PE. 2016.
- CHAMBERS, J. Q.; ARTAXO, P. Biosphere-atmosphere interactions: Deforestation size influences rainfall. **Nature Climate Change**, v. 7, n. 3, p. 175-176, 2017.
- CORREIA, F. W. S.; MANZI, A. O.; CANDIDO, L. A.; DOS SANTOS, R. M. N.; PAULIQUEVIS, T. Balanço de umidade na Amazônia e sua sensibilidade às mudanças na cobertura vegetal. *Ciência e Cultura*, v. 59, n. 3, p. 39-43, 2007.
- COSTA, A. da C. e; RODRIGUES, H. J. B.; COSTA, J. L. O. C.; SOUZA, P. F. de S.; JUNIOR, J. A. S.; COSTA, A. C. L. da. Variações termo-higrométricas e estudo de Ilha de Calor Urbana na cidade de Bragança-PA e circunvizinhança. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 9, n. 2, p. 571-584, 2016.
- CUNHA, A. P. M. D. A.; ALVALÁ, R. C. D. S.; OLIVEIRA, G. S. de. Impactos das mudanças de cobertura vegetal nos processos de superfície na região Semiárida do Brasil. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 28, n. 2, p. 139-152, 2013.
- D'ODORICO, P.; BHATTACHAN, A.; DAVIS, K. F.; RAVI, S.; RUNYAN, C. W. Global desertification: Drivers and feedbacks. **Advances in Water Resources**, v. 51, p. 326-344, 2013.
- DIAS-FILHO, M. B.; FERREIRA, J. N. O Pastejo e a Biodiversidade da Pastagem. Série documentos da Embrapa Amazônia Oriental, v. 1, p. 46, 2009.
- DREGNE, H. E. Land degradation in the drylands. **Arid Land Research and Management**, v. 16, n. 2, p. 99-132, 2002.
- DUAN, L.; HUANG, M.; ZHANG, L. Differences in hydrological responses for different vegetation types on a steep slope on the Loess Plateau, China. **Journal of Hydrology**, v. 537, p. 356-366, 2016.

- FAGUNDES, J. L.; MOREIRA, A. L.; WANDERLEY, A.; FREITAS, D. P.; ZONTA, A.; HENRICH, R.; ROCHA, F. C.; BACKES, A. A.; VIEIRA, J. S. Capacidade de suporte de pastagens de capim-tifton 85 adubado com nitrogênio manejadas em lotação contínua com ovinos. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 40, n. 12, p. 2651-2657, 2011.
- FERNANDES, M. R. de M.; MATRICARDI, E. A. T.; ALMEIDA, A. Q. de; FERNANDES, M. M. Mudanças do Uso e de Cobertura da Terra na Região Semiárida de Sergipe. **Floresta e Ambiente**, v. 22, n. 4, p. 472-482, 2015.
- FERREIRA, C. J.; BROLLO, M. J.; UMMUS, M. E.; NERY, T. D. Indicadores e quantificação da degradação ambiental em áreas mineradas, Ubatuba (SP). **Revista Brasileira de Geociências**, v. 38, n. 1, p. 141-152, 2008.
- FERREIRA, M. de A.; SILVA, F. M. da; BISPO, S. V.; AZEVEDO, M. de. Estratégias na suplementação de vacas leiteiras no semi-árido do Brasil. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 38, p. 322-329, 2009.
- FIGUEIREDO, V. S. Perspectiva de recuperação de solo para áreas em processo de desertificação no Semiárido da Paraíba - Brasil. **Scripta Nova - Revista electrónica de geografía y ciencias sociales**, v. XVII, n. 453, p. 1-13, 2012.
- FU, Q.; LI, B.; HOU, Y.; BI, X.; ZHANG, X. Effects of land use and climate change on ecosystem services in Central Asia's arid regions: A case study in Altay Prefecture, China. **Science of the Total Environment**, v. 607-608, p. 633-646, 2017.
- GALINDO, I. C. de L.; RIBEIRO, M. R.; SANTOS, M. de F. de A. V.; LIMA, J. F. W. F.; ABREU E LIMA, R. F. de; FERREIRA. Relações solo-vegetação em áreas sob processo de Desertificação no município de Jataúba, PE. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 32, p. 1283-1296, 2008.
- GARIGLIO, M. A.; BARRETTO, E. V. de S.; PAULO, S. L. A. C.; KAGEYAMA, Y. **Uso sustentável e conservação dos recursos florestais da Caatinga**. Serviço Florestal Brasileiro, Brasília, DF. 2010. 368p.
- GE, X.; DONG, K.; LULOFF, A. E.; WANG, L.; XIAO, J. Impact of land use intensity on sandy desertification: An evidence from Horqin Sandy Land, China. **Ecological Indicators**, v. 61, p. 346-358, 2015.
- GIULIETTI, A. M.; BOCAGE NETA, A. L. du; CASTRO, A. A. J. F.; GAMARRA-ROJAS, C. F. L.; SAMPAIO, E. V. S. B.; VIRGÍNIO, J. F.; QUEIROZ, L. P. de; FIGUEIREDO, M. A.; RODAL, M. de J. N.; BARBOSA, M. R. de V.; HARLEY, R. M. Diagnóstico da vegetação nativa do Bioma Caatinga. In: SILVA, J. M. C.; TABARELLI, M. T.; LINS, L. V. (Org.). **Biodiversidade da Caatinga: áreas e ações prioritárias para conservação**. Brasília: MMA, 2004. p. 48-90.
- HILLS, F. S. Anatomia e morfologia. In: BARBERA, G.; INGLESES, P.; PIMENTA-BARRIOS, E. Agroecologia, cultivos e usos da palma forrageira. João Pessoa, PB: SEBREA-PB, 2001. 241p.

- INMET - Instituto Nacional de Meteorologia. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/normaisclimatologicas>>. Acesso em: 19 abri. 2017.
- INGLESE, P.; BARBERA, G.; MANTIA, T. La. Research strategies for the improvement of cactus pear (*Opuntia ficus-indica*) fruit quality and production. **Journal of Arid Environment**, v. 29, p. 455-468, 1995.
- IZIDIO, N. S. D. C.; PALÁCIO, H. A. D. Q.; ANDRADE, E. M. De; ARAÚJO NETO, J. R. de; BATISTA, A. A. Interceptação da chuva pela vegetação da caatinga em microbacia no semiárido cearense. **Revista Agro@mbiente On-Line**, v. 7, n. 1, p. 44-52, 2013.
- JIAN, S.; ZHAO, C.; FANG, S.; YU, K. Effects of different vegetation restoration on soil water storage and water balance in the Chinese Loess Plateau. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 206, p. 85-96, 2015.
- KLASS, J. R.; PETERS, D. P. C.; TROJAN, J. M.; THOMAS, S. H. Nematodes as an indicator of plant-soil interactions associated with desertification. **Applied Soil Ecology**, v. 58, p. 66-77, 2012.
- LAMCHIN, M.; LEE, J. Y.; LEE, W. K.; LEE, E. J.; KIM, M.; LIM, C. H.; CHOI, H. A.; KIM, S. R. Assessment of land cover change and desertification using remote sensing technology in a local region of Mongólia. *Advances in Space Research*, v. 57, n. 1, p. 64-77, 2016.
- MARENGO, J. A.; ALVES, L. M.; BESERRA, E. A.; LACERDA, F. F. **Variabilidade e mudanças climáticas no semiárido brasileiro**. In: INSTITUTO NACIONAL DO SEMIÁRIDO - INSA. Recursos hídricos em regiões áridas e semiáridas. Campina Grande – PB: INSA, 2011. p.383-422.
- MARQUES, O. F. C.; GOMES, L. S. de P.; MOURTHÉ, M. H. F.; BRAZ, T. G. dos S.; PIRES NETO, O. de S. Palma forrageira: cultivo e utilização na alimentação de bovinos. **Caderno de Ciências Agrárias**, v. 9, n. 1, p. 75-93, 2017.
- MATALLO JÚNIOR, H. **Indicadores de Desertificação: histórico e perspectivas**. Brasília: UNESCO, 2001.
- MEA - MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT, 2005. **Ecosystems and human well-being: Synthesis**. Island Press: Washington, DC.
- MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL. Redelimitação do semiárido brasileiro. Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste - Sudene; Conselho Deliberativo - Condel, 2017a. Disponível em: <<http://www.integracao.gov.br/semiario-brasileiro>>. Acesso em: 20 dez. 2017.
- MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL. Nota técnica N° 05/2017 - CGDS/DPLAN/SUDENE. p. 1-5, 2017b. Disponível em: <http://sudene.gov.br/images/2017/arquivos/Item_1.7.3_-_Nota_Técnica_no_05-2017-CGDS-DPLAN-SUDENE.PDF>. Acesso em: 20 dez. 2017.

- MMA - MINISTÉRIO DE MEIO AMBIENTE.. **Programa de Ação Nacional de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca PAN-Brasil**. MMA, Secretaria de Recursos Hídricos, Coordenadoria Técnica de Combate à Desertificação Secretaria Executiva. Brasília: MMA, 2005.
- MMA - MINISTÉRIO DE MEIO AMBIENTE. **Atlas das áreas susceptíveis à desertificação do Brasil**. MMA, Secretaria de Recursos Hídricos, Universidade Federal da Paraíba; Marcos Oliveira Santana, organizador. Brasília: MMA, 2007.
- MMA - Ministério do Meio Ambiente. **Glossário de termos e conceitos usados no contexto da UNCCD**. Organizador: Heitor Matallo Júnior. – Brasília: MMA, 2009. 154p. Disponível em: <http://www.iicabr.ica.org.br/publicacoes/glossario-de-termos-e-conceitos-usados-no-contexto-da-unccd/>. Acesso em: 20 dez. 2017.
- MMA - Ministério do Meio Ambiente. Subsídios para a Elaboração do Plano de Ação para a Prevenção e Controle do Desmatamento na Caatinga. Disponível em: http://www.mma.gov.br/estruturas/168/_arquivos/diagnostico_do_desmatamento_na_caatinga_168.pdf, 2011. Acesso em: 20 dez. 2017.
- MMA-IBAMA - Ministério do Meio Ambiente - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. Monitoramento do desmatamento nos biomas brasileiros por satélite e acordo de cooperação técnica MMA/IBAMA. Monitoramento do bioma Caatinga: 2002 a 2008. Disponível em: http://siscom.ibama.gov.br/monitorabiomas/caatinga/relatrio_tcnico_caatinga_72.pdf, 2010.
- MOURA, M. S. B. de; GALVINCIO, J. D.; BRITO, L. T. de L.; SOUZA, L. S. B. de; SÁ, I. I. S.; SILVA, T. G. F. da. Clima e água de chuva no semi-árido. In: MOURA, M. S. B.; GALVINCIO, J. D.; BRITO, L. T. D. L.; SOUZA, L. S. B.; SÁ, I. I. S.; SILVA, T. G. F. (Ed.). **Potencialidades da água de chuva no Semi-Árido brasileiro**. 1. ed. Petrolia: Embrapa Semiárido, 2007. p. 37-59.
- NEVES, A. L. A.; PEREIRA, L. G. R.; SANTOS, R. D. dos; VOLTOLINI, T. V.; ARAÚJO, G. G. L. de; MORAES, S. A. de; ARAGÃO, A. S. L. de; COSTA, C. T. F. **Plantio e uso da palma forrageira na alimentação de bovinos leiteiros no semiárido brasileiro**. Embrapa, p. 2-5, 2010.
- NOBEL, P. S. Biologia ambiental. In: BARBERA, G.; INGLESA, P.; PIMENTA-BARRIOS, E. (Ed.). Agroecologia, cultivos e usos da palma forrageira. João Pessoa, PB: SEBREA-PB, 2001. 241p.
- NOBRE, C. A.; SELLERS, P. J.; SHUKLA, J. Amazonian deforestation and regional climate change. **Journal of climate**, v. 4, p. 957-988, 1991.
- NOBRE, P. ; OYAMA, M. D. ; SAMPAIO, G. de O.; TOMASELLA, J. **Impactos de mudanças climáticas globais na hidrologia do semiárido do Nordeste brasileiro para o final do século XXI**. Em: Salomão de Sousa Medeiros; Hans Raj Gheyi; Carlos de Oliveira Galvão; Vital Pedro da Silva Paz. (Org.). Recursos Hídricos em Regiões Áridas e Semiáridas. 1ed.Campina Grande. : Editora Instituto Nacional do Semiárido. 2011.p. 423-439.

- OLIVEIRA, G. F.; LAUER GARCIA, A. C.; MONTES, M. A.; DE ARAÚJO JUCÁ, J. C. L.; DA SILVA VALENTE, V. L.; ROHDE, C. Are conservation units in the Caatinga biome, Brazil, efficient in the protection of biodiversity? An analysis based on the drosophilid fauna. **Journal for Nature Conservation**, v. 34, p. 145-150, 2016.
- OYAMA, M. D.; NOBRE, C. A. A new climate-vegetation equilibrium state for Tropical South America. **Geophysical Research Letters**, v. 30, n. 23, p. 1-5, 2003.
- PALÁCIO, H. A. de Q.; SILVA FILHO, J. A. da; ANDRADE, E. M. de; SANTOS, J. C. N. dos; BRASIL, P. P. Uso da terra e resposta hidrossedimentológica de microbacia no semiárido. **Revista Agro@mbiente**, v. 6, n. 3, p. 187-194, 2012.
- PEREZ-MARIN, A. M.; CAVALCANTE, A. de M. B.; MEDEIROS, S. S. de; TINÓCO, L. B. de M.; SALCEDO, I. H. Núcleos de desertificação no semiárido brasileiro: ocorrência natural ou antrópica? **Parcerias Estratégicas**, v. 17, n. 34, p. 87-106, 2012.
- PERON, A. J.; EVANGELISTA, A. R. Degradação de pastagens em regiões de Cerrado. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 28, n. 3, p. 655-661, 2004.
- PIRONE, M.; RIANNA, G.; REDER, A.; PAGANO, L.; URCIUOLI, G. Two Applications of Soil Water Balance in Unsaturated Pyroclastic Soils. **Procedia Engineering**, v. 158, p. 188-193, 2016.
- RADNAEV, B. L.; MIKHEEVA, A. S. Approaches to the ecological and economical assessment of desertification processes. **Regional Research of Russia**, v. 1, n. 3, p. 259-263, 2011.
- REGO, M. M. T. do; LIMA, G. F. da C.; SILVA, J. G. M. da; GUEDES, F. X.; DANTAS, F. D. G.; LÔBO, R. N. B. Morfologia e rendimento de biomassa da palma miúda irrigada sob doses de adubação orgânica e intensidades de Corte. **Revista Científica de Produção Animal**, v. 16, n. 2, p. 118-130, 2014.
- REICHERT, J. M.; SUZUKI, L. E. A. S.; REINERT, D. J. Compactação do solo em sistemas agropecuários e florestais: identificação, efeitos, limites críticos e mitigação. **Tópicos em Ciência do Solo**, v. 5, p. 49-134, 2007.
- RESCHKE, G. D. A. **Influência do desmatamento no balanço de radiação e nos fluxos de calor sensível e calor latente em JI-Paraná, Rondônia**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Meteorologia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG. 1997.
- RIBEIRO, K.; SOUSA-NETO, E. R. de; CARVALHO, J. A. de; SOUSA LIMA, J. R. de; MENEZES, R. S. C.; DUARTE-NETO, P. J.; DA SILVA GUERRA, G.; OMETTO, J. P. H. B. Land cover changes and greenhouse gas emissions in two different soil covers in the Brazilian Caatinga. **Science of the Total Environment**, v. 571, p. 1048-1057, 2016.
- ROCHA, J. E. da S. Palma forrageira no Nordeste do Brasil: estado da arte. Sobral: Embrapa Caprinos e Ovinos, 2012. (Embrapa Caprinos e Ovinos. Documentos, 106).

- RODRIGUES, J. O.; ANDRADE, E. A.; MENDONÇA, L. A.; ARAÚJO, J. C.; PALÁCIO, H. A. de Q.; ARAÚJO, E. M. Respostas hidrológicas em pequenas bacias na região semiárida em função do uso do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 88, p. 312-318, 2013.
- SACO, P. M.; WILLGOOSE, G. R.; HANCOCK, G. R. Eco-geomorphology of banded vegetation patterns in arid and semi-arid regions. **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 11, n. 6, p. 1717-1730, 2007.
- SALAZAR, A.; KATZFEY, J.; THATCHER, M.; SYKTUS, J.; WONG, K.; MCALPINE, C. Deforestation changes land-atmosphere interactions across South American biomes. *Global and Planetary Change*, v. 139, p. 97-108, 2016.
- SALIH, A. A. M.; GANAWA, E. T.; ELMAHL, A. A. Spectral mixture analysis (SMA) and change vector analysis (CVA) methods for monitoring and mapping land degradation/desertification in arid and semiarid areas (Sudan), using Landsat imagery. **Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science**, v. 20, p. S21-S29, 2017.
- SALVATI, L. A socioeconomic profile of vulnerable land to desertification in Italy. **Science of the Total Environment**, v. 466-467, p. 287-299, 2014.
- SAN JOSÉ, J. S.; MONTES, R.; NIKONOVA, N. Seasonal patterns of carbon dioxide, water vapour and energy fluxes in pineapple. *Agricultural and Forest Meteorology*, v. 147, p. 16-34, 2007.
- SANTOS, D. C. dos; FARIAS, I.; LIRA, M. de A.; SANTOS, M. V. F. dos; ARRUDA, G. P. de; COELHO, R. S. B.; DIAS, F. M.; MELO, J. N. de. **Manejo e utilização da palma forrageira (Opuntia e Nopalea) em Pernambuco**. Recife: IPA, 2006. 48p. (IPA. Documentos, 30).
- SANTOS, C. A. C. dos; WANDERLEY, R. L. N.; ARAÚJO, A. L.; BEZERRA, B. G. Obtenção do saldo de radiação em áreas de pastagem e floresta na Amazônia (Estação seca) através do Sensor Modis. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 29, n. 3, p. 420-432, 2014.
- SENTEK. Diviner 2000: user guide version 1.21. Stepney: Sentek Pty Ltd, 2000.
- SCHULZ, K.; VOIGT, K.; BEUSCH, C.; ALMEIDA-CORTEZ, J. S.; KOWARIK, I.; WALZ, A.; CIERJACKS, A. Grazing deteriorates the soil carbon stocks of Caatinga forest ecosystems in Brazil. **Forest Ecology and Management**, v. 367, p. 62-70, 2016.
- SHARMA, K. D. The hydrological indicators of desertification. *Journal of Arid Environments*, v. 39, n. 2, p. 121-132, 1998.
- SILVA, D. F. da; ALCÂNTARA, C. R. Déficit hídrico na região Nordeste: Variabilidade espaço-temporal. **Ciências exatas e tecnológicas**, v. 8, n. 1, p. 45-51, 2009.

- SILVA, E. A.; FERREIRA, R. L. C.; SILVA, J. A. A. da; SÁ, I. B.; DUARTE, S. M. A. Dinâmica do uso e cobertura da terra do município de Floresta, PE. **Floresta**, v. 43, n. 4, p. 611-620, 2013.
- SILVA, R. A. B. da; LIMA, J. R. de S.; ANTÔNINO, A. C. D.; GONDIM, P. S. de S.; SOUZA, E. S. de; BARROS JÚNIOR, G. Balanço hídrico em neossolo regolítico cultivado com braquiária (*Brachiaria decumbens* Stapf). *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 38, n. 1, p. 147-157, 2014a.
- SILVA, R. M. P.; LIMA, J. R.; MENDONÇA, I. F. C. de. Alteração da cobertura vegetal na Sub-Bacia do Rio Espinharas de 2000 a 2010. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 18, n. 2, p. 202-209, 2014b.
- SIMON, J.; ALMEIDA, R. E. M. de. **Revisão sobre saldo de radiação em plantas de cobertura contínua e descontínua e perspectivas para sistemas mistos (iLPP)**. 1. ed. Palmas, TO: Embrapa Pesca e Aquicultura, 2014.
- SNYMAN, H. A. A greenhouse study on root dynamics of cactus pears, *Opuntia ficus-indica* and *O. robusta*. **Journal of Arid Environments**, v. 65, n. 4, p. 529-542, 2006.
- SOUZA, L. S. B. de; MOURA, M. S. B. de; SEDIYAMA, G. C.; SILVA, T. G. F. da. Balanço de energia e controle biofísico da evapotranspiração na Caatinga em condições de seca intensa. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 50, n. 8, p. 627-636, 2015.
- TEIXEIRA, A. H. d. C.; BASTIAANSSEN, W. G. M.; AHMAD, M. D.; MOURA, M. S. B.; BOS, M. G. Analysis of energy fluxes and vegetation-atmosphere parameters in irrigated and natural ecosystems of semi-arid Brazil. **Journal of Hydrology**, v. 362, p. 110-127, 2008.
- TROVÃO, D. M. D. B. M.; FERNANDES, P. D.; ANDRADE, L. a. De; DANTAS NETO, J. Variações sazonais de aspectos fisiológicos de espécies da Caatinga. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 11, n. 83, p. 307-311, 2007.
- VAN LIER, Q. D. J.; DOURADO NETO, D.; METSELAAR, K. Modeling of transpiration reduction in van genuchten-mualem type soils. **Water Resources Research**, v. 45, p. 1-9, 2009.
- VARGHESE, N.; SINGH, N. P. Linkages between land use changes, desertification and human development in the Thar Desert Region of India. **Land Use Policy**, v. 51, p. 18-25, 2016.
- VÁSQUEZ-MÉNDEZ, R.; VENTURA-RAMOS, E.; OLESCHKO, K.; HERNÁNDEZ-SANDOVAL, L.; PARROT, J. F.; NEARING, M. A. Soil erosion and runoff in different vegetation patches from semiarid Central Mexico. **Catena**, v. 80, n. 3, p. 162-169, 2010.
- VON RANDOW, C.; ZERI, M.; RESTREPO-COUBE, N.; MUZA, M. N.; DE GONÇALVES, L. G. G.; COSTA, M. H.; ARAUJO, A. C.; MANZI, A. O.; DA ROCHA, H. R.; SALESKA, S. R.; ARAIN, M. A.; BAKER, I. T.; CESTARO, B. P.; CHRISTOFFERSEN, B.; CIAIS, P.; FISHER, J. B.; GALBRAITH, D.; GUAN, X.;

- VAN DEN HURK, B.; ICHII, K.; IMBUZEIRO, H.; JAIN, A.; LEVINE, N.; MIGUEZ-MACHO, G.; POULTER, B.; ROBERTI, D. R.; SAHOO, A.; SCHAEFER, K.; SHI, M.; TIAN, H.; VERBEECK, H.; YANG, Z. L. Inter-annual variability of carbon and water fluxes in Amazonian forest, Cerrado and pasture sites, as simulated by terrestrial biosphere models. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 182-183, p. 145-155, 2013.
- WANDERLEY, H. S.; CARVALHO, A. L. de; FERNANDES, R. C.; SOUZA, J. L. de. Mudança no Regime Temporal da Temperatura do ar e Precipitação Pluviométrica na região de Rio Largo, Alagoas. **Revista Brasileira de Geografia**, v. 7, n. 4, p. 662–667, 2014.
- WANG, Y.; YAN, X. Climate change induced by Southern Hemisphere desertification. **Physics and Chemistry of the Earth**, v. 102, p. 40-47, 2017.
- WIJITKOSUM, S. The impact of land use and spatial changes on desertification risk in degraded areas in Thailand. **Sustainable Environment Research**, v. 26, p. 84-92, 2016.
- YOU, H. Orienting rocky desertification towards sustainable land use: An advanced remote sensing tool to guide the conservation policy. **Land Use Policy**, v. 61, p. 171-184, 2017.
- ZHANG, X.; SHANG, K.; CEN, Y.; SHUAI, T.; SUN, Y. Estimating ecological indicators of karst rocky desertification by linear spectral unmixing method. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 31, n. 1, p. 86-94, 2014.
- ZHANG, Y.; ZHAO, W.; HE, J.; ZHANG, K. Energy exchange and evapotranspiration over irrigated seed maize agroecosystems in a desert-oasis region, northwest China. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 223, p. 48-59, 2016.

APÊNDICE

Tabela 3.1 - Dados climatológicos (1961-1990) do município de Floresta – PE (INMET, 2017).

Mês	Rg MJ m ⁻² dia ⁻¹	Tm °C	Tx °C	Tn °C	UR %	VV m s ⁻¹	Prec. mm	ETo mm dia ⁻¹
Ago	19,9	24,1	31,0	18,1	60,0	2,8	4,9	4,9
Set	21,6	25,8	33,0	19,4	54,0	3,0	7,8	5,7
Out	24,1	27,9	34,9	21,1	50,0	2,8	15,3	6,4
Nov	24,3	28,6	35,7	22,4	52,0	2,3	23,2	6,3
Dez	22,6	28,2	34,5	22,3	56,0	1,9	66,7	5,6
Jan	22,2	27,8	34,4	22,0	60,0	1,8	105,1	5,4
Fev	22,4	27,1	33,8	21,8	61,0	1,6	91,4	5,3
Mar	20,8	26,9	33,1	21,7	68,0	1,5	133,2	4,7
Abr	19,1	26,3	32,2	21,2	69,0	1,6	104,1	4,3
Mai	16,8	25,0	30,7	20,1	70,0	1,8	24,0	3,8
Jun	15,1	23,9	30,0	18,7	69,0	2,3	16,6	3,7
Jul	15,9	23,2	29,4	18,0	69,0	2,3	18,0	3,7
Ago	19,9	24,1	31,0	18,1	60,0	2,8	4,9	4,9
Média /soma	20,4	26,1	32,6	20,4	61,4	2,2	615,2	5,0

Rg - radiação solar global; Tm - temperatura média; Tx - temperatura máxima; Tn - temperatura mínima; UR - umidade relativa do ar; VV - velocidade do vento; Prec. - precipitação; ETo - evapotranspiração de referência.

Tabela 3.2 - Características físicas do perfil do solo (0 a 0,60 m) dos sítios experimentais

	da kg dm ⁻³	ds	Pt %	Areia	Silte g kg ⁻¹	Argila	μ	σ	CV
CPA	1,53	2,58	40,8	660,6	219,2	120,3	0,07	0,04	52,1
AID	1,39	2,57	45,9	716,2	212,0	72,0	0,05	0,03	70,7
AAC	1,41	2,59	45,7	712,8	218,9	68,3	0,07	0,04	62,0

CPA – área de caatinga com perturbação antrópica; AID – área com indícios de desertificação; AAC – área de agroecossistema de cactaceas; da - densidade do solo; ds - densidade da partícula do solo; Pt - porosidade total. μ - Média; σ - desvio padrão; CV - Coeficiente de variação (%)

Tabela 3.3 - Composição das torres micrometeorológicas instaladas na área de caatinga com perturbação antrópica (CPA), na área com indícios de desertificação (AID) e na área de agroecossistema com cactáceas (AAC), em Floresta – PE.

Parâmetro	Quant.	Instrumento	Modelo/ Fabricante/	Descrição da medida	Disposição (m)	Área
P	1	Pluviômetro	AG-T400, Campbell Scientific, Inc., Logan, Utah	Precipitação (mm)	8	CPA
P	1	Pluviômetro	TE525MM-L34, Campbell Scientific, Inc., Logan, Utah	Precipitação (mm)	4	AAC
T, UR e DPV	2	Conjunto psicrométrico	Termopares Tipo T	Temperatura do bulbo seco e do bulbo úmido (°C)	0,25 ^a ; 1,00 ^b ; 1,00 ^c 0,25 ^a ; 1,50 ^b	CPA AAC e AID
Rn	1	Saldo radiômetro	NR-Lite, Campbell Scientific, Inc., Logan, Utah	Saldo de radiação (MJ m ⁻² d ⁻¹)	8 4 3	CPA AID AAC
RFA	3	Sensor PAR linear	SQ-321 Calibration Line Quantum Net10 sensors, Apogee, Logan, Utah, USA	Radiação Fotossinteticamente Ativa (MJ m ⁻² d ⁻¹)	8 4 3	CPA AID AAC
-	1	Datalogger	CR10X, Campbell Scientific, Logan, USA	-	-	CPA e AID
-	1	Datalogger	CR1000, Campbell Scientific, Logan, USA	-	-	AAC

^a - altura da cultura; ^b - altura do primeiro psicrômetro; ^c - altura do segundo psicrômetro

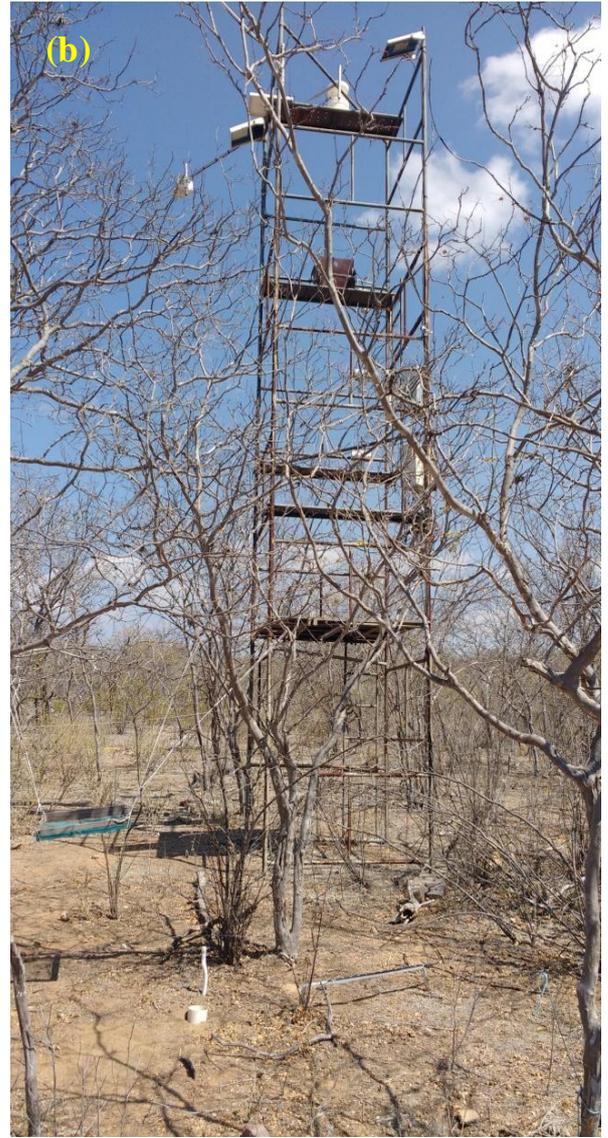
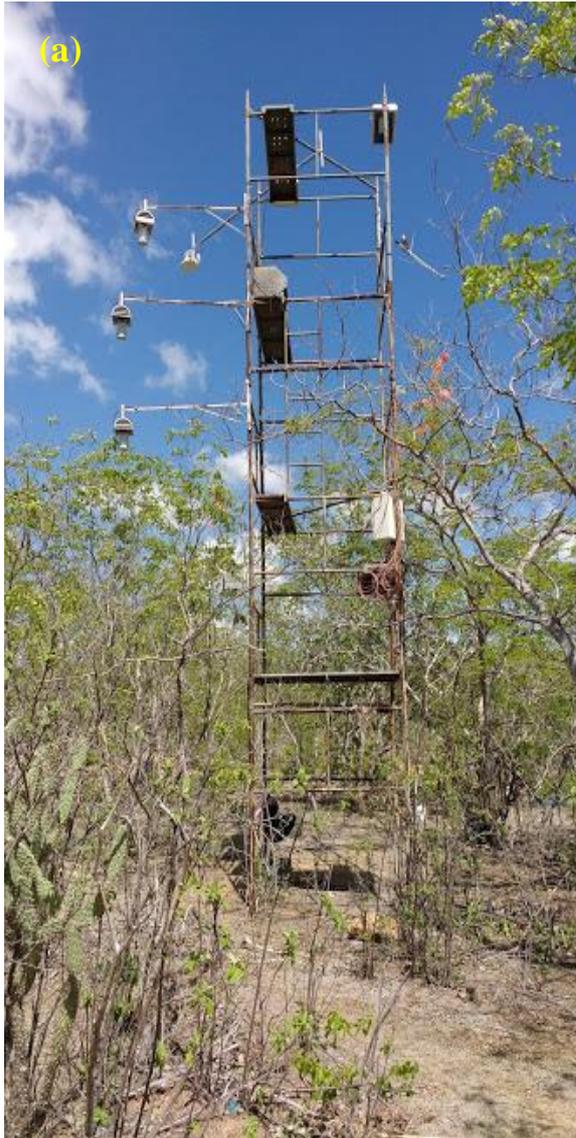


Figura 3.1 - Localização da torre micrometeorológica na área de caatinga com perturbação antrópica (CPA), durante a estação chuvosa (a) e seca (b) no município de Floresta, PE, Semiárido brasileiro.



Figura 3.2 - Localização da torre micrometeorológica na área com indícios de desertificação (AID) durante a estação chuvosa (a) e seca (b) em Floresta, PE, Semiárido brasileiro.



Figura 3.3 - Localização da torre micrometeorológica na área de agroecossistema de cactáceas (AAC), no município de Floresta, PE, Semiárido brasileiro.



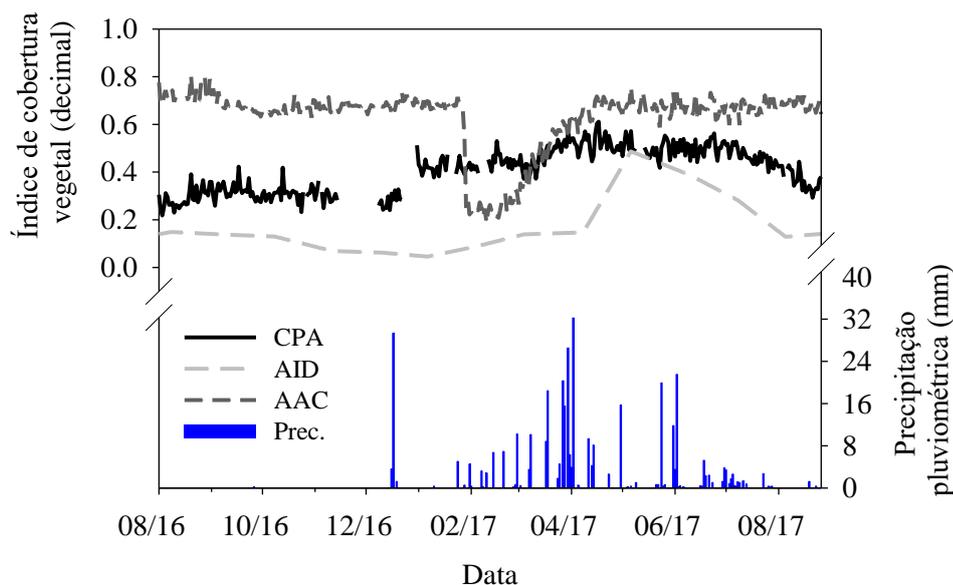
Figura 3.4 - Sensor PAR linear, instalado abaixo do dossel (SQ-321 Calibration Line Quantum Net10 sensors, Apogee, Logan, Utah, USA) próximo às plantas (RFALI, $\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$) utilizados na área de caatinga com perturbação antrópica (CPA) durante a estação chuvosa (a) e seca (b).



Figura 3.5 - Sensor PAR linear, instalado abaixo do dossel (SQ-321 Calibration Line Quantum Net10 sensors, Apogee, Logan, Utah, USA) próximo às plantas (RFALI, $\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$) utilizados na área de agroecossistema de cactáceas (AAC) após o corte (a) e antes do corte (b).



Figura 3.6 - Sensor de radiação linear fotossinteticamente ativa (PAR), AccuPAR (modelo LP-80) utilizado na área com indícios de desertificação (AID) para a mensuração acima (a) e abaixo (b) do dossel.

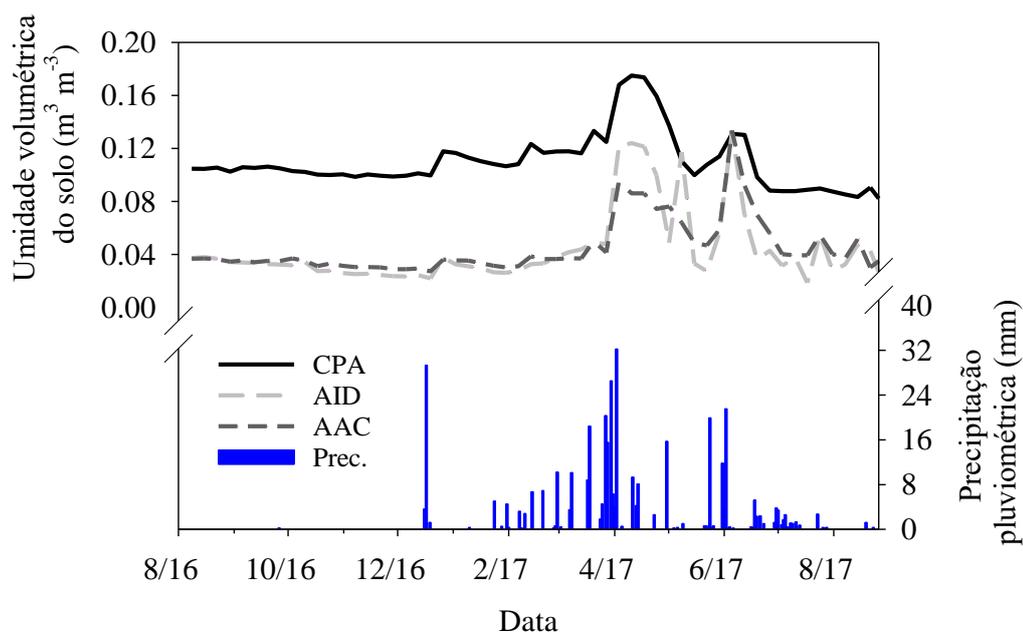


Mês	CPA			AID			AAC		
	α	μ	$1-\alpha$	α	μ	$1-\alpha$	α	μ	$1-\alpha$
Ago-16	0,27	0,29 ^{Gb}	0,30	0,14	0,14 ^{Dc}	0,15	0,71	0,73 ^{Aa}	0,74
Set-16	0,31	0,32 ^{Fb}	0,33	0,13	0,14 ^{Dc}	0,14	0,67	0,68 ^{Ba}	0,69
Out-16	0,30	0,31 ^{Fb}	0,33	0,11	0,11 ^{Ec}	0,12	0,65	0,66 ^{ACa}	0,67
Nov-16	0,34	0,36 ^{Eb}	0,38	0,07	0,07 ^{Fc}	0,07	0,67	0,68 ^{Ba}	0,68
Dez-16	0,32	0,35 ^{Eb}	0,38	0,06	0,06 ^{Fc}	0,06	0,68	0,68 ^{Ba}	0,69
Jan-17	0,41	0,42 ^{Db}	0,43	0,06	0,06 ^{Fc}	0,07	0,59	0,63 ^{Ca}	0,68
Fev-17	0,42	0,43 ^{Da}	0,45	0,10	0,11 ^{Ec}	0,11	0,24	0,25 ^{Eb}	0,26
Mar-17	0,45	0,47 ^{Ca}	0,49	0,14	0,14 ^{Db}	0,14	0,45	0,48 ^{Da}	0,52
Abr-17	0,51	0,52 ^{Ab}	0,54	0,21	0,25 ^{Cc}	0,28	0,65	0,66 ^{Ba}	0,68
Mai-17	0,47	0,49 ^{BCa}	0,50	0,44	0,45 ^{Ac}	0,46	0,67	0,68 ^{Bb}	0,69
Jun-17	0,49	0,50 ^{ABb}	0,51	0,35	0,36 ^{Bc}	0,38	0,66	0,67 ^{Ba}	0,68
Jul-17	0,45	0,47 ^{Cb}	0,48	0,22	0,24 ^{Cc}	0,25	0,66	0,67 ^{Ba}	0,68
Ago-17	0,35	0,37 ^{Eb}	0,39	0,13	0,14 ^{Dc}	0,14	0,67	0,68 ^{Ba}	0,69

CPA - área de caatinga com perturbação antrópica; AID - área com indícios de desertificação; AAC - área de agroecossistema de cactáceas.

Médias (μ) na vertical seguidas pela mesma letra maiúscula não se diferem entre si ao nível de significância ($\alpha < 0,05$), ou seja, não há diferença entre os meses no mesmo sítio, enquanto, médias na horizontal seguidas pela mesma letra minúscula não se diferem entre si ao nível de significância ($\alpha < 0,05$), ou seja, não há diferença entre as superfícies no mesmo mês, pelo teste paramétrico de Fisher. α , $1-\alpha$ - indicam o intervalo de confiança.

Figura 3.7 - Índice de cobertura vegetal (decimal) na área de caatinga com perturbação antrópica, desmatada para fins agrícolas e com agroecossistema de cactáceas no Semiárido brasileiro.

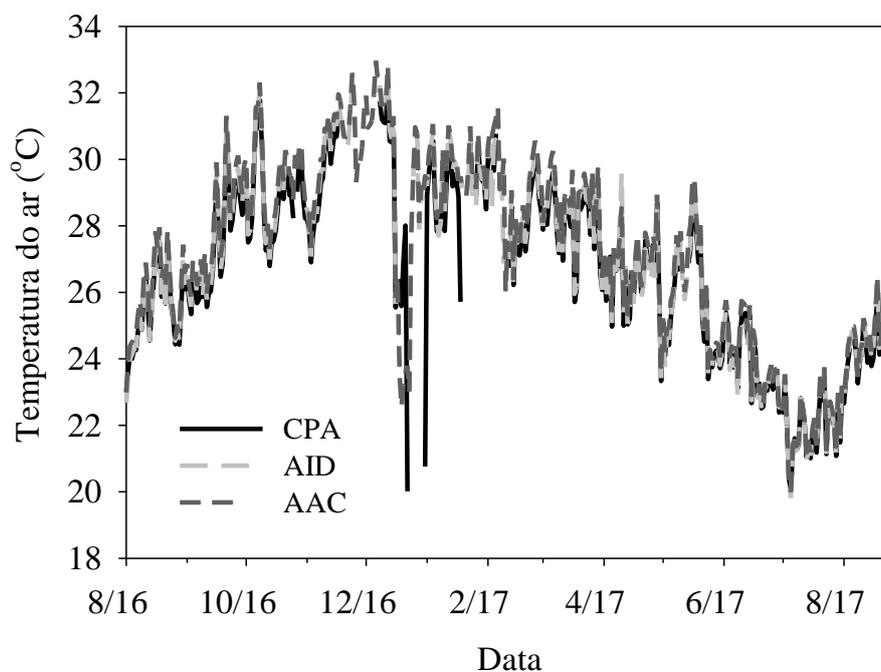


Mês	CPA			AID			AAC		
	α	μ	$1-\alpha$	α	μ	$1-\alpha$	α	μ	$1-\alpha$
Ago-16	0,102	0,104 ^{CDEa}	0,106	0,034	0,037 ^{CDab}	0,039	0,034	0,036 ^{Cb}	0,038
Set-16	0,105	0,106 ^{CDEa}	0,107	0,032	0,033 ^{CDc}	0,034	0,034	0,035 ^{Cb}	0,036
Out-16	0,100	0,101 ^{DEa}	0,103	0,025	0,030 ^{Dc}	0,034	0,031	0,034 ^{Cb}	0,037
Nov-16	0,098	0,099 ^{EFa}	0,101	0,023	0,025 ^{Dc}	0,026	0,029	0,030 ^{Cb}	0,031
Dez-16	0,095	0,107 ^{CDEa}	0,119	0,020	0,028 ^{Db}	0,036	0,026	0,031 ^{Cb}	0,037
Jan-17	0,105	0,110 ^{CDEa}	0,114	0,025	0,028 ^{Dc}	0,032	0,029	0,033 ^{Cb}	0,036
Fev-17	0,106	0,116 ^{BCa}	0,127	0,026	0,033 ^{CDb}	0,040	0,031	0,036 ^{Cb}	0,041
Mar-17	0,111	0,123 ^{Ba}	0,135	0,040	0,046 ^{BCDb}	0,051	0,032	0,041 ^{BCb}	0,051
Abr-17	0,143	0,163 ^{Aa}	0,182	0,064	0,103 ^{Ab}	0,143	0,073	0,084 ^{Ab}	0,094
Mai-17	0,098	0,108 ^{CDEa}	0,118	0,000	0,059 ^{BCb}	0,124	0,042	0,055 ^{Bb}	0,068
Jun-17	0,077	0,112 ^{BCDa}	0,147	0,001	0,070 ^{Ba}	0,140	0,034	0,088 ^{Aa}	0,142
Jul-17	0,087	0,088 ^{FGa}	0,090	0,034	0,034 ^{CDb}	0,051	0,035	0,043 ^{BCb}	0,051
Ago-17	0,076	0,084 ^{Ga}	0,093	0,035	0,035 ^{CDb}	0,055	0,025	0,039 ^{Cb}	0,053

CPA - área de caatinga com perturbação antrópica; AID - área com indícios de desertificação; AAC - área de agroecossistema de cactáceas.

Médias (μ) na vertical seguidas pela mesma letra maiúscula não se diferem entre si ao nível de significância ($\alpha < 0,05$), ou seja, não há diferença entre os meses no mesmo sítio, enquanto, médias na horizontal seguidas pela mesma letra minúscula não se diferem entre si ao nível de significância ($\alpha < 0,05$), ou seja, não há diferença entre as superfícies no mesmo mês, pelo teste paramétrico de Fisher. α , $1-\alpha$ - indicam o intervalo de confiança.

Figura 3.8 - Umidade do solo ($m^3 m^{-3}$) na área de caatinga com perturbação antrópica, desmatada para fins agrícolas e com agroecossistema de cactáceas no Semiárido brasileiro.

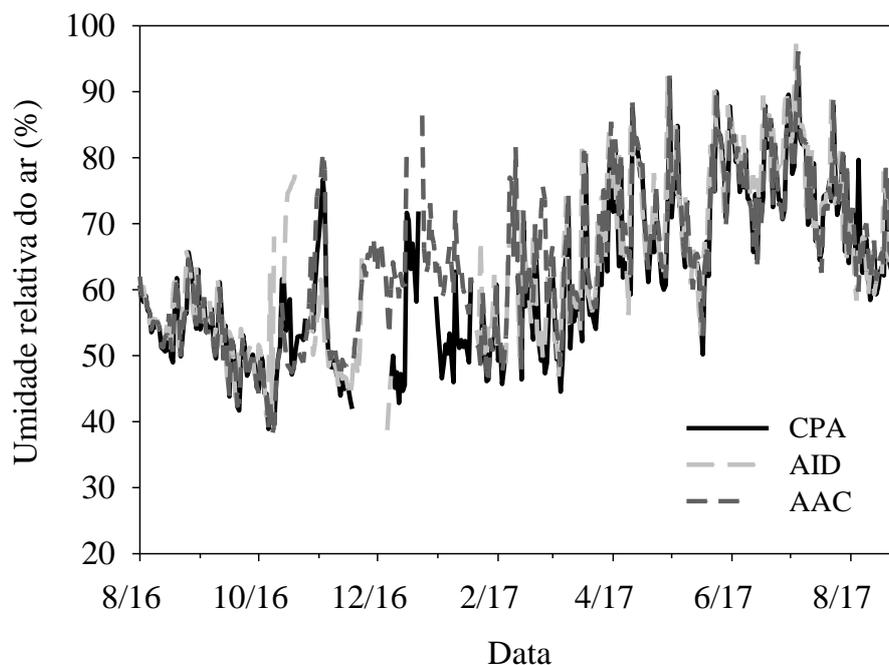


Mês	CPA			AID			AAC		
	α	μ	1- α	α	μ	1- α	α	μ	1- α
Ago-16	25,0	25,4 ^{Fa}	25,9	25,0	25,5 ^{Fa}	25,9	25,4	25,8 ^{Fa}	26,3
Set-16	26,8	27,4 ^{CDa}	28,0	27,0	27,6 ^{Da}	28,2	27,4	28,0 ^{Da}	28,5
Out-16	28,4	28,8 ^{Ab}	29,3	27,8	28,4 ^{Cb}	29,0	29,0	29,5 ^{Ba}	29,9
Nov-16	27,6	28,3 ^{ABc}	28,9	28,7	29,4 ^{Ab}	30,1	29,9	30,4 ^{Aa}	30,8
Dez-16	26,3	27,3 ^{Db}	28,3	27,9	28,7 ^{ABCab}	29,5	27,9	29,1 ^{BCa}	30,3
Jan-17	28,3	28,8 ^{ABb}	29,3	28,9	29,3 ^{ABab}	29,7	29,3	29,6 ^{ABa}	29,9
Fev-17	27,6	28,2 ^{ABb}	28,8	28,0	28,6 ^{BCab}	29,1	28,5	29,1 ^{BCa}	29,7
Mar-17	27,7	28,1 ^{BCb}	28,5	27,9	28,3 ^{CDab}	28,6	28,3	28,7 ^{CDa}	29,1
Abr-17	26,1	26,5 ^{Ea}	26,9	26,1	26,5 ^{Ea}	26,9	26,4	26,8 ^{Ea}	27,2
Mai-17	25,1	25,7 ^{Fa}	26,3	25,2	25,8 ^{Fa}	26,4	25,5	26,1 ^{EFa}	26,7
Jun-17	23,5	23,8 ^{Ga}	24,2	23,5	23,8 ^{Ga}	24,1	23,7	24,1 ^{Ga}	24,5
Jul-17	21,6	21,9 ^{Ha}	22,2	21,6	22,0 ^{Ha}	22,3	21,7	22,1 ^{Ha}	22,4
Ago-17	23,8	24,2 ^{Ga}	24,6	24,0	24,3 ^{Ga}	24,7	24,2	24,6 ^{Ga}	25,0

CPA - área de caatinga com perturbação antrópica; AID - área com indícios de desertificação; AAC - área de agroecossistema de cactáceas.

Médias (μ) na vertical seguidas pela mesma letra maiúscula não se diferem entre si ao nível de significância ($\alpha < 0,05$), ou seja, não há diferença entre os meses no mesmo sítio, enquanto, médias na horizontal seguidas pela mesma letra minúscula não se diferem entre si ao nível de significância ($\alpha < 0,05$), ou seja, não há diferença entre as superfícies no mesmo mês, pelo teste paramétrico de Fisher. α , 1- α - indicam o intervalo de confiança.

Figura 3.9 - Temperatura do ar (°C) em área de caatinga com perturbação antrópica, desmatada para fins agrícolas e com agroecossistema de cactáceas no Semiárido brasileiro.

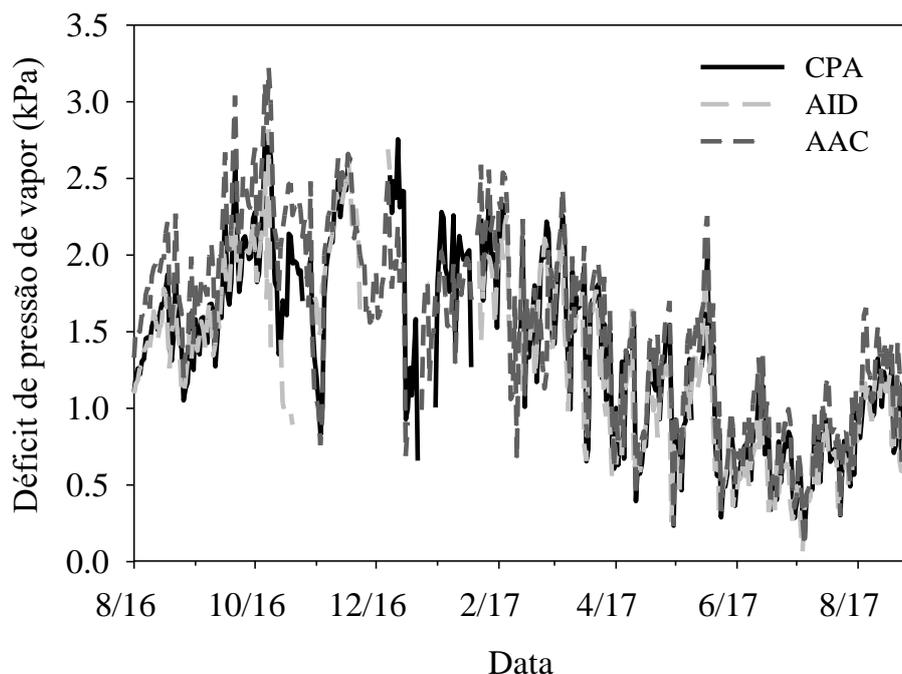


Mês	CPA			AID			AAC		
	α	μ	$1-\alpha$	α	μ	$1-\alpha$	α	μ	$1-\alpha$
Ago-16	54,3	55,9 ^{EFa}	57,5	55,4	56,9 ^{FGa}	58,4	55,1	56,5 ^{Ga}	57,9
Set-16	49,4	51,1 ^{Ga}	52,8	50,6	52,2 ^{Hab}	53,8	49,4	51,0 ^{Hb}	52,7
Out-16	49,1	51,6 ^{EFb}	54,1	57,1	61,0 ^{DEa}	64,9	47,6	50,5 ^{Hb}	53,3
Nov-16	52,6	56,3 ^{DEab}	60,0	50,8	53,6 ^{GHb}	56,5	54,1	58,0 ^{Ga}	61,8
Dez-16	55,8	58,8 ^{DEb}	61,8	60,0	62,5 ^{CDEb}	64,9	62,7	65,2 ^{EFa}	67,6
Jan-17	51,3	53,3 ^{FGb}	55,2	59,1	61,2 ^{DEab}	63,2	56,4	58,6 ^{Ga}	60,9
Fev-17	53,7	56,4 ^{EFb}	59,0	55,9	58,6 ^{EFb}	61,4	59,3	63,0 ^{Fa}	66,6
Mar-17	57,3	60,9 ^{Da}	64,5	59,7	63,4 ^{CDa}	67,0	60,4	63,9 ^{Fa}	67,4
Abr-17	67,0	70,3 ^{BCa}	73,7	69,4	72,5 ^{Ba}	75,6	69,9	72,9 ^{BCa}	76,0
Mai-17	67,6	71,2 ^{Ba}	74,8	69,5	73,0 ^{Ba}	76,5	68,5	71,9 ^{CDa}	75,2
Jun-17	74,8	77,1 ^{Aab}	79,4	78,3	80,3 ^{Aa}	82,3	74,7	77,1 ^{Ab}	79,4
Jul-17	73,6	76,3 ^{Aa}	79,0	74,4	77,3 ^{Aa}	80,1	73,7	76,6 ^{ABa}	79,5
Ago-17	64,5	67,1 ^{Ca}	69,7	63,8	66,3 ^{Ca}	68,8	65,9	68,7 ^{DEa}	71,5

CPA - área de caatinga com perturbação antrópica; AID - área com indícios de desertificação; AAC - área de agroecossistema de cactáceas.

Médias (μ) na vertical seguidas pela mesma letra maiúscula não se diferem entre si ao nível de significância ($\alpha < 0,05$), ou seja, não há diferença entre os meses no mesmo sítio, enquanto, médias na horizontal seguidas pela mesma letra minúscula não se diferem entre si ao nível de significância ($\alpha < 0,05$), ou seja, não há diferença entre as superfícies no mesmo mês, pelo teste paramétrico de Fisher. α , $1-\alpha$ - indicam o intervalo de confiança.

Figura 3.10 - Umidade relativa do ar (%) em áreas de caatinga com perturbação antrópica, com indícios de desertificação e agroecossistema de cactáceas no Semiárido brasileiro.

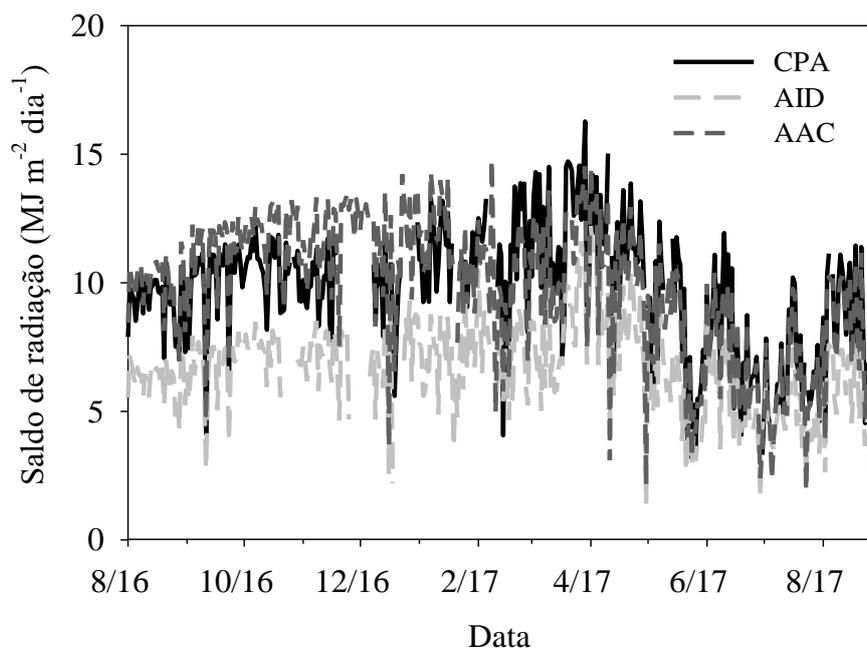


Mês	CPA			AID			AAC		
	α	μ	$1-\alpha$	α	μ	$1-\alpha$	α	μ	$1-\alpha$
Ago-16	1,36	1,44 ^{Db}	1,52	1,34	1,41 ^{Db}	1,48	1,63	1,73 ^{DEa}	1,82
Set-16	1,68	1,80 ^{ABb}	1,92	1,68	1,78 ^{ABb}	1,88	1,98	2,12 ^{ABa}	2,26
Out-16	1,80	1,94 ^{Ab}	2,08	1,29	1,47 ^{CDc}	1,65	2,13	2,29 ^{Aa}	2,46
Nov-16	1,55	1,75 ^{BCc}	1,95	1,74	1,92 ^{Ab}	2,09	1,82	2,01 ^{BCa}	2,21
Dez-16	1,38	1,59 ^{CDa}	1,79	1,23	1,36 ^{Db}	1,48	1,54	1,68 ^{Ea}	1,82
Jan-17	1,76	1,88 ^{ABa}	1,99	1,35	1,45 ^{Db}	1,56	1,81	1,91 ^{CDa}	2,02
Fev-17	1,56	1,70 ^{BCa}	1,85	1,49	1,63 ^{BCa}	1,76	1,50	1,68 ^{Ea}	1,87
Mar-17	1,35	1,50 ^{Dab}	1,66	1,27	1,41 ^{Db}	1,56	1,48	1,64 ^{Ea}	1,80
Abr-17	0,91	1,04 ^{Ea}	1,17	0,84	0,96 ^{Ea}	1,07	0,99	1,13 ^{Fa}	1,27
Mai-17	0,83	0,99 ^{Eab}	1,14	0,78	0,92 ^{Eb}	1,07	0,97	1,15 ^{Fa}	1,33
Jun-17	0,61	0,68 ^{Fb}	0,76	0,52	0,58 ^{Fb}	0,65	0,72	0,81 ^{Ga}	0,91
Jul-17	0,55	0,63 ^{Fa}	0,70	0,53	0,60 ^{Fa}	0,68	0,62	0,72 ^{Ga}	0,82
Ago-17	0,94	1,02 ^{Eab}	1,11	0,95	1,03 ^{Ea}	1,11	1,02	1,15 ^{Fa}	1,28

CPA - área de caatinga com perturbação antrópica; AID - área com indícios de desertificação; AAC - área de agroecossistema de cactáceas.

Médias (μ) na vertical seguidas pela mesma letra maiúscula não se diferem entre si ao nível de significância ($\alpha < 0,05$), ou seja, não há diferença entre os meses no mesmo sítio, enquanto, médias na horizontal seguidas pela mesma letra minúscula não se diferem entre si ao nível de significância ($\alpha < 0,05$), ou seja, não há diferença entre as superfícies no mesmo mês, pelo teste paramétrico de Fisher. α , $1-\alpha$ - indicam o intervalo de confiança.

Figura 3.11 - Déficit de pressão de vapor d'água (kPa) em áreas de caatinga com perturbação antrópica, com indícios de desertificação e agroecossistema de cactáceas no Semiárido brasileiro.



Mês	CPA			AID			AAC		
	α	μ	$1-\alpha$	α	μ	$1-\alpha$	α	μ	$1-\alpha$
Ago-16	8,9	9,3 ^{EFb}	9,7	6,0	6,2 ^{CDc}	6,5	9,5	9,9 ^{Da}	10,3
Set-16	9,4	10,1 ^{DEb}	10,7	6,3	6,8 ^{BCc}	7,2	10,3	10,9 ^{ABCa}	11,6
Out-16	10,2	10,6 ^{CDb}	10,9	7,0	7,2 ^{Bc}	7,5	11,5	11,9 ^{Aa}	12,3
Nov-16	9,5	9,8 ^{DEb}	10,2	6,8	7,3 ^{Bc}	7,5	11,2	11,8 ^{Aa}	12,3
Dez-16	9,2	9,7 ^{DEa}	10,1	6,3	6,9 ^{BCb}	7,5	10,6	11,4 ^{ABa}	12,3
Jan-17	10,3	10,8 ^{BCa}	11,2	6,7	7,1 ^{Bb}	7,7	10,7	11,3 ^{ABa}	11,9
Fev-17	10,0	10,9 ^{BCa}	11,7	6,8	7,3 ^{Bc}	7,9	9,1	10,0 ^{CDb}	10,8
Mar-17	11,2	12,1 ^{Aa}	12,9	7,5	8,2 ^{Ab}	8,9	10,4	11,1 ^{ABa}	11,8
Abr-17	10,9	11,6 ^{ABDa}	12,3	7,6	8,4 ^{Ab}	9,2	9,5	10,6 ^{BCDa}	11,6
Mai-17	7,1	8,1 ^{GHa}	9,0	4,9	5,5 ^{Eb}	6,1	6,8	7,7 ^{CEFa}	8,5
Jun-17	6,8	7,6 ^{Hla}	8,4	4,9	5,5 ^{Eb}	6,1	6,3	7,0 ^{Fa}	7,8
Jul-17	6,1	6,8 ^{Ia}	7,4	4,4	4,8 ^{Fb}	5,2	5,3	5,9 ^{Ga}	6,6
Ago-17	7,8	8,7 ^{FGa}	9,5	5,4	6,0 ^{DEb}	6,6	7,4	8,3 ^{Ea}	9,1

CPA - área de caatinga com perturbação antrópica; AID - área com indícios de desertificação; AAC - área de agroecossistema de cactáceas.

Médias (μ) na vertical seguidas pela mesma letra maiúscula não se diferem entre si ao nível de significância ($\alpha < 0,05$), ou seja, não há diferença entre os meses no mesmo sítio, enquanto, médias na horizontal seguidas pela mesma letra minúscula não se diferem entre si ao nível de significância ($\alpha < 0,05$), ou seja, não há diferença entre as superfícies no mesmo mês, pelo teste paramétrico de Fisher. α , $1-\alpha$ - indicam o intervalo de confiança.

Figura 3.12 - Saldo de radiação ($\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$) em áreas de caatinga com perturbação antrópica, com indícios de desertificação e agroecossistema de cactáceas no Semiárido brasileiro.