



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ**

**CENTRO DE CIÊNCIAS**

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESENVOLVIMENTO E MEIO  
AMBIENTE - DDMA/PRODEMA**

**GEORGE SAMPAIO MARTINS**

**RELAÇÃO ENTRE O GRAU DE CONSERVAÇÃO DA COBERTURA VEGETAL  
E OS VERANICOS AGRÍCOLAS NA BACIA DO ALTO JAGUARIBE - CEARÁ**

**FORTALEZA**

**2017**

GEORGE SAMPAIO MARTINS

RELAÇÃO ENTRE O GRAU DE CONSERVAÇÃO DA COBERTURA VEGETAL E  
OS VERANICOS AGRÍCOLAS NA BACIA DO ALTO JAGUARIBE - CEARÁ

Tese apresentada ao Curso de Doutorado em  
Desenvolvimento e Meio Ambiente, Centro de  
Ciências, da Universidade Federal do Ceará,  
em cumprimento às exigências para a obtenção  
do Grau de Doutor.

Área de concentração: Desenvolvimento e  
Meio Ambiente.

Linha de Pesquisa: Meio ambiente e Agrárias

Orientador: Prof. Dr. José Carlos de Araújo

FORTALEZA

2017

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal do Ceará  
Biblioteca Universitária

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

M343r Martins, George Sampaio.

Relação entre o grau de conservação da cobertura vegetal e os veranicos agrícolas na bacia do alto Jaguaribe - Ceará / George Sampaio Martins. – 2017.

112 f. : il. color.

Tese (doutorado) – Universidade Federal do Ceará, Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação, Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Fortaleza, 2017.

Orientação: Prof. Dr. José Carlos de Araújo.

1. Veranicos. 2. Agricultura de sequeiro. 3. Preservação ambiental. I. Título.

CDD 333.7

---

GEORGE SAMPAIO MARTINS

RELAÇÃO ENTRE O GRAU DE CONSERVAÇÃO DA COBERTURA VEGETAL E  
OS VERANICOS AGRÍCOLAS NA BACIA DO ALTO JAGUARIBE - CEARÁ

Tese apresentada ao Curso de Doutorado em  
Desenvolvimento e Meio ambiente da  
Universidade Federal do Ceará em cumprimento  
às exigências para a obtenção do Grau de  
Doutor.

Área de concentração: Desenvolvimento e Meio  
Ambiente.

Aprovada em 19 de janeiro de 2017

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Dr. José Carlos de Araújo

Universidade Federal do Ceará - UFC

---

Prof. Dr. Thales Vinicius de Araújo Viana

Universidade Federal do Ceará - UFC

---

Prof. Dr. Francisco Casimiro Filho

Universidade Federal do Ceará - UFC

---

Prof. Dr. José Adolfo de Almeida Neto

Universidade Estadual de Santa Cruz - UESC

---

Prof. Dr. José Carlos Parente de Oliveira

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará - IFCE

Aos meus avós maternos, José Orlando e  
Assizina (*in memoriam*) e meus pais,

DEDICO

## **AGRADECIMENTOS**

Ao Prof. Dr. José Carlos de Araújo pela amizade, apoio e orientação fundamentais no desenvolvimento deste trabalho;

À Universidade Federal do Ceará, através do PRODEMA, pela oportunidade oferecida para a realização deste curso;

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará pela liberação para realização da pesquisa;

Ao Grupo de pesquisas HIDROSED da Universidade Federal do Ceará, pelo fornecimento dos dados de precipitação da estação EP2 em área preservada;

À Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos, pela disponibilidade dos dados de precipitação diários no período de estudos para os postos de entorno da ESEC-Aiuaba;

Ao Laboratório de Fenologia e Índices de Vegetação (VIP-Lab) da Universidade Estadual do Arizona, USA, na pessoa do Dr. Kamel Didan, pelos dados de sensoriamento remoto, que foram gentilmente cedidos;

Aos professores e colegas do PRODEMA que direta ou indiretamente contribuíram para a realização do trabalho.

À minha família, esposa e filhos pela paciência e apoio.

A Deus, pela vida.

## RESUMO

As áreas semiáridas da região Nordeste do Brasil são caracterizadas pela deficiência hídrica e fragilidade dos recursos naturais, apresentando uma grande diversidade geográfica e climática e um variado potencial de exploração. No Ceará, com mais de 85% da área do estado no semiárido, a agricultura de sequeiro representa uma parcela significativa da economia, sujeita a irregularidades na distribuição das chuvas (veranicos), podendo causar grandes desequilíbrios na produção agrícola local. Além disso, existe uma pressão constante sobre os recursos naturais, destacando-se o uso intensivo da terra e o desmatamento, que leva a um processo de degradação. Pesquisas nas últimas décadas destacam os impactos das alterações na cobertura da terra no clima local em especial na temperatura do ar, umidade do solo e do ar, fluxos de calor, circulação e precipitações, com resultados variáveis, dependendo da escala de estudo e da metodologia usadas. Neste trabalho, objetivou-se estudar as características espaço-temporais das precipitações atmosféricas na estação chuvosa (EC) para dez postos na bacia do Alto Jaguaribe, semiárido cearense, com ênfase nos veranicos, suas relações com o grau de cobertura do entorno e impactos na agricultura de sequeiro da região. Para tal, foram escolhidos dez postos pluviométricos, compreendendo os municípios de Arneiroz, Aiuaba, Antonina do Norte e Campos Sales, com registros de precipitação diária entre os anos de 1995 e 2014 e período variável de dados disponíveis de posto para posto. Os postos foram divididos em dois perfis de estudo: Perfil leste e perfil oeste, que seccionam a Estação Ecológica de Aiuaba - CE (ESEC) em diferentes condições de formação vegetal, bem como topografia em uma área com dimensões aproximadas de 30 km x 60 km. O padrão de desenvolvimento da cobertura vegetal no entorno dos postos durante a EC foi obtido de sensoriamento remoto, na forma de dois índices: O NDVI (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada) e o EVI (Índice de Vegetação Melhorado). Os impactos da cobertura vegetal nos veranicos foram avaliados através de correlação estatística. Em seguida, foi calibrado o modelo agrometeorológico de Doorenbos e Kassan (1979) através do software CROPWAT versão 8.0 na opção sequeiro, que integra dados da distribuição das chuvas, vegetação e armazenamento de água no solo, para estimativa de quebra de safra e produção de sequeiro na região, tendo como referência a cultura do milho (*Zea Mays L.*). Os resultados mostraram que há uma grande variabilidade nos veranicos anuais na bacia do Alto Jaguaribe de ano para ano,

com maior severidade nos setores Norte - Noroeste da área de estudo, em área de caatinga fortemente degradada, enquanto no setor Sul-Sudeste observaram-se menores durações médias e menores frequências de veranicos longos e veranicos máximos em área de vegetação mais conservada, o que caracteriza um gradiente de Sul-Sudeste (veranicos mais brandos) a Norte-Noroeste (veranicos mais severos). Esse comportamento acompanha a mesma tendência de cobertura vegetal: No setor Sul-Sudeste com maiores índices de cobertura vegetal, associados à caatinga arbustiva-arbórea mais conservada; enquanto que, na porção Norte-Noroeste, com os menores índices vegetacionais representantes de caatinga degradada. Observou-se uma forte correlação estatística inversa entre as durações dos veranicos e suas frequências com os índices de vegetação médios de vários anos o que sugere uma interação em mesoescala, com a vegetação tendo influência na definição das características dos veranicos. As áreas com vegetação de entorno mais conservada apresentaram, veranicos de menor duração e menos frequentes que aquelas com vegetação degradada. As áreas conservadas apresentaram maiores níveis de produtividade de milho (*Zea Mays L.*) em regime de sequeiro. As diferenças na produção (simuladas com base em dados climatológicos de 1985 a 2010) demonstram ser estatisticamente significativas na média dos 26 anos simulados. As simulações mostraram que o cultivo em áreas mais conservadas implica um incremento de cerca de 70% na renda média dos produtores advinda da agricultura de sequeiro.

**Palavras-Chave:** Veranicos. Agricultura de sequeiro. Desmatamento. Preservação ambiental. Semiárido.

## ABSTRACT

The Brazilian semi-arid region is characterized by water deficiency and fragile natural resources, presenting a great geographical and climatic diversity and exploration potential. In the State of Ceará, where more than 85% of its total area is within the semiarid region, rainfed agriculture represents a significant part of the economy, subject to irregularities in rainfall distribution and dryspells, which causes large uncertainties in local and smallholder agricultural production. In addition, there is a constant pressure on natural resources, especially deforestation, which leads to land degradation. Research initiatives in the last decades highlight that changes in land cover impacts the local climate, especially on air temperature, soil and air humidity, heat flows, atmospheric circulation and rainfall, with different results, depending on the study scale and the methodology applied. The purpose of this study was to study the spatial and temporal characteristics of rainfall in the rainy season for ten meteorological stations in the Alto Jaguaribe basin, semi-arid region of Ceará, with emphasis on dryspell duration, its relation to the surrounding vegetation cover and impacts on rainfed agriculture of the region. The rainfall data ranged from 1995 and 2014 years with variable available data between stations. The meteorological stations were divided into two study profiles: East profile and west profile, which crosses the Aiuaba Ecological Station (ESEC) with different land use and vegetation conditions, as well as topography in an area with dimensions 30 km x 60 km. The vegetation pattern surrounding each station during the rainy season was obtained from remote sensing with two indexes: NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) and EVI (Improved Vegetation Index) with 5.6 km global resolution. The impacts of vegetation cover on dryspell duration and frequency were evaluated through statistical correlation. Additionally, the Doorenbos and Kassan (1979) agro meteorological model that integrates data of plant physiology, precipitation and soil water storage to estimate crop failure and rainfed production through the CROPWAT version 8.0 was calibrated and validated for maize (*Zea Mays L.*) yield prediction. The results showed a large inter-annual variability for dryspell length and also vegetation indexes during the rainy season (EC) between the months of January and May. There was a high and significant negative correlation between the average dryspell lengths and EVI, a high negative correlation between longer dryspells and EVI for all stations and profiles, with statistical differences for the common years of data between stations as comparing to total years, suggesting a meso-scale influence. The model simulation was applied for two stations with contrasting land cover densities for a 26-year period of rain data and similar soil and technology used. Results

showed significant difference in maize production with higher yield levels for the station surrounded by denser vegetation cover in the south. In this environment, smallholder agriculture incomes were 52% higher compared to the less vegetated areas.

**Keywords:** Dryspells. Rainfed agriculture. Deforestation. Environmental conservation. Semi-arid.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Valor - limite de dia seco e soma dos dias secos (veranico). Fonte: adaptado de Pertussati (2013).....	24
Figura 2 - Área de estudo e localização da Estação Ecológica de Aiuaba.....	43
Figura 3 - Topografia e distribuição dos postos dos perfis leste (E) e oeste (W).....	51
Figura 4 - Duração média de veranicos. Valores médios do período dos anos coincidentes para os dez postos estudados.....	63
Figura 5 - Índices de vegetação EVI e veranicos médios do período dos anos coincidentes na área de estudo.....	69
Figura 6 - Correlação entre duração média de veranicos (DMV) e índice EVI para o perfil leste (E). Valores anuais.....	69
Figura 7 - Correlação entre duração de veranicos máximos (VMX) e índice EVI para perfil leste (E). Valores anuais.....	70
Figura 8 - Correlação entre Frequência de veranicos longos (FVL) e índice EVI para perfil leste (E). Valores anuais.....	70
Figura 9 - Correlação entre duração de média veranicos (DMV) e índice EVI para perfil oeste (W).....	71
Figura 10 - Correlação entre duração de veranicos máximos (VMX) e índice EVI para o perfil oeste (W). Valores anuais.....	71
Figura 11 - Índices de vegetação EVI e NDVI na estação chuvosa de cada ano para os postos do perfil Oeste (W).....	72
Figura 12 - Correlação entre duração média de veranicos (DMV) e o índice de vegetação EVI para todos os postos. Valores anuais.....	72
Figura 13 - Correlação entre duração de veranicos máximos (VMX) e o índice de vegetação EVI para todos os postos. Valores anuais.....	74
Figura 14 - Correlação entre frequência de veranicos longos (FVL) e índice de vegetação EVI para todos os postos. Valores anuais.....	76
Figura 15 - Correlação entre duração de veranicos (DMV) e índice EVI para o perfil leste (E) para todos os postos. Valores médios de anos coincidentes.....	76

Figura 16 -	Correlação entre duração de veranicos máximos (VMX) e índice EVI para o perfil leste (E) para todos os postos. Valores médios de anos coincidentes.....	77
Figura 17 -	Correlação entre Frequência de veranicos longos (FVL) e índice EVI para o perfil leste (E). Valores médios de anos coincidentes.....	77
Figura 18 -	Correlação entre duração de veranicos (DMV) e índice EVI para o perfil oeste (W). Valores médios de anos coincidentes.....	78
Figura 19 -	Correlação entre duração de veranicos máximos (VMX) e índice EVI para o perfil oeste(W). Valores médios de anos coincidentes.....	78
Figura 20 -	Correlação entre Frequência de veranicos longos (FVL) e índice EVI para perfil oeste (W). Valores médios de anos coincidentes.....	78
Figura 21 -	Duração de veranicos (DMV) em função do índice de vegetação EVI para todos os postos. Valores médios dos anos coincidentes.....	79
Figura 22 -	Duração de veranicos (DMV), altitude e índice de vegetação de entorno dos postos do perfil oeste (a) e perfil leste (b)- Valores médios de anos coincidentes.....	82
Figura 23 -	Correlação entre a produtividade de milho (Zea Mays L.) estimada e produtividade observada para o posto de Caatinga conservada W <sub>2</sub> . Calibração.....	85
Figura 24 -	Correlação entre a produtividade de milho (Zea Mays L.) estimada e produtividade observada para o posto de caatinga conservada E <sub>2</sub> . Validação.....	85
Figura 25 -	Correlação entre produtividade de milho (Zea Mays L.) estimada e observada para o posto de caatinga degradada E <sub>1</sub> . Calibração.....	86
Figura 26 -	Correlação entre produtividade de milho (Zea Mays L.) estimada e observada para o posto de caatinga degradada E <sub>2</sub> . Validação.....	86
Figura 27 -	Simulação da produtividade de milho (Zea Mays L.) para o posto de caatinga degradada (E <sub>1</sub> ) e de caatinga conservada (E <sub>2</sub> ) .....	88
Figura 28 -	Simulação da produtividade de milho (Zea Mays L.) para o posto de caatinga degradada (E <sub>1</sub> ) e caatinga conservada (E <sub>2</sub> ).....	89
Figura 29 -	Análise estatística da produtividade de milho (Zea Mays L.) simulada em área de caatinga degradada (E <sub>1</sub> ) e caatinga conservada (E <sub>2</sub> ).....	90
Figura 30 -	Renda da produção de Milho (Zea Mays L.) por hectare para o posto em área de caatinga conservada (E <sub>2</sub> ).....	91

Figura 31 - Renda da produção de Milho ( <i>Zea Mays L.</i> ) por hectare para o posto em área de caatinga degradada E <sub>1</sub> .....	91
Figura 32 - Distribuição da precipitação média na estação chuvosa (1985-2010) para posto em caatinga degradada (E <sub>1</sub> ) e em caatinga conservada (E <sub>2</sub> ).....	92

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Classes de solos predominantes na área de estudo.....	44
Tabela 2 -	Descrição geográfica dos postos.....	45
Tabela 3 -	Postos, localização e série histórica de dados de precipitação.....	50
Tabela 4 -	Condições climáticas dos anos coincidentes a todos os postos.....	50
Tabela 5 -	Critério de interpretação do desempenho pelo índice “c”.....	56
Tabela 6 -	Duração média dos veranicos (DMV), veranicos máximos (VMX) e frequências relativas de veranicos longos (FVL) para os postos do perfil oeste (W).....	60
Tabela 7 -	Duração de veranicos (DMV), veranicos máximos (VMX) e frequências relativas de veranicos longos (FVL). Valores médios em cada perfil.....	61
Tabela 8 -	Duração de veranicos (DMV), veranicos máximos (VMX), frequências relativas de veranicos longos (FVL). Médias dos anos totais a todos os postos.....	61
Tabela 9 -	Duração de veranicos (DMV), veranicos máximos (VMX), frequências relativas de veranicos longos (FVL). Médias dos anos coincidentes a todos os postos.....	62
Tabela 10 -	Índices de vegetação EVI e NDVI na estação chuvosa de cada ano para os postos do perfil leste (E).....	65
Tabela 11 -	Índices de vegetação EVI e NDVI na estação chuvosa de cada ano para os postos do perfil leste (E).....	66
Tabela 12 -	Índices de vegetação EVI e NDVI- Valores médios da estação chuvosa no período total e anos coincidentes aos dez postos.....	67
Tabela 13 -	Correlação estatística entre as variáveis relativas aos veranicos e os índices de vegetação no período total e em anos coincidentes Valores anuais.....	73
Tabela 14 -	Correlações estatísticas entre as variáveis relativas aos veranicos. Valores médios. ....	74
Tabela 15 -	Comparação estatística entre as médias das correlações dos anos totais e coincidentes.....	74
Tabela 16 -	Hierarquização das correlações mais representativas entre As médias das variáveis estudadas para o perfil leste (E).....	75

Tabela 17 -	Hierarquização das correlações mais representativas entre as médias das variáveis estudadas para o perfil oeste.....	81
Tabela 18 -	Comparação de médias de totais pluviométricos na estação chuvosa e produtividade de milho (Zea Mays L.) em função da conservação vegetacional.....	83
Tabela 19 -	Produtividade de Milho (Zea Mays L.) em kg/ha medida na região de estudo..	84
Tabela 20 -	Resumo das características químicas e físico-hídricas dos três principais solos predominantes nos postos estudados.....	93

## LISTA DE ABREVIATURAS

FUNCEME	Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ESEC	Estação Ecológica de Aiuaba
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
ZCIT	Zona de Convergência Intertropical
TSM	Temperatura na Superfície do Mar
MCG	Modelo de Circulação global
SSib	Modelo Simplificado de Superfície
VCAS	Vórtice Ciclônico de Ar Superior
HIDROSED	Grupo de Pesquisas Hidrosedimentológicas
FAO	Food and Agriculture Organization
EMATERCE	Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural do Ceará
NDVI	Normalized Difference Vegetation Index
NDWI	Normalized Difference Water Index
EVI	Enhanced Vegetation Index
CONAB	Companhia Nacional de Abastecimento

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	17
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	20
2.1	Climatologia do Semiárido.....	20
2.2	Veranicos .....	22
2.3	Impactos climáticos das mudanças na cobertura da terra .....	25
2.4	Classificação e análise da vegetação no semiárido.....	31
2.5	Precipitações e produção agrícola .....	35
2.6	Modelagem da produção agrícola .....	37
3	MATERIAL E MÉTODOS .....	42
3.1	Área de estudo.....	42
3.1.1	<i>Localização.....</i>	42
3.1.2	<i>Clima .....</i>	43
3.1.3	<i>Solos .....</i>	44
3.1.4	<i>Vegetação .....</i>	45
3.2	Caracterização e análise de veranicos.....	46
3.2.1	<i>Duração média dos veranicos.....</i>	47
3.2.2	<i>Duração média dos veranicos em um período de estudo .....</i>	48
3.2.3	<i>Veranico máximo .....</i>	48
3.2.4	<i>Veranico máximo médio em um período de estudo.....</i>	48
3.2.5	<i>Frequência relativa de veranicos longos .....</i>	48
3.3	Dados meteorológicos .....	49
3.4	Classificação climática dos postos .....	49
3.5	Perfis de estudo .....	51
3.6	Séries temporais de vegetação .....	52
3.7	Influência da vegetação nos veranicos .....	53
3.8	Impacto dos veranicos na produção agrícola de sequeiro .....	53
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	57
4.1	Caracterização dos Veranicos .....	57
4.2	Padrão temporal da cobertura vegetal e sua relação com veranicos.....	63
4.3	Impactos da distribuição das chuvas e veranicos na produção agrícola .....	83
4.3.1	<i>Calibração e validação de modelagem para produção de milho em sequeiro.....</i>	83
4.3.2	<i>Simulação da produção de milho em sequeiro .....</i>	88

<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES, LIMITAÇÕES E RECOMENDAÇÕES.....</b>	<b>94</b>
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>96</b>
	<b>APÊNDICE A – PARÂMETROS CULTURAIS E DE SOLO .....</b>	<b>105</b>
	<b>ANEXO A – IMAGENS (NDVI/SPOT) DA ÁREA DE ESTUDO .....</b>	<b>107</b>
	<b>ANEXO B – VEGETAÇÃO DO ENTORNO DOS POSTOS .....</b>	<b>108</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A precipitação pluvial tem sido muito estudada em diferentes regiões do mundo, pela sua importância no ciclo hidrológico e a manutenção dos seres vivos no planeta. As secas constituem sério problema para a sociedade humana e para os ecossistemas naturais (SILVA *et al.*, 2010). O conhecimento do regime de precipitação pluvial de uma região, no que concerne à duração e ao final da estação chuvosa, e a possibilidade de se conhecer períodos mais susceptíveis a estiagem (veranicos) dentro dessa estação, são fundamentais para a elaboração de um calendário agrícola e a implantação de projetos agrícolas. Nas áreas em que a distribuição de chuva no tempo e no espaço não é regular, a cultura pode sofrer déficit hídrico. A precipitação pode variar consideravelmente, até mesmo dentro de alguns quilômetros de distância e em escalas de tempo diferentes, tornando as colheitas das culturas imprevisíveis.

A região semiárida do Brasil apresenta características peculiares com relação às outras regiões do país, dentre elas pode-se destacar a ocorrência de precipitações com alta variabilidade espacial e temporal em períodos de dois a cinco meses e variabilidade interanual devido à influência de fenômenos de grande escala resultantes da interação entre a atmosfera e os oceanos tropicais (SOUZA *et al.*, 2001). Além dos eventuais anos secos e da curta duração da estação chuvosa (EC), a região ainda tem outra adversidade climática no tocante à exploração agrícola que é a ocorrência de períodos multidiários com pouquíssima ou nenhuma chuva durante a EC, conhecidos como veranicos. Eles se constituem num sério problema porque, quando vão além de aproximadamente dez dias, durante os estádios fenológicos de floração e de formação da produção causam frustração parcial ou total de safra. Esse tipo de evento é conhecido como “seca verde”. Os veranicos também são muito prejudiciais quando ocorrem no período da emergência das plantas (SILVA; RAO, 2002).

Segundo Molion e Bernardo (2002), As precipitações pluviais estão relacionadas diretamente com a convecção local e esta é controlada pela circulação geral da atmosfera, fenômenos de escala global resultantes da interação entre a superfície do planeta, particularmente a distribuição dos continentes e oceanos, com fornecimento desigual de energia solar, topografia e cobertura vegetal. A variabilidade interanual da distribuição das chuvas sobre a região Nordeste tanto em escala espacial quanto temporal está intimamente relacionada com as configurações de circulação atmosférica de grande escala e a interação oceano-atmosfera nos oceanos Pacífico e Atlântico. Segundo os autores, os principais mecanismos que causam precipitações sobre o Nordeste do Brasil podem ser divididos em

mecanismos de grande e mesoescalas responsáveis pelos maiores totais observados cujo principal é a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) seguido de sistemas frontais e complexos convectivos e mecanismos de microescala como a convecção local, que não pode ser desprezada.

O Estado do Ceará é relativamente aquele que detém maior área na região semiárida cerca de 80 % do seu território, que faz com que a agricultura cearense, de um modo geral, e o pequeno agricultor em especial, tenha dificuldades na sua condução e evolução. Nessa região chove menos de 1000 mm anuais, além de anos secos e dos baixos totais pluviais anuais, a distribuição intra-anual da chuva também é adversa, já que concentra mais de 70% do total em apenas quatro meses. Nessa época, o solo apresenta umidade adequada ao crescimento e ao desenvolvimento das principais culturas tradicionais da região como algodão, feijão e milho. O sucesso das culturas implantadas depende da regularidade e quantidade das chuvas. A variabilidade espacial e temporal da precipitação pluvial nas regiões áridas e semiáridas é fator limitante para a agricultura de sequeiro. Além disso, a região ainda é caracterizada pela ocorrência veranicos, altas temperaturas, baixa umidade do ar e elevadas taxas de evapotranspiração. Dessa forma, as características climáticas dessa região consistem em um sério problema para a agricultura de sequeiro, que depende de uma boa quadra chuvosa. Na região dos Inhamuns, no sudoeste cearense, Medeiros e Araújo (2014) observaram uma alta variabilidade temporal no padrão de distribuição das precipitações. Aliada a isso, a região possui uma grande área degradada decorrente da retirada da vegetação nativa para a expansão das pastagens, sobretudo para a criação de caprinos; do mau uso da terra pelos agricultores devido às técnicas rudimentares e do uso da lenha para a produção de carvão vegetal (REIS *et al.*, 2011).

Nas últimas décadas, a comunidade científica tem se preocupado com estudos de sensibilidade do clima às condições de superfície, destacando os efeitos da alteração da cobertura vegetal em grande e pequena escala sobre o clima (KANAE *et al.*, 2001; LOS *et al.*, 2006; MAAT *et al.*, 2012; MAHMOOD *et al.*, 2014; GE *et al.*, 2014; LAWRENCE *et al.*, 2014). No Brasil, destacam-se trabalhos como os de Oyama e Nobre (2004), Souza (2006), Mello (2011) e Debortoli *et al.* (2011) na sensibilidade do clima às condições de superfície e utilizando simulações de modelos climáticos. Esses modelos requerem parametrizações locais e regionais para melhor representação das condições, pois, igualmente, podem apresentar resultados fora da realidade. Os resultados apontaram que a degradação em pequena escala pode também surtir efeito no clima com resultados variados, aumento de precipitações em

umas regiões e diminuição em outras. Souza (2006) sugere a realização de mais trabalhos de sensibilidade climática com modelos de superfície na região da caatinga considerando dados locais de vegetação.

Com base no exposto surge a questão: O grau de conservação da vegetação pode realmente impactar na distribuição das precipitações e nos veranicos em mesoescala no semiárido? Em caso positivo, que influência pode ser esperada na produção agrícola dependente das chuvas?

Este trabalho teve como objetivo estudar o comportamento espacial e temporal das precipitações atmosféricas na região dos Inhamuns, sudoeste do Ceará, em dois perfis topográficos com diferentes formações vegetais e graus de cobertura de entorno, com ênfase no estudo dos subperíodos secos denominados veranicos e a influência da densidade da vegetação nos mesmos, partindo-se da hipótese de que áreas onde a cobertura vegetal de entorno é mais densa e apresenta maior grau de conservação podem apresentar um controle sobre a distribuição e frequência dos veranicos em escala local. Os objetivos específicos são:

- a) Quantificar as durações e frequências dos veranicos de dez postos situados na bacia do Alto Jaguaribe, região dos Inhamuns, Ceará;
- b) Estudar a dinâmica interanual da cobertura vegetal no entorno dos postos estudados e sua eventual relação com os veranicos;
- c) Avaliar e ajustar um modelo de estimativa de quebra de safra agrícola que considere a distribuição das precipitações e dos veranicos nos postos estudados.

A estrutura do trabalho constou das seguintes etapas: Na primeira etapa uma revisão de literatura sobre as precipitações atmosféricas no Nordeste do Brasil suas características e variações e mecanismos envolvidos, definição de veranicos e critérios para suas delimitações. Outro aspecto está relacionado com a evolução de pesquisas no mundo e Brasil sobre o impacto das condições de superfície na distribuição das precipitações. O uso de medidas de sensoriamento para acompanhar a evolução da vegetação também é abordado nessa parte. Na segunda parte, é feita uma caracterização da área de estudo e distribuição dos perfis com os postos. Na terceira parte, o detalhamento das metodologias para estudo dos veranicos e correlações com índices de vegetação e produção agrícola. Na quarta parte, São apresentados os resultados e discussão e na última parte, as conclusões e recomendações de trabalhos futuros são apresentadas.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Climatologia do Semiárido

Grande parte da superfície do Estado do Ceará está inserida no semiárido nordestino. Em algumas localidades ocorrem totais anuais de chuva menores que 500 mm. Essa adversidade climática se constitui num grande problema socioeconômico, visto que precipitações pluviais controlam a produção das culturas nos trópicos sazonalmente secos. O Estado do Ceará, cuja superfície é de 146.817 km<sup>2</sup>, está situado entre as latitudes dois e 8 graus Sul e as longitudes 37 e 42 graus Oeste. Seu relevo tem altitude variada que, excetuando-se as elevações localizadas, cresce de norte para sul e de leste para oeste, sendo os postos pluviais Camocim (5m) e Mulungu (1050m), de menor e maior altitude, respectivamente.

Oliveira (2014) destaca os principais fenômenos atmosféricos, em escala global, capazes de comandar a dinâmica climática regional nos seguintes: 1 - Zona de Convergência Intertropical (ZCIT): É um dos mais importantes sistemas meteorológicos que atua nos trópicos. Uma banda de baixa pressão e convergência dos alísios em baixos níveis que circunda a faixa equatorial do globo terrestre. Ela é considerada o principal sistema gerador de precipitação no Nordeste brasileiro. Atua na quadra chuvosa de fevereiro a maio e determina os totais anuais. 2 - Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (VCAN): Sistemas de baixa pressão fechados, que se formam na alta troposfera, são também chamados de baixas desprendidas e de baixas frias, pois apresentam centro mais frio que a sua periferia. Eles atuam em dezembro, janeiro e em fevereiro. 3 - Sistemas Convectivos de Mesoescala (SCM): São aglomerados de nuvens que se formam devido às condições locais favoráveis como temperatura, relevo, pressão. Esses sistemas provocam chuvas fortes e de curta duração, normalmente acompanhadas de fortes rajadas de vento. Eles são formados dentro do raio de influência da ZCIT com atuação nos meses de fevereiro a maio. 4 - Linhas de Instabilidade (LI): São bandas de nuvens causadoras de chuva, normalmente do tipo *cúmulos*, organizadas em forma de linha. 5 - Ondas de Leste (OL): São ondas que se formam no campo de pressão atmosférica e estão intimamente associados ao campo de atuação dos ventos alísios, adquirindo uma maior intensidade na baixa troposfera e geralmente atingem o estado do Ceará nos meses de junho a agosto.

Segundo Molion e Bernardo (2002), os mecanismos dinâmicos produtores de chuvas na Região Nordeste podem ser classificados como mecanismos de grande escala,

responsáveis pelos maiores totais precipitados, seguidos pelos mecanismos de meso e microescala que completam os totais observados. Em grande escala destacam-se a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e sistemas frontais. Os complexos convectivos e as perturbações nas correntes dos alísios e brisas marítimas constituem os mecanismos de mesoescala e as circulações orográficas e pequenas células convectivas, os fenômenos de microescala. Para os autores, convecção local não pode ser subestimada como produtora de chuvas já que o mês mais chuvoso (março) também é um dos mais quentes. Os sistemas convectivos (SC) estão inseridos entre as escalas meso- $\alpha$  e meso- $\gamma$ . Nela, a escala meso- $\alpha$  representa os eventos entre 200 e 2000 km, com período que varia de um a três dias. A meso- $\beta$  representa fenômenos entre 20 e 200 km e períodos da ordem de um dia. Já a meso- $\gamma$  representa fenômenos entre dois e vinte quilômetros, com períodos de trinta minutos a algumas horas (MELO, 2011). A evolução dos SCM está frequentemente associada à convecção profunda, cuja formação depende da ação conjunta de vários fatores ambientais tais como instabilidade atmosférica, convergência em baixos níveis, alto teor de umidade e relevo acidentado. O aquecimento radiativo também é um fator importante já que favorece a formação e intensificação da convecção. Um determinado número desses fatores, atuando em conjunto, pode dar origem a diferentes tipos de Sistemas Precipitantes (SP).

A Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) que atinge sua posição mais austral no outono (março a abril) pode ter seu desempenho acentuado ou inibido devido a aspectos meteorológicos em escala global. A relação entre a ZCIT e as anomalias de chuva sobre o norte do Nordeste foi avaliada em 1988 por Nobre e Molion (1988). Em anos de seca no norte do nordeste a ZCIT fica mais ao norte ficando a região sob subsidência atmosférica que, por sua vez, inibe as precipitações. Em anos chuvosos a ZCIT atinge 5° Sul, quando ocorrem anomalias positivas de temperatura na superfície do mar (TSM) no Atlântico sul e negativas no Atlântico norte. Este padrão comportamental de anomalias de temperatura na superfície do mar relacionados com as anomalias de precipitação foi denominado de dipolo de TSM. Portanto, o comportamento da temperatura na superfície do mar conhecido como dipolo do Atlântico interfere diretamente no posicionamento da ZCIT, mais ao norte com seca ou mais ao sul com chuvas (SOUZA, 2006).

Além destes sistemas atmosféricos globais, as condições oceânicas também atuam enquanto sistemas produtores de chuva no Estado do Ceará em decorrência da dinâmica dos deslocamentos de baixa e alta pressão no complexo sistema Oceano-Atmosfera. No Pacífico destacam-se os efeitos do El Niño (aquecimento das águas do oceano) e de La Niña

(resfriamento das águas do oceano). No primeiro caso, há um déficit de chuvas, ocorrendo na maioria dos casos à predominância de tempo seco ou muito seco durante a quadra chuvosa, que é regida pela atuação da ZCIT. Já a La Niña, em boa parte dos casos, contribui para o superávit de chuvas na região (OLIVEIRA, 2014). Os eventos El Niño podem não apresentar relação alta com as secas. Segundo Molion e Bernardo (2002), mais estudos precisam ser desenvolvidos sobre a fenomenologia da variabilidade das chuvas na região. Além desses, existem trabalhos que envolvem a climatologia e os veranicos, avaliando a interferência de fenômenos como El Niño, La Niña, anomalias da Temperatura da Superfície do Mar nos Oceanos Atlântico e no Pacífico e outros aspectos. O interesse nessas análises reside na ideia de avaliar a sensibilidade das regiões para as alterações climáticas e flutuações decorrentes da sua natureza.

As irregularidades no regime pluviométrico são provocadas pelas mudanças da frequência e/ou intensidade dos eventos de precipitação. A variabilidade espacial e temporal da precipitação pluvial na região Nordeste, ainda tem sido pouco estudada apesar de sua importância para o propósito de formulação de estratégias de convivência no semiárido (SILVA *et al.*, 2010). Medeiros e Araújo (2014) em estudos no ambiente semiárido cearense relatam uma alta variabilidade espacial e temporal na distribuição das precipitações na região.

## 2.2 Veranicos

O conhecimento do regime de precipitação pluvial de uma região, no que concerne à duração e ao final da estação chuvosa, e a possibilidade de se conhecer períodos mais susceptíveis a estiagem (veranicos) dentro dessa estação, são fundamentais para a elaboração de um calendário agrícola e a implantação de projetos agrícolas (SILVA *et al.*, 2010). A variabilidade espacial dos recursos naturais nas regiões semiáridas tropicais é específica para cada localidade e se manifesta de forma expressiva na região semiárida do Nordeste brasileiro (VIRMANI *et al.*, 1980). Essa heterogeneidade mostra que não há no Nordeste do Brasil somente um semiárido, mas, vários semiáridos (BNB, 2005). Para Ab'Sáber (1974, citado por Fernandes, 2014), o semiárido do Nordeste é um clima azonal (atípico) de expressão regional.

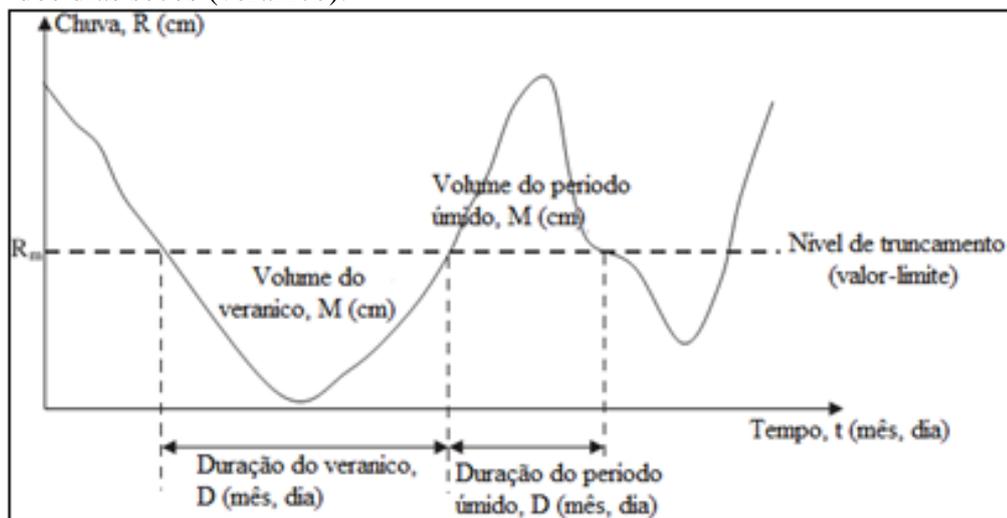
Nesse sentido, uma grande adversidade climática com relação à exploração agrícola é a ocorrência de períodos multidiários com pouquíssima ou nenhuma chuva durante a EC, conhecidos como veranicos. Esse tipo de evento é conhecido como “seca verde”. Os veranicos também são muito prejudiciais quando ocorrem no período da emergência das plantas. Do ponto de vista agroclimático, eles são um fator negativo do regime hídrico na

região do Bioma Caatinga, que pode persistir por meses sem chuvas. Neste particular é conveniente conhecer o espaço geográfico sujeito a este fenômeno e avaliar a intensidade de seus efeitos ecológicos e sociais.

Com relação a veranico, observa-se que a sua definição é muito variável e depende da metodologia usada em cada estudo. Em função da necessidade de critérios para definir tais valores-limites, a definição de veranico é muito divergente. Para Silva e Rao (2002), trata-se da ocorrência de períodos multidiários com pouquíssima ou nenhuma chuva durante a estação chuvosa. Alguns autores acreditam ser mais coerente denominar como dia seco aquele no qual a precipitação diária é inferior à evapotranspiração média diária da região de estudo (PERTUSSATI, 2013).

Inicialmente, é necessário o estabelecimento de um valor-limite de precipitação abaixo do qual um dia pode ser considerado como seco, em seguida, é definido o limite de quantos dias secos são necessários para o período ser denominado veranico. Salienta-se que um único dia seco pode ser considerado veranico, dependendo da metodologia. Tal situação pode ser explicada na Figura 1.

Figura 1 - Variáveis que podem ser estudadas e valor-limite de dia seco e soma dos dias secos (veranico).



Fonte: Pertussati (2013).

Estudos que analisam a frequência e a intensidade de veranicos são necessários em regiões onde os recursos hídricos são escassos e os ecossistemas apresentam maior sensibilidade à disponibilidade de água. Com isso, diversos autores ao redor do mundo têm se

dedicado a investigar a sua ocorrência, probabilidade de ocorrência, espacialização e influência na atividade agrícola relacionada ao clima.

É fundamental realizar uma análise qualitativa dos veranicos, de modo a identificar o seu comportamento espaço-temporal, determinando quais regiões são mais ou menos afetadas, e uma análise quantitativa, avaliando a duração, a frequência, a probabilidade de ocorrência e a sua tendência de ocorrência em um intervalo de tempo ou região (PERTUSSATI, 2013).

Na literatura, pode-se observar a utilização de uma grande quantidade de modelos probabilísticos para descrever os veranicos como Poisson e Binomial e distribuição de extremos de Gumbel e Weibull, além da cadeia de Markov. São muitas as variáveis consideradas nos modelos utilizados, que incluem período analisado e outros parâmetros, dentre elas: média, mensal ou anual, do número de veranicos ocorridos; duração ou comprimento dos veranicos; duração ou comprimento médio dos veranicos no período, mês ou ano; maior veranico dentro do período, mês ou ano; e outras.

Meneses *et al.* (2008), estudando a influência das temperaturas dos oceanos nos veranicos na Paraíba usou dois limites, de 2mm e 4mm para definição de dia seco e considerou um dia seco como veranico. Mupangwa *et al.* (2011), em estudo de veranicos na África semiárida, utilizaram um critério adotando o valor menor que 5 mm na definição de um dia seco e pelo menos um dia para veranico. Pertussati (2013) utilizou três limites de dia seco e três limites de períodos em estudos de veranicos na região Centro-Oeste do Brasil. Reis *et al.* (2011), em estudos de propensão de veranicos na região dos Inhamuns, Ceará, definiu como o limite o valor de 1mm para uma sequência maior ou igual a cinco dias. Fernandes (2014), em estudo de caracterização de veranicos no estado do Ceará para a cultura do feijão-de-corda, utilizou como limite o valor de precipitação diária de 2 mm para definição de interrupção do período seco dentro da estação chuvosa e pelo menos 5 dias secos em sequência na definição do veranico.

Pesquisas de Usman *et al.* (2004), Mongi *et al.* (2010), Mupangwa *et al.* (2011) e Barron *et al.* (2015) relacionam o comportamento dos subperíodos secos denominados veranicos e sua influência nas atividades agrícolas em vários continentes.

No Brasil e especialmente no semiárido, Menezes *et al.* (2010) estudaram a influência da ocorrência de veranicos na Paraíba nas principais culturas agrícolas do estado e os resultados mostraram que as culturas de milho e feijão são altamente influenciadas pela duração dos mesmos, além de detectar um aumento na duração dos períodos sem chuva.

Meneses *et al.* (2008), em estudos sobre a ocorrência de veranicos na Paraíba detectou que algumas regiões apresentam veranicos longos que se correlacionam com o comportamento das temperaturas do oceano Atlântico enquanto outras regiões do estado os mesmos têm alta correlação com o comportamento térmico do oceano Pacífico.

Silva e Rao (2002) determinaram a probabilidade de ocorrência de veranicos no estado do Ceará entre os meses de janeiro a maio. Esses meses foram considerados como meses da estação chuvosa no estado. Os meses de janeiro e junho apresentaram as maiores probabilidades de ocorrência de veranicos descendiais.

Pertussati (2013) determinou as regiões com maiores probabilidades de ocorrência de veranicos e sua variabilidade no estado do Mato Grosso. No seu estudo, detectou que ocorrem diferenciações nas durações e frequências dos veranicos entre os setores norte e sul do estado, com menor probabilidade de ocorrência no setor norte e maior probabilidade no setor sul e que limitações como ausência nos registros de dados diários de precipitação e definição do início da estação chuvosa, podem interferir na caracterização dos mesmos.

Fernandes (2014), em estudo sobre a influência de veranicos na produção agrícola de sequeiro no estado do Ceará, separou a ocorrência dos mesmos em seis classes e observou que as regiões Central, Jaguaribana e dos Inhamuns são as mais vulneráveis do ponto de vista agrícola, por apresentarem frequência de veranicos acima de 20 dias com o dobro do valor das outras regiões do estado. O autor chama atenção para que os estudos de disponibilidade hídrica para as culturas levem em consideração não apenas o total precipitado, mas também o comportamento dos períodos sem chuva na estação chuvosa. Também estudando os veranicos na região dos Inhamuns-Ce, Reis *et al.* (2011) relataram que os mesmos ocorrem frequentemente e com duração máxima de até 30 dias ou mais e que os mesmos apresentam variações de ano para ano acompanhando a variabilidade nas chuvas.

### **2.3 Impactos climáticos das mudanças na cobertura da terra**

Nas últimas décadas, a comunidade científica tem se preocupado com o papel das interações entre a superfície terrestre em especial os efeitos da degradação da cobertura vegetal, em grande, meso e microescala sobre o clima. As regiões semiáridas do globo têm sido estudadas para se entender os mecanismos envolvidos na sua desertificação por processos antropogênicos e climáticos. Inicialmente, os processos desencadeadores de extremos de secas severas ocorridos no continente africano entre as décadas de 60 e 70 do

século passado, região conhecida como Sahel entre o deserto do Saara e a região equatorial chuvosa, despertaram inúmeras discussões e pesquisas em torno do tema (RICHARD, 1990).

Os mecanismos que procuram explicar como a desertificação pode levar a uma redução da precipitação estão associados a uma mudança de albedo e evapotranspiração desencadeando uma sequência de processos que tendem a diminuir a precipitação (CHARNEY, 1977). Charney (1977) apresentou uma simulação computacional de clima usando modelo de circulação geral da atmosfera (MCG) cujo objetivo era explicar o mecanismo envolvido na persistência de secas no Sahel africano. Os resultados indicaram uma redução de 40% na precipitação e na nebulosidade, indicando um mecanismo de retroalimentação decorrente da alteração do albedo. Em seguida, Anthes (1983) sugeriu que mecanismos de retroalimentação podiam ocorrer em regiões semiáridas com o plantio de bandas de vegetação em até 100 km.

Por outro lado, o plantio de árvores ou a conversão do bioma nativo em florestas pode apresentar mecanismo inverso como mostram trabalhos de Shue e Shukla, (1996), em simulações de modelos computacionais de circulação geral (MCG) para o Sahel africano. Atenção especial deve ser dada à representação da cobertura vegetal em modelos de superfície, cuja representação inadequada pode induzir a erros significativos nas previsões.

Dirmeyer e Shukla (1996) usaram simulações para algumas regiões desérticas e semiáridas do planeta incluindo o nordeste do Brasil em um período de 10 anos. De um modo geral, verificou-se um resfriamento da troposfera. Outro efeito foi na distribuição da precipitação com diminuição das chuvas. Taylor e Lebel (1998) sugerem as primeiras evidências de mecanismos de retroalimentação e efeitos da superfície nas precipitações em escala de até 20 km usando dados observacionais no Sahel africano.

Vivoni *et al.* (2006) estudaram as características das precipitações atmosféricas ao longo de um transector topográfico no México e considerando diferentes características superficiais de vegetação para avaliar o papel das interações entre a superfície e a atmosfera durante a estação chuvosa naquela região. Os estudos apontaram que as condições de superfície têm um forte controle sobre as variáveis atmosféricas, destacando-se o papel da topografia e da vegetação.

Xue *et al.* (2010) concluíram que existem grandes áreas de interação biosfera e clima no planeta e que essas interações são fruto de um complexo que envolve vegetação, circulação e características geográficas de cada local.

Costa *et al.* (2010) estudaram os efeitos de diferentes controles nas taxas de evapotranspiração em floresta equatorial concluindo que formações vegetais mais úmidas possuem evapotranspiração controlada por fatores ambientais como fluxo de calor, enquanto que em áreas de vegetação com períodos de seca sazonal, pela condição da própria vegetação como o sistema radicular, por exemplo, têm maior controle do fenômeno.

Daniels *et al.* (2014) detectaram, em três experimentos, que o aumento de áreas urbanizadas na Holanda aumentou o fluxo de calor sensível e diminuiu a quantidade precipitada na maior parte da região.

Maat *et al.* (2014) observaram que a cobertura vegetal, juntamente com topografia podem influenciar nos totais precipitados em épocas diferentes do ano de acordo com a circulação atmosférica predominante. Meng *et al.* (2014), no sudeste australiano, detectaram que as relações entre vegetação e umidade do solo podem ser responsáveis por retroalimentação ou “feedbacks” em escala espacial e temporal, enquanto Zhang *et al.* (2014), utilizando dados observacionais e modelagem, relataram diminuição das temperaturas no norte da China em região mais vegetada e um aumento desse elemento climático em região mais desmatada, devido a alterações nos fluxos de calor latente e calor sensível. Já In e Elthair (2014) mostraram, em simulações de modelos climáticos regionais, impactos de áreas irrigadas no escoamento superficial e precipitações na África ocidental.

Lawrence *et al.* (2014) em estudo de revisão sobre o efeito do desmatamento no clima e na agricultura de regiões tropicais relata que existem limites de desflorestamento que podem gerar aumentos ou diminuição das precipitações. Modelos regionais mostraram que o desflorestamento em grande escala produz diminuição nas precipitações, enquanto que a retirada da vegetação em pequena escala produziu aumento dos totais precipitados no seu entorno devido à circulação e convecção que podem ser induzidas nos limites entre as áreas e durante a ausência de forçantes de larga escala (CORREIA *et al.*, 2008).

Em contraste, alguns estudos observacionais indicaram diminuição de cobertura de nuvens em regiões da América Central durante estação seca e maior cobertura em áreas florestadas. Outros estudos mostram a sensibilidade de precipitações com a cobertura florestal como em Spracklen *et al.* (2012), em correlação de precipitações com densidade vegetal em relação a massas de ar, detectou que 60% dos casos o ar que circula sobre vegetação mais densa produziu duas vezes mais precipitação do que áreas com pouca densidade vegetal.

Segundo esses autores, poucos modelos ligam o efeito da diminuição da cobertura vegetal na disponibilidade hídrica e produção agrícola. Trabalhos como os de Oliveira *et al.*

(2013) mostram, em modelos com simulações de perda de vegetação, uma diminuição na produção de pastos e da pecuária.

Segundo Debortoli *et al.* (2011), o sistema climático em mesoescala é de difícil entendimento, os modelos climatológicos de simulação mais modernos ainda não são capazes de contemplar muitas variáveis que são condições *sine qua non* para a projeção dos cenários de mudanças climáticas. Na opinião de diversos autores a conversão de florestas para agricultura, solo exposto e a queima de vegetação modificam de forma significativa o balanço de energia proveniente dos raios solares que atingem a terra (efeito albedo), assim como a umidade presente no ar, e a ciclagem de diversas partículas e elementos bioquímicos e biogeofísicos que compõem o ciclo hidrológico. Em estudos que relacionam as precipitações no norte do estado do Mato Grosso com o grau de desmatamento, comparativamente entre áreas preservadas e não preservadas utilizando imagens de satélite e precipitação dos postos de 30 anos, apontaram que nas áreas próximas das rodovias apresentaram os menores valores pluviométricos (entre 1300 e 1600 mm de chuva) e nas áreas afastadas das áreas antropizadas valores próximos ou superiores a 2000 mm. Observaram ainda um padrão das chuvas de menor intensidade no ano de 1987, próximos aos eixos rodoviários e núcleos urbanos da região.

Estudos de modelagem, que reduções na cobertura vegetal da região amazônica são capazes de reduzir as precipitações e aumentar a amplitude das secas na região bem como interferir no início da estação chuvosa (BAGLEY *et al.* 2014; BUTT *et al.*, 2011).

Berg e Lang (2016) relatam significativos avanços na pesquisa relacionada às interações das condições de superfície com a atmosfera, envolvendo a reciclagem da precipitação, formação e desenvolvimento de nuvens e radiação. Os autores sugerem a continuidade de pesquisas relacionadas ao tema no futuro.

Os riscos do desflorestamento em áreas tropicais para as atividades agrícolas devem-se a um aumento da temperatura e à diminuição das precipitações. O risco aumenta quando se trata da distribuição espacial e temporal das precipitações o que pode gerar deficiências hídricas e impactos negativos na produção agrícola (LAWRENCE *et al.*, 2014).

Enquanto o total precipitado é importante, o padrão estacional da precipitação é crítico para a produtividade agrícola. Um atraso no início das chuvas, um aumento no comprimento do período seco podem limitar a produtividade. Mudanças no padrão espacial das precipitações também afetam a produção agrícola (BUT *et al.*, 2011; COSTA *et al.*, 2009).

Para Sanchez-Mejia *et al.* (2014), é de importância crucial o estudo das relações entre umidade do solo e desenvolvimento vegetal de áreas semiáridas e áridas. Os mesmos podem fornecer informações importantes sobre as ligações entre o ciclo hidrológico e o sistema climático local, como no caso de retroalimentação e diminuição do albedo.

Caracterizadas pela escassez hídrica e fragilidade dos recursos naturais, as áreas semiáridas do Nordeste brasileiro apresentam uma grande diversidade climática, com um variado potencial de exploração capaz de gerar distintos benefícios à sociedade. A forma de exploração dessas áreas, no decorrer do tempo, vem causando um acentuado declínio da paisagem original com números significativos de indicadores de degradação. No Ceará, onde o semiárido abrange a maior parte da área do estado, estão inseridos 150 municípios de um total de 184. Nessa área, a agricultura de sequeiro, representa uma parcela significativa da atividade econômica e está constantemente, sujeita a irregularidades na distribuição temporal das chuvas (veranicos), capazes de provocar grandes desequilíbrios na produção agrícola local (Fernandes, 2014). Além disso, ocorre uma forte pressão das populações sobre a base dos recursos naturais, com o uso de técnicas agrícolas rudimentares, o que tem contribuído, decisivamente, para a aceleração das ações erosivas em relevos que são fortemente dissecados (FUNCEME, 2014). Mesmo em vertentes com declives íngremes e sob proteção do Código Florestal, não tem havido preocupações com a manutenção do recobrimento vegetal primário que se exhibe muito degradado e em alguns casos, sem possibilidade de recuperação ambiental.

A extração vegetal adquire uma conotação negativa na região por ser uma atividade diretamente ligada aos desmatamentos e avanço da desertificação. Nos meses de agosto a dezembro a extração de lenha é apontada como a principal fonte de renda das famílias rurais. Além da agropecuária, outras atividades impactam negativamente o ecossistema local. Do ponto de vista agroclimático, um fator negativo do regime hídrico na região do Bioma Caatinga, tem sido a incidência de períodos secos na estação das chuvas. Esses períodos podem persistir por meses sem chuvas. Uma condição que tem agravado o efeito dos veranicos é a perda dos estoques de água armazenada através do processo intenso de evapotranspiração. Neste particular é conveniente conhecer o espaço geográfico sujeito a este fenômeno e avaliar a intensidade de seus efeitos ecológicos e sociais (FUNCEME, 2014).

O principal ecossistema do Nordeste é a caatinga, único bioma exclusivamente brasileiro, que ocupa 11% do território nacional, onde vivem aproximadamente 27 milhões de pessoas. Atualmente, cerca de 80% da área deste ecossistema está alterada, tanto por processos que tiveram início na época da colonização do Brasil, como o desmatamento,

quanto por outros mais recentes como a implantação de perímetros de irrigação e a urbanização (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2004).

Os efeitos das mudanças na cobertura do solo em grande escala no Nordeste do Brasil foram avaliados por alguns autores citados a seguir.

Oyama e Nobre (2004) em alguns experimentos numéricos realizados: Controle, desertificação e reflorestamento concluíram que a desertificação resulta num enfraquecimento do ciclo hidrológico: precipitação, evapotranspiração, convergência de umidade e escoamento superficial decrescem. Os estudos realizados com modelos de circulação geral, com ou sem acoplamento com modelos biofísicos, mostram alterações nos processos meteorológicos em consequência de mudanças em características da superfície tais como albedo, índice de área foliar, fração de cobertura vegetal, entre outros. Entretanto, é preciso considerar que as parametrizações e a resolução espacial utilizada não são as mais adequadas para simular mudanças e investigar impactos em escala regional, o que requer o uso de modelos numéricos de mesoescala. Diversos modelos numéricos de mesoescala têm sido utilizados, com ou sem acoplamento com modelos biofísicos, para estudar os impactos de mudanças na cobertura e uso do solo (SOUZA, 2006).

Souza (2006) realizou estudo com modelo de simulação simplificado (SSib), que permite avaliar os efeitos da mudança da cobertura vegetal num amplo espectro de vegetação. Os estudos mostraram que ocorre sensibilidade do clima à mudança vegetal em cinco experimentos, mostrando que a degradação em pequena escala pode surtir efeitos no clima tanto na escala local quanto sazonal. Os resultados foram divergentes entre regiões do Nordeste com efeitos positivos entre simulações de aumento da cobertura vegetal e precipitações para umas áreas e negativos para outras. O Autor sugere em seus trabalhos a continuidade do desenvolvimento de pesquisas relacionadas à sensibilidade do clima no semiárido brasileiro e calibração de modelos para o semiárido.

Para a região Nordeste do Brasil, Oyama e Nobre (2004) utilizaram simulação de modelo de circulação geral (MCG) do Centro de Estudos climáticos e Previsão do Tempo (CPTEC) acoplado a um modelo simplificado (SSiB). Os resultados para a estação chuvosa (março-maio) são analisados. A desertificação resulta num enfraquecimento do ciclo hidrológico: precipitação, evapotranspiração, convergência de umidade e escoamento superficial decrescem. Entretanto, é preciso considerar que as parametrizações e a resolução espacial utilizadas nesses modelos não são as mais adequadas para simular mudanças e

investigar impactos em escala regional, o que requer o uso de modelos numéricos de meso escala.

Melo (2011) desenvolveu estudos no semiárido, bacia do São Francisco, usando simulação numérica para analisar efeitos da conversão do bioma Caatinga em diferentes usos, que vão da área com caatinga nativa até áreas irrigadas. Os resultados mostram que mudanças na cobertura e uso da terra afetam as trocas de energia e água entre a superfície e a atmosfera. Estas mudanças afetam a atividade convectiva, formação de nuvens e chuva. A influência do tipo de vegetação na modificação e geração de circulações termicamente induzidas, e atividade convectiva da região são importantes. Porém, esse efeito é secundário quando comparado ao impacto produzido pela mudança na umidade do solo.

Com a finalidade de melhorar a previsibilidade climática no bioma caatinga, Cunha *et al.* (2013) calibraram e validaram um modelo que representa as interações da biosfera no clima do semiárido. Segundo os autores, a modelagem das interações entre a superfície da terra e a atmosfera na região ainda necessita de aprofundamento em relação a processos físicos envolvidos.

Pinheiro *et al.* (2016) ao estudarem o papel da umidade do solo no bioma caatinga evidenciaram uma alta sensibilidade entre a umidade armazenada no solo e a evapotranspiração e umidade com a temperatura do ar em caatinga densa preservada. Os autores sugeriram que pode haver interação entre a evapotranspiração e temperatura do ar com parâmetros hidrológicos como a umidade do solo, indicando um papel importante da mesma na evapotranspiração, temperatura do ar e padrão de distribuição de chuvas no bioma caatinga.

Propõe-se nesse trabalho, uma pesquisa de caráter observacional, das relações entre o grau de conservação da vegetação nativa e a distribuição das precipitações na bacia do Alto – Jaguaribe, semiárido cearense.

## **2.4 Classificação e análise da vegetação no semiárido**

A cobertura vegetal se apresenta como um fator extremamente importante na manutenção dos recursos naturais renováveis. A vegetação funciona como um manto protetor dos recursos naturais, e por essa razão, sua distribuição e densidade definem o estado de conservação do ambiente. (BELTRAME, 1994).

A vegetação predominante na região de estudo é a caatinga, apresentando diferentes fisionomias. Podem ser caracterizados como florestas de padrões arbóreas ou arbustivas, compreendendo principalmente árvores e arbustos baixos, muitos dos quais

apresentam espinhos, microfilia e algumas características xerofíticas. Associada a tais variações tem-se um manto herbáceo. No último século, diferentes sistemas de estudo e classificação para a caatinga têm sido propostos. Esses sistemas de classificação são na sua maioria baseados nas características fisionômicas da vegetação.

Até o momento, não há um sistema comum de classificação para esse bioma (CREUTZFELDT, 2006). De um modo geral os estudos de classificação estão ligados na proporção das folhas, arbustos e vegetação herbácea e a fração da cobertura vegetal de cada tipo de vegetação. É aceito que a composição e ocorrência das diferentes formas vegetacionais estão geralmente correlacionadas com a precipitação atmosférica.

No Estado do Ceará, a caatinga é a unidade fito-ecológica mais representativa espacialmente, abrangendo aproximadamente 72.980 Km<sup>2</sup> e apesar da grande abrangência espacial da caatinga, pouco se conhece ainda sobre seus padrões de comunidades vegetais no Estado (LEMOS, 2006).

Andrade-Lima (1981) classificou o bioma caatinga em seis diferentes classes e subunidades: Floresta média e caatinga arbórea aberta, caatinga arbustiva alta a baixa, caatinga vale. Nessa classificação foi determinada que a principal causa de variação das classes a precipitação seguida de fatores geopedológicos, xerotérmicos e topográficos. O Projeto Radambrasil (1981) classificou a caatinga em densa, aberta e parque, onde as diferenciações de classe são devidas ao índice de aridez.

No que diz respeito à classificação da vegetação da caatinga por sensoriamento remoto, vários estudos têm sido desenvolvidos. Alguns estudos utilizam como base a fração de cobertura vegetal outros usam critérios fisionômicos. Creutzfeldt (2006), em estudo de caracterização da cobertura da terra utilizou dados de sensoriamento para modelagem hidrológica na bacia do rio Bengue em Aiuaba-Ce determinou índice de Fração da Cobertura Vegetal (FVC) e índice de área vegetal para seis classes de vegetação:

a) Caatinga arbóreo-arbustiva conservada: Vegetação decídua que consiste em mistura de árvores, arbustos e cactáceas com altura média de 3,8 m em áreas com relevo plano a fortemente ondulado.

b) Caatinga arbóreo-arbustiva degradada: Classificação semelhante à arbóreo-arbustiva conservada sendo que com a vegetação mais esparsa. A altura média da vegetação é de 2,6m.

c) Floresta seca: Também chamada de floresta estacional caducifolia, com vegetação densa com altura média de 4 a 5m. Camada arbórea mais ou menos densa uma camada arbustiva impenetrável e extrato herbáceo. O relevo é fortemente ondulado.

d) Carrasco conservado: Transição entre o bioma caatinga e o cerrado com espécies decíduas e espécies que mantêm a vegetação todo o ano. Vegetação densa com árvores entre 5 m e 6 m de altura, chegando até 10m. Áreas sedimentares e em planaltos.

e) Carrasco degradado: As mesmas características do carrasco conservado só que influência da ação antrópica.

f) Carrasco em regeneração: As mesmas características do carrasco conservado só que sem a presença de árvores altas. Em regeneração após sua retirada total.

Analisar a cobertura vegetal, assim como, sua espacialidade, torna-se um importante mecanismo para estudos voltados para análise da degradação ambiental, gestão e planejamento dos recursos naturais, compreensão dos processos hidrológicos, diagnóstico do dinamismo no espaço agrário e entre outras finalidades, principalmente quando se utiliza a microbacia hidrográfica como unidade espacial de análise (MELO, 2008)

Para o monitoramento e análise da cobertura vegetal do espaço, os produtos dos índices de vegetação (IV) obtidos via satélite são comumente usados numa larga variedade de aplicações como aviso de secas, classificação vegetacional, sanidade, degradação ambiental, desmatamento e integram características como biomassa, turgescência, índice de área foliar. Mudanças na cobertura da terra têm ocorrido em taxas muito elevadas havendo a necessidade de dados consistentes e contínuos no monitoramento das mudanças no ambiente global. O NDVI ou IVDN (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada) tem sido mais comumente usado, outras variações como o EVI (Enhanced Vegetation Index) utiliza banda espectral para tratar a interferência atmosférica existente (DIDAN *et al.*, 2015).

Vários trabalhos foram realizados nas diferentes formações vegetais dos biomas de savana e caatinga, nesta linha associam as variações de precipitação aos valores de NDVI como indicador do desenvolvimento da vegetação, utilizando séries globais com dados satelitais. Segundo Barbosa (1998), as variações do NDVI em certas regiões podem indicar impactos regionais causados por alterações nas condições meteorológicas e mudanças fenológicas sendo assim, o conhecimento da evolução sazonal do NDVI é de grande importância para o monitoramento das condições de desenvolvimento da vegetação em regiões semiáridas, com baixo custo operacional.

As características biofísicas da vegetação, em determinadas áreas, são resultantes das complexas inter-relações dos elementos ambientais, relevo, clima, solo, entre outros (FERREIRA *et al.*, 2011). O conhecimento das propriedades da vegetação, tais como: diversidade das espécies, padrões de distribuição das comunidades vegetais, alterações dos ciclos fenológicos, modificações na fisiologia e morfologia da planta permitem extrair informações acerca das características climáticas, edáficas, geológicas e fisiográficas de uma área. Com a aplicação dos Índices de Vegetação, produtos derivados do sensoriamento remoto que, se configuram como medidas radiométricas adimensionais e indicam a abundância relativa e o comportamento da vegetação, pesquisadores vêm extraíndo e modelando parâmetros biofísicos da cobertura vegetal.

Na região semiárida, Ferreira *et al.* (2011) utilizou os Índices de Vegetação NDVI, NDWI (Normalized Difference Water Index) e Temperatura da Superfície para avaliar a condição biofísica da vegetação de caatinga e das áreas de agricultura irrigada do município de Petrolina-PE. As áreas de agricultura irrigada apresentaram os maiores valores de NDWI e NDVI, porém, o índice de umidade permitiu a visualização de uma maior discriminação da agricultura irrigada com relação à vegetação nativa. A vegetação nativa apresentou temperaturas da superfície superiores a 28°C, enquanto as áreas de agricultura irrigada apresentaram temperaturas superiores a 28°C.

Segundo Melo *et al.* (2011), o uso de ferramentas para o processamento de imagens de satélite, especificamente o NDVI, mostrou-se bastante eficiente e preciso para a identificação da cobertura vegetal da micro bacia do Riacho dos Cavalos, Crateús-Ce. Sendo o mesmo usado para análise ambiental da área estudada, onde os níveis, ou índices de cobertura vegetal representam as reais condições de conservação e de degradação ambiental dessa área. Segundo Vigano *et al.* (2011), o índice NDVI não se adequa satisfatoriamente em estudos de vegetação da caatinga por constantes saturações, uma vez que apresenta apenas duas bandas radiométrias, enquanto Espig *et al.* (2006) recomenda o uso do EVI em estudos da caatinga.

Essas regiões, em particular com vegetação predominante de caatinga e Savana, apresentam intensas mudanças na sua cobertura vegetal, associadas ao regime pluviométrico da região, a dinâmica natural da sua vegetação, e à ação antrópica (agricultura, ocupação, etc.). Segundo os autores estudos desenvolvidos para a região do semiárido nordestino e Sahel africano com composições mensais de NDVI mostraram alta correlação entre fenômenos climáticos de larga escala e o padrão de desenvolvimento da vegetação sendo que ocorre uma

defasagem temporal de um a dois meses entre a época chuvosa e o acúmulo de biomassa verde.

Pinheiro *et al.* (2010) estudaram a sazonalidade do albedo de superfície em microbacia hidrográfica no semiárido cearense, como suporte para parâmetros de balanço de radiação em modelos hidrológicos em período seco e final da estação chuvosa, obtendo variações de 24% e 15%, respectivamente. Lima *et al.* (2014) estudaram a dinâmica espaço temporal da vegetação na estação ecológica de Aiuaba-Ce na região dos Inhamuns, utilizando mapeamento obtido de dados de sensoriamento remoto e três índices de vegetação derivados: NDVI, SAVI e EVI para os anos de 1999 e 2011. Os resultados mostraram que foi possível notar uma variação nos resultados para 1999-2011, tanto entre os diferentes índices utilizados, como entre as áreas classificadas como vegetação, com o índice de vegetação por diferença normalizada NDVI apresentando maior identificação com a cobertura vegetal do que os demais índices. O índice EVI apresentou menores valores com aumento da área de solo exposto. No que diz respeito à efetivação e acurácia dos índices, as imagens Landsat 5 TM (Thematic Mapper) foram viáveis para estudos em áreas inferiores a 300 km<sup>2</sup>, bem como demonstra legitimidade na utilização desses métodos aplicados a Estação Ecológica de Aiuaba/CE.

Recentemente, Carvalho (2015) ao correlacionar quatro índices de vegetação obtidos de sensoriamento remoto, com área foliar, em caatinga preservada na ESEC de Aiuaba-Ce detectou uma boa aplicabilidade da utilização dos índices espectrais no monitoramento do padrão da vegetação na área.

## **2.5 Precipitações e produção agrícola**

Nas regiões semiáridas um sistema de produção agrícola sustentado é dificultado por muitos constrangimentos naturais. A grande parte dos produtores rurais de regiões semiáridas tem como base nas suas atividades a agricultura dependente das chuvas. Entretanto, as culturas são afetadas negativamente pela variabilidade temporal das precipitações caracterizada por períodos secos na estação chuvosa o que leva à insegurança alimentar (MHIZHA *et al.*, 2007). A agricultura de sequeiro é conduzida em um período de chuvas curto e altamente imprevisível, com altas precipitações pluviométricas intercaladas com secas repentinas, em solos com baixa capacidade de infiltração e uma elevada taxa de evapotranspiração durante o período de cultivo (FERNANDES, 2014).

O conhecimento sobre a duração, quantidade e distribuição das chuvas permite uma melhor previsão da vulnerabilidade das atividades agrícolas no clima semiárido. O

conhecimento dessa vulnerabilidade é fundamental para o planejamento das atividades agrícolas, possibilitando a redução dos riscos de perda na produção e produtividade das culturas de sequeiro (CARVALHO *et al.*, 2000).

A região Nordeste do Brasil (NEB) apresenta um regime climático caracterizado pela irregularidade espacial e temporal da precipitação nas escalas intrasazonais e interanuais, o que o torna responsável pelo colapso periódico de safras das culturas de sequeiro. Esta situação constitui-se na maior ameaça à população da área rural, cuja subsistência fica prejudicada durante os períodos das secas (MARTINS, 2012). Os efeitos estão relacionados com prejuízos econômicos e sociais. Além da vulnerabilidade à seca, a oferta de alimentos às populações mais pobres pode ficar ainda mais prejudicada e a produção agrícola de subsistência de grandes áreas pode se tornar inviável, caso as projeções de mudanças climáticas se confirmem. Ainda há de se levar em consideração as características dos solos da região, que apresentam baixas capacidades de armazenamento de água, associadas aos perfis naturalmente rasos, oriundos da formação geológica que lhes deu origem, conhecida como cristalino.

A queda de safra é decorrente de fatores como nutrição da planta, disponibilidade de água e sanidade da cultura, sendo que a disponibilidade de água vem a ser um fator de maior importância, visto que os demais (nutrição e sanidade), em princípio, são de fácil solução do ponto de vista técnico. Assim, eventos meteorológicos extremos que levem a escassez ou excesso de água são os principais determinantes no desenvolvimento da cultura em cada estágio do seu ciclo fenológico, e afetam sua produtividade potencial. Há ainda que se destacar a grande importância social da atividade agrícola, pelo fato da região ser densamente ocupada. O déficit hídrico é um dos fatores mais limitantes da produção vegetal, afetando as relações hídricas nas plantas e no seu metabolismo. As principais causas da insuficiência de água na planta estão relacionadas com a defasagem entre os processos de transpiração, absorção e a disponibilidade de água no solo.

A produtividade das culturas é dependente dos fatores genéticos, fisiológicos e ambientais. Os fatores genéticos correspondem à hereditariedade que a planta recebe de seus ancestrais por herança, ou pela mutação. Os fatores fisiológicos são influenciados por fatores externos da atmosfera e, também, pela influência das condições químicas, físicas e biológicas do solo (PEIXOTO, 2011). Dentre as culturas de subsistência da região semiárida do Nordeste, destaca-se a do milho, por sua grande importância na dieta básica da população e alimentação animal. As necessidades de água variam dependendo do estado fenológico da

planta, onde a ocorrência de um pequeno veranico durante o enchimento do grão de milho pode representar uma perda significativa na produção (BERGAMASCHI *et al.*, 2004).

## **2.6 Modelagem da produção agrícola**

Dados sobre a produção e a produtividade agrícola brasileira podem ser obtidas a partir dos levantamentos das safras agrícolas realizadas da Conab e pelo IBGE. Esses levantamentos são feitos por meio de entrevistas com produtores rurais, agrônomos e técnicos de cooperativas, Secretarias de Agricultura, órgãos de Assistência Técnica e Extensão Rural. Tal metodologia sempre dependeu de um processo demorado e, até certo ponto, subjetivo, no levantamento e consolidação e análises dos dados de campo. Os Sistemas de Monitoramento Agrometeorológico associados a modelos de produtividade permitem quantificar os impactos das condições do tempo na produtividade agrícola também em tempo real, em diferentes fases do desenvolvimento da cultura. A estimativa de produtividade com base em modelos agrometeorológicos é complexa, especialmente quando se pretende realizar estimativas em municípios, regiões ou estados diferentes, onde ocorre, naturalmente, uma grande diversidade de condições edáficas, microclimáticas, sistemas de produção e níveis tecnológicos (ASSAD *et al.*, 2010).

A estimativa da produção agrícola e o conhecimento de sua distribuição no espaço geográfico brasileiro são de extrema importância para o planejamento estratégico do Estado. Tais informações são fundamentais para a formulação de políticas públicas, para a organização da logística de distribuição e para a segurança alimentar, além de atuar como importante fator na formação de preços nos mercados interno e externo (Figueiredo, 2005). As mesmas podem ser realizadas previamente à semeadura, como também durante o crescimento e desenvolvimento da cultura. Essa informação é de extrema importância para proprietários rurais, pois pode ser usada na tomada de decisões de manejo da cultura ao longo do seu ciclo de desenvolvimento.

Segundo Da Silva (2009), é indispensável que sejam estudados os impactos e a variabilidade do clima em regiões socioeconomicamente importantes. Através destes é possível identificar a problemática da região ao passo que busca solucioná-la, possibilitando planejar intervenções necessárias em cada setor e proporcionando menores impactos negativos na produção agrícola. Uma característica importante da agricultura brasileira são os ganhos contínuos de produtividade em consequência do desenvolvimento tecnológico do setor. Dentre as culturas de subsistência da região semiárida do Nordeste, destaca-se a do milho, por sua grande importância na dieta básica da população e alimentação animal. Silva *et*

*al.* (2015) detectaram que a produção de milho do município de Aiuaba-Ce tem relação com as precipitações, causando desestabilidade financeira aos agricultores locais sempre que ocorre um ano seco. A quantidade de milho produzida no município apresentou alta correlação com a precipitação. Essa característica deve-se à grande importância da chuva na produção de grãos no sistema de sequeiro, na qual a quantidade de chuva tem relação direta com a produção do milho, ou seja, em anos chuvosos a produção tende a aumentar. A queda de safra é decorrente de fatores como nutrição da planta, disponibilidade de água e sanidade da cultura. A disponibilidade de água vem a ser um fator de maior importância, visto que os demais (nutrição e sanidade), em princípio, são de fácil solução do ponto de vista técnico. Assim, eventos meteorológicos extremos que levem a escassez ou excesso de água são os principais determinantes no desenvolvimento da cultura em cada estágio do seu ciclo fenológico, e afetam sua produtividade.

Uma forma de se avaliar perda de safra consiste em utilizar equações de estimativa de perda de rendimento agrícola, como por exemplo, o proposto por Doorenbos e Kassam (1979), acoplando modelos que estimem o armazenamento de água no solo, como o utilizado pelo Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - CPTEC/INPE (MARTINS, 2012).

Segundo Sentelhas (2012), os modelos de simulação de culturas (MSC) podem ser classificados de acordo com os princípios envolvidos, em: a) Modelos Empíricos: baseados na relação entre a produtividade das culturas e variáveis, normalmente, meteorológicas, sem explicar as relações de causa e efeito. Esses modelos têm aplicação restrita. b) Modelos Matemático-Fisiológicos: explicam alguns dos processos básicos da produção vegetal, como a fotossíntese, a respiração de manutenção e a partição de fotoassimilados, por meio de equações matemáticas. Além disso, leva em conta a penalização da produtividade potencial pelo déficit hídrico, determinado a partir do balanço de água no solo, considerando-se a capacidade de armazenamento do solo (CAD), a evapotranspiração da cultura (ETc) e a Chuva. O modelo apresentado por Doorenbos & Kassam (1979) no Boletim FAO 33, conhecido no Brasil como modelo da FAO, tem sido largamente testado e aplicado em diferentes condições apresentando resultados satisfatórios desde que adequadamente calibrados. Esse modelo parte de informações de clima, como radiação solar e temperatura e solo (CAD) e da planta (Espécie, índice de área foliar), para estimar as Produtividade Potencial (PP) e Atingível (PA) e c) - Modelos de Processos: são modelos mecanísticos que explicam todos os processos envolvidos na produção vegetal, desde a fotossíntese até a

partição de fotoassimilados, passando pelo crescimento de folhas, caules e raízes. Os modelos de processos consideram diversos submodelos, os quais envolvem as relações entre a espécie/cultivar e as condições ambientais, por meio de equações matemáticas e relações empíricas.

O processo de Calibração dos modelos de simulação de culturas consiste no ajuste dos coeficientes do modelo de modo que os resultados estimados se assemelhem aos valores observados. Modelos Empíricos – Ajuste dos coeficientes linear e angular dos modelos lineares. Modelos Matemático-Fisiológicos – Ajuste dos coeficientes do modelo relativos ao índice de área foliar (IAF) máximo, CAD, Kc e sensibilidade da cultura ao déficit hídrico (Ky). Modelos de Processos – Ajuste dos diversos coeficientes de cada processo relacionado a cada espécie/cultivar. Normalmente, se selecionam apenas os coeficientes mais relevantes, já que esses modelos contam com mais de sessenta deles (SENTELHAS, 2012).

A maioria dos métodos de estimativa deriva das bases dos modelos propostos por Doorenbos e Kassam (1979), que relacionam a depleção da produtividade de uma cultura à sensibilidade desta ao estresse hídrico, nas várias fases de desenvolvimento das plantas. A maior limitação para qualquer modelo de produtividade de culturas é que a produtividade média real é bastante variável de um local para outro, a depender do nível tecnológico empregado na produção. No caso da cultura de milho, por exemplo, dados do IBGE das safras dos últimos anos indicam municípios brasileiros com produtividade média superior a 9.000 kg.ha<sup>-1</sup> enquanto outros abaixo de 500 kg.ha<sup>-1</sup> (IBGE, 2010), mesmo dentro de uma mesma região homogênea, com as mesmas características edafoclimáticas e, portanto, mesma produtividade potencial. Essa enorme diferença de produtividade em ambientes similares, ou seja, com ofertas ambientais parecidas, resulta das significativas variações nas práticas agrônômicas adotadas, mais adequadas nas regiões de alta produtividade e deficientes nas de baixa. Isso inviabiliza a estimativa da produtividade real a partir de uma produtividade potencial condicionada apenas pelas características da cultura e pelas condições ambientais, como o método das zonas agroecológicas (DOORENBOS; KASSAM, 1979), por exemplo, e requer o desenvolvimento de outra metodologia mais adequada.

Andrioli e Sentelhas (2009) estudaram a sensibilidade ao déficit hídrico de 27 genótipos de milhos cultivados no Brasil e dividiram os coeficientes encontrados em dois grupos, de acordo com a resistência ao déficit hídrico: genótipos com resistência normal, os quais são aqueles em que Ky varia de 0,4 a 0,5 na fase de crescimento vegetativo, de 1,4 a 1,5 na fase de florescimento, de 0,3 a 0,6 na fase de formação de grãos e de 0,1 a 0,3 na fase de

maturação. A produtividade potencial da cultura ( $P_p$ ) pode ser determinada por algumas metodologias. No primeiro método, a produtividade potencial é obtida de uma variedade adaptada ao ambiente de crescimento, em condições ideais, ou seja, sem fatores limitantes. Nesse caso, torna-se uma função de características da espécie, da temperatura e da radiação solar disponível na região (DOORENBOS; KASSAM, 1994). Outro método, a produtividade potencial pode ser considerada como sendo igual à máxima observada até então. Sempre que uma nova produtividade máxima ocorre, esta passa ser a nova referência para o valor de produtividade potencial empregado nas estimativas seguintes. Normalmente este método é empregado em condições não experimentais, quando os outros fatores da produtividade não podem ser medidos e por permitir, dentro de certos limites, corrigir tendências de aumento da produtividade. Em um terceiro método, Método da Produtividade Potencial Tecnológica (PPT), os valores de produtividade potencial podem ser estimados a partir de uma equação linear de primeiro grau ajustada aos dados de produtividade real ( $P_r$ ), multiplicado por um fator de correção ( $\Delta p$ ), sendo  $\Delta p$ , um dos coeficientes calibrados do modelo. A cada categoria ou faixa de produtividade, é ajustada, por regressão, uma equação linear que descreve a tendência de produtividade (ASSAD *et al.*, 2010).

Com o intuito de se estimar a produtividade do milho de uma determinada região de forma mais precisa e acurada, baseada em dados meteorológicos, Andrioli *et al.* (2004) testaram e calibraram os modelos da FAO para simular as produtividades potenciais (PP) para quatro cultivares de milho em São Paulo e utilizando dados climáticos e de produção. Os resultados indicaram que os modelos da FAO estimaram tanto a PP como a PR de forma satisfatória ( $b = 0,994$  e  $R^2 = 0,80$ ). Na região semiárida, Martins (2012) desenvolveu estudos sobre a produtividade de milho no estado de Pernambuco e Bahia utilizando um balanço hídrico cultural diário e agregado a um modelo de estimativa de produtividade modificado para a região. Utilizando dados de precipitação na região e de produção da cultura foi realizada uma avaliação do método e estudo de sua aplicabilidade na região. A análise apresentou boas estimativas de rendimento das culturas estudadas sendo sugerida a sua utilização em nível de região Nordeste.

Este trabalho teve como um dos objetivos avaliar e calibrar o modelo agrometeorológico de Doorenbos e Kassam (1979), para a estimativa da quebra de produção de milho, considerando a importância socioeconômica da cultura de milho para a região de estudo, com base na relação entre a produtividade relativa e as condições hídricas ocorridas

nos diferentes estádios fenológicos da cultura, de forma a se ter um modelo de influência dos veranicos na produção da cultura na área de estudo.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Área de estudo

##### 3.1.1 Localização

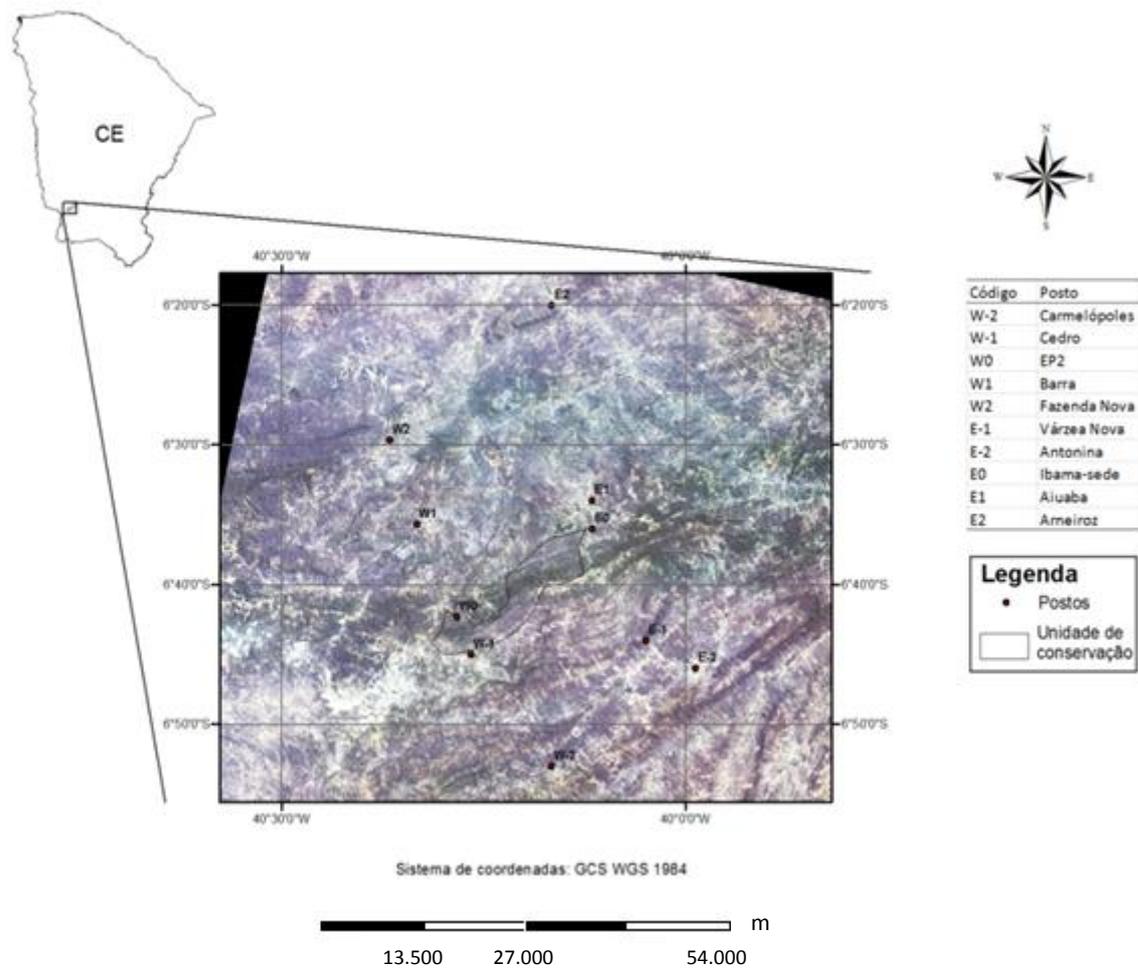
A região de estudo localiza-se na macrorregião dos Inhamuns no sudoeste do Estado do Ceará, na sub-bacia hidrográfica do Alto Jaguaribe, início do sistema hidrográfico do Rio Jaguaribe, sendo formada pelos municípios de Catarina, Saboeiro, Tauá, Arneiroz, Parambú e Aiuaba e apresenta como característica climática singular a irregularidade temporal e espacial das chuvas e as elevadas taxas de evaporação. Observa-se também grande variabilidade temporal do seu regime de chuvas, o que ocasiona em alguns anos, secas prolongadas ou precipitações excessivas, que causam sérios problemas à agricultura e pecuária, base econômica da maior parte da região. Tem-se a ocorrência nítida de duas estações: uma chuvosa, correspondente ao período verão - outono, e outra seca, relacionada com o período inverno - primavera. Segundo Fernandes (2014) essa região está entre as duas regiões do estado do Ceará com maior vulnerabilidade agrícola, uma vez que os números de veranicos superiores a vinte dias se aproxima do dobro aos ocorridos nas outras regiões do estado de precipitação similar. Compreende parte dos municípios de Arneiroz e Aiuaba e mais dois municípios ao sul, os de Campos Sales e Antonina do Norte, em uma área de dimensões aproximadas de 30 km x 60 km. (Figura 2).

Na parte central da área de estudo, destaca-se o município de Aiuaba. Esse município conta com uma unidade de proteção integral: a Estação Ecológica de Aiuaba-ESEC (Figura 2) localizando-se a sudoeste do município. A ESEC situa-se a 468 km ao sul de Fortaleza, sendo o acesso feito pela CE-176. A estação ecológica dista aproximadamente 4 km do município de Aiuaba e se localiza entre as coordenadas 6° 36' 01" a 6° 44' 35" de Latitude Sul e 40° 07' 15" a 40° 19' 19" de Longitude Oeste. A área de proteção está principalmente associada à manutenção da biodiversidade florística e faunística da caatinga sendo uma das poucas áreas de proteção integral do bioma. Ela representa um importante papel para o ciclo hidrológico da região, devido a sua cobertura florestal densa (ARAÚJO *et al.*, 2004). A região apresenta chapadas, que no município de Aiuaba atingem de 400 a 700 m de altitude, e são denominadas localmente de “serras”.

Alguns trabalhos de pesquisa foram desenvolvidos na área como os de Costa (2013), Medeiros (2004), Creutzfeldt (2006), Araújo *et al.* (2009), Medeiros (2009), Oliveira (2014) e Lemos (2006). A área da ESEC apresenta uma unidade de estudos e pesquisas: a

BEA ou Bacia Experimental de Aiuaba, mantida pelo grupo de pesquisas Hidrosed da Universidade Federal do Ceará-UFC.

Figura 2 - Estado do Ceará com destaque para a área de estudo e localização da Estação Ecológica de Aiuaba- ESEC



Fonte: Elaborada pelo autor.

### 3.1.2 Clima

O clima da região de estudo pode ser classificado como BSw'h' segundo Köppen, semiárido muito quente, com precipitação média anual em torno de 600 mm e evapotranspiração potencial de 2500 mm, com precipitações podendo atrasar para o outono. Segundo a Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME) que utiliza metodologia da FAO, a razão entre precipitação e evapotranspiração anual classifica todos os postos da área de estudo como do tipo semiárido, com índices de aridez entre 0,21 e 0,50.

Tabela 1 - Classes de solos predominantes nos postos

<b>Postos</b>	<b>Solos</b>
Arneiroz (E <sub>2</sub> )	Associação Neossolos eutróficos + Luvisso
Aiuaba (E <sub>1</sub> )	Associação Luvisso + Argissolos
IBAMA-sede (E <sub>0</sub> )	Associação Neossolos + Luvisso eutróficos
Várzea Nova (E <sub>-1</sub> )	Associação Argissolos + Neossolos eutróficos
Antonina do Norte (E <sub>-</sub> )	Associação Argissolos + Neossolos eutróficos
Carmelópolis (W <sub>-2</sub> )	Associação Argissolos + Latossolos
Cedro (W <sub>-1</sub> )	Latossolos
EP2 (W <sub>0</sub> )	Associação Luvisso + Argissolos + Latossolos
Barra (W <sub>1</sub> )	Planossolos Solódicos
Fazenda Nova (W <sub>2</sub> )	Associação Planossolos Solódicos + Neossolos

Fonte: RADAMBRASIL (1981), Medeiros (2009) e Pinheiro (2010). Organização: Autor (2016).

### 3.1.3 Solos

De acordo com FUNCEME (2014) os solos da região dos Inhamuns têm uma tipologia diversificada e grande variação espacial. Nos sertões, a origem e evolução dos solos estão condicionadas a fatores que traduzem certa uniformidade, configurada por um clima semiárido, vegetação primária de caatinga, prevalência de rochas cristalinas e relevos aplainados. Nas mesmas circunstâncias, os relevos das depressões variam desde plano até ondulado, intercalados por cristas residuais dependentes do trabalho de erosão diferencial. Ocorrem nesta área as seguintes classes: Argissolos Vermelho Amarelos, Luvisso Crômicos, Planossolos, Neossolos Litólicos e Neossolos Regolíticos. As limitações destes solos estão relacionadas com as condições de uso (lavouras de subsistência e a pecuária), em função das características como a alta susceptibilidade aos processos erosivos, pedregosidade e rochividade, pouca profundidade e deficiência hídrica, que limitam a capacidade produtiva destes solos.

A classificação constante em Radambrasil (1981) e atualizada para a região de estudo descreve os seguintes tipos (Tabela 1): Bruno não Cálculo (Luvisso): Solos rasos e poucos profundos com perfis bem diferenciados, com pedregosidade natural; Latossolo Vermelho-Amarelo (Latossolo): Bem desenvolvidos, profundos e bem drenados, presentes nos planaltos sedimentares; Planossolos Solódicos: Solos rasos com problemas de drenagem localizados nas partes mais baixas do relevo; Podzólico Vermelho-Amarelo (Argissolo): Solos bem desenvolvidos e bem drenados, mais profundos e férteis presentes nas áreas mais

planas e baixas do relevo; Litólico (Neossolo): Solos rasos e pedregosos, textura e fertilidade variável, relevo suave ondulado e escarpado (Medeiros, 2009).

As elevações na região oscilam entre 375 e 785 metros acima do nível do mar, com as maiores altitudes podendo ser encontradas a sudoeste da área.

Tabela 2 - Descrição geográfica dos postos.

Postos	Latitude (S)	Longitude (W)	Formação vegetal de entorno	Altitude (m)
<b>Perfil Leste</b>				
Arneiroz (E <sub>2</sub> )	-6,30	-40,20	Caatinga arbórea - arbustiva aberta degradada	400
Aiuaba (E <sub>1</sub> )	-6,30	-40,11	Caatinga arbórea - arbustiva aberta degradada	460
IBAMA-sede* (E <sub>0</sub> )	-6,60	-40,20	Caatinga arbórea - arbustiva aberta preservada	450
Várzea Nova (E <sub>-1</sub> )	-6,70	-40,10	Caatinga arbórea - arbustiva conservada	380
Antonina (E <sub>-2</sub> )	-6,80	-40,00	Caatinga arbórea - arbustiva conservada	370
<b>Perfil oeste</b>				
Carmelópolis (W <sub>-2</sub> )	-6,90	-40,20	Caatinga arbórea - arbustiva conservada	480
Cedro (W <sub>-1</sub> )	-6,80	-40,30	Caatinga arbórea - arbustiva degradada	650
EP2(Hidrosed)* (W <sub>0</sub> )	-6,70	-40,30	Caatinga arbórea densa (Mata seca) preservada	550
Barra (W <sub>1</sub> )	-6,60	-40,32	Caatinga arbórea - arbustiva aberta degradada	520
Fazenda Nova (W <sub>2</sub> )	-6,50	-40,40	Caatinga arbórea - arbustiva aberta degradada	450

\*Postos situados em área preservada (ESEC-Aiuaba/Ibama). \*\* Fonte: Brasil (2005), Lemos (2006) e Medeiros (2009). Organização: Autor, 2016.

### 3.1.4 Vegetação

A vegetação predominante da área de estudo é a caatinga, própria do clima semiárido local. A maior parte é decídua e pode ser classificada em diversas categorias (CREUTZFELDT, 2006; MEDEIROS, 2009; LEMOS, 2006). Na Tabela 2 são apresentados os principais tipos vegetacionais destacando-se o tipo caatinga arbórea - arbustiva como o mais presente na área. A formação mais esparsa com transição para agropecuária define a classificação do tipo arbórea-arbustiva degradada, presente em boa parte dos postos. Uma

segunda formação inclui estrato arbóreo e arbustivo mais denso, denominada caatinga arbórea - arbustiva conservada. Na área central de estudo, dois postos estão presentes na Estação Ecológica de Aiuaba-ESEC (EP2 - Hidrosed e Ibama - Sede). O posto EP2(W<sub>0</sub>) interno e situado na porção sudoeste da ESEC, apresenta vegetação de entorno do tipo floresta subcaducifólia, vegetação densa estacional em associação com solos de boa fertilidade e média - alta profundidade (Tabela 1) e relevo ondulado. Essa formação cobre aproximadamente 50% da superfície da ESEC (Lemos, 2006). O posto Ibama-Sede (E<sub>0</sub>), no extremo nordeste da ESEC, apresenta formação de entorno do tipo caatinga arbórea-arbustiva aberta conservada em solos de baixa profundidade. Na porção sul da área de estudo, os postos W<sub>-2</sub>, E<sub>-1</sub> e E<sub>-2</sub> tem formação vegetacional menos degradada e se desenvolvendo em solos de boa fertilidade natural e boa profundidade (TABELA 2).

### 3.2 Caracterização e análise de veranicos

Foi chamado de veranico o período consecutivo em dias sem precipitação ou com precipitação inferior à necessidade hídrica de uma cultura de referência e totalizando pelo menos cinco dias acumulados dentro da estação chuvosa. A cultura utilizada como referência para a pesquisa foi a do Milho (*Zea Mays L.*) considerando sua representatividade na agricultura local com simulação de plantio na segunda quinzena de janeiro e colheita em maio, seguindo orientação de calendário agrícola para a região (EMBRAPA) e o plantio na região. A necessidade hídrica da cultura foi determinada com base em Allen *et al* (1998), de acordo com a equação:

$$ET_c = K_c \cdot ET_o \quad (1)$$

Na Equação (1), ET<sub>c</sub> é a necessidade hídrica da cultura (mm/dia); K<sub>c</sub> é o coeficiente da cultura (adimensional, dividido em quatro fases fenológicas); ET<sub>o</sub> é a evapotranspiração de referência (mm/dia).

A evapotranspiração de referência, obtida segundo a metodologia de Penman-Monteith (Allen, 1998), com dados de normais climatológicas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) situada em Campos Sales-CE, mais próxima da área de estudo. O cálculo da evapotranspiração de referência foi processado utilizando o programa CROPWAT 8.1 da FAO e é dado por:

$$ET_o = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34u_2)} \quad (2)$$

Na Equação (2),  $ET_o$  é a evapotranspiração de referência ( $\text{mm dia}^{-1}$ );  $R_n$  é a radiação líquida na superfície da cultura ( $\text{MJ m}^{-2} \text{dia}^{-1}$ );  $G$  é o fluxo de calor no solo ( $\text{MJ m}^{-2} \text{day}^{-1}$ );  $T$  é a temperatura média do ar diária a dois metros de altura ( $^{\circ}\text{C}$ );  $u_2$  é a velocidade do vento a dois metros do solo ( $\text{m s}^{-1}$ );  $e_s$  é a pressão de saturação do vapor (kPa);  $e_a$  é a pressão de vapor (kPa);  $e_s - e_a$  é o déficit de saturação (kPa);  $\Delta$  é a variação da curva de saturação do vapor d'água em ( $\text{kPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$ );  $\gamma$  é a constante psicrométrica ( $\text{kPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$ ).

Para definição de dias secos utilizou-se o seguinte critério: dia úmido ou satisfatório ocorre quando a precipitação diária for maior ou igual à evapotranspiração diária da cultura ( $ET_C$ ); dia seco ocorre quando a precipitação diária for menor do que evapotranspiração diária da cultura ( $ET_C$ ). Uma vez calculadas as séries de dias secos e chuvosos para cada estação pluviométrica e valor-limite, foram então definidos certos parâmetros ou estimadores, conforme descrito a seguir, que resumem aspectos importantes da dinâmica dos veranicos na região estudada. Em seguida, as informações foram resumidas, permitindo observar com maior clareza a distribuição dos veranicos dos postos, além de permitir a comparação entre os diferentes valores-limites analisados.

### 3.2.1 Duração média dos veranicos

A duração média é caracterizada pelo comprimento médio do veranico na estação chuvosa (EC) em um determinado ano. Ela busca caracterizar, para uma dada estação pluviométrica, o número médio de dias consecutivos com precipitação abaixo do limite da cultura, sendo obtido a partir da relação entre a soma dos subperíodos de dias secos acima de cinco dias e o número total de veranicos observados na EC conforme a equação:

$$DMV = (\sum_{i=1}^n v_i) / (N) \quad (3)$$

Na Equação (3),  $DMV$  é a duração média para cada ano (dias);  $V_i$  representa os veranicos maiores ou iguais a cinco dias na EC (dias) e  $N$  representa o total de veranicos no ano.

### 3.2.2 Duração média dos veranicos em um período de estudo

A duração média dos veranicos para um período é caracterizado pela média dos veranicos anuais naquele período de estudo. Seu valor é obtido a partir da relação dada pela equação:

$$DMV(\text{médio}) = \sum_{i=1}^n (DMVi) / N \quad (4)$$

Na Equação (4), DMV(médio) é o veranico médio no período dos anos estudados (dias); DMV<sub>i</sub> são os veranicos representativos do ano “i” (dias) e “N” o período (anos).

### 3.2.3 Veranico máximo

Para caracterizar a ocorrência de veranicos extremos, definiu-se a estatística do comprimento máximo do veranico (VMX), que é determinado, para uma dada estação pluviométrica do período chuvoso, como o maior comprimento em dias de veranico observado ao longo de todos os meses da EC.

### 3.2.4 Veranico máximo médio em um período de estudo

É caracterizado pela duração média dos veranicos máximos em um certo período de estudo em anos, sendo obtido a partir da Equação (5), onde VMX (médio) representa a média dos veranicos máximos do período estudado (dias); VMX<sub>i</sub> é o veranico máximo do ano “i” (dias); e “N” é o período (anos).

$$VMX(\text{médio}) = \sum_{i=1}^n (VMXi) / N \quad (5)$$

### 3.2.5 Frequência relativa de veranicos longos

Para cada ano de cada estação chuvosa procedeu-se a contagem do tamanho e número de veranicos e a separação em três categorias: Veranicos curtos (5-10 dias), veranicos médios (11-15) e veranicos longos (>15 dias). Em seguida, foi determinada a percentagem dos veranicos longos, acima de 15 dias (F<sub>15</sub>) em relação aos demais. Os veranicos longos acima de quinze dias têm uma grande importância de análise e representa um caráter de severidade da deficiência hídrica para a cultura (Equações 6a e 6b).

$$FVL = (NVer_{15}) / (NVer_5 + NVer_{10} + NVer_{15}) * 100 \quad (6a)$$

$$FVL(\text{médio}) = \sum_{i=1}^n (FVLi) / N \quad (6b)$$

Nas equações 6a e 6b, FVL é a Frequência relativa de veranicos com duração acima de quinze dias em cada ano (%); FVL(médio) é a média da FVL no período (%), NVer<sub>5</sub>

é quantidade de veranicos com duração de cinco a dez dias em cada ano;  $NVer_{10}$  é a quantidade de veranicos com duração de onze a quinze dias em cada ano;  $NVer_{15}$  é a quantidade de veranicos com duração superior a quinze dias em cada ano e “N” representa o total de anos no período estudado.

### 3.3 Dados meteorológicos

Dados de séries diárias de precipitação foram obtidos da Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos, FUNCEME, para os dez postos (Tabela 3). Foram utilizados apenas os dados diários de precipitação existentes nos registros, sem preenchimento de falhas, de modo que dados ausentes foram considerados como dados inexistentes. Além da precipitação, foram utilizados dados de normais climatológicas mensais de temperatura do ar, umidade relativa do ar, insolação e velocidade do vento, obtidos do posto climatológico mais próximo da área situado em Campos Sales - Ce. Alguns anos foram excluídos, por apresentarem inconsistência nos dados. O período de observação compreende o ano inicial de 1995 até o ano de 2014 para os postos com maior base de dados.

Devido à diferença no período total de dados de precipitação disponível dos postos, optou-se pela realização das análises em duas escalas de tempo: a) anos totais de cada posto e b) apenas os anos coincidentes em cada perfil e para todos os postos.

### 3.4 Classificação climática dos postos

Foi determinada a classificação climática dos postos da área de estudo através da metodologia de Thornthwaite (1948) com base no índice de aridez, dado pela relação entre precipitação média e evapotranspiração média anual. No cálculo da evapotranspiração potencial foi utilizada a metodologia de Penman-Monteith (Allen, 1998) de Campos Sales – CE, estação climatológica mais próxima da área de estudo. Esta classificação define os tipos árido, semiárido, subúmido seco, subúmido úmido e úmido. O tipo semiárido ocorre com índices de aridez entre 0,20 e 0,50. O índice é determinado pela equação:

$$I_a = (PPT)/(ETp) \quad (7)$$

Na Equação (7),  $I_a$  representa o índice de aridez e  $ETp$  a evapotranspiração potencial anual dada em mm. O ano excluído deve-se a incompatibilidades de precipitação entre postos vizinhos e /ou dos índices de vegetação inconsistentes com chuvas durante a EC. Os postos pertencentes ao perfil leste (E) apresentaram um período de nove anos comuns ou coincidentes de análise: de 2002 a 2010 ininterruptos; enquanto que os postos do perfil oeste

(W) têm quatro anos coincidentes (2003, 2004, 2006 e 2007). A condição climática global pode ser visualizada na Tabela 4. O ano de 2004, apesar de classificado como chuvoso, teve precipitações muito concentradas em dois meses (janeiro e fevereiro).

Tabela 3 - Postos, localização e série histórica de dados de precipitação

<b>Posto</b>	<b>Localização do posto*</b>	<b>Período</b>	<b>Anos excluídos</b>	<b>Anos Sem dados</b>
<b>E<sub>2</sub></b>	Entorno <sub>&gt;25</sub>	1995-2014	2001	
<b>E<sub>1</sub></b>	Entorno <sub>0-15</sub>	1995-2013	2001	2014
<b>E<sub>0</sub></b>	Periferia-ESEC	1996-2012	2001	1995; 2013-2014
<b>E<sub>-1</sub></b>	Entorno <sub>0-15</sub>	2002-2013	2001	2014
<b>E<sub>-2</sub></b>	Entorno <sub>15-25</sub>	1995-2013	2001	2011-2014
<b>W<sub>-2</sub></b>	Entorno <sub>15-25</sub>	1999-2014	2008/2013	
<b>W<sub>-1</sub></b>	Entorno <sub>0-15</sub>	2001-2014	2008/2013	2010-2012
<b>W<sub>0</sub></b>	ESEC (interno)	2003-2014	2008/2013	2005, 2009 e 2011
<b>W<sub>1</sub></b>	Entorno <sub>0-15</sub>	1999-2009	2008/2013	2005
<b>W<sub>2</sub></b>	Entorno <sub>15-25</sub>	2001-2014	2008/2013	

\* Entorno <sub>0-15</sub>: até 15 km da ESEC; Entorno <sub>15-25</sub>: de 15 km a 25 km da ESEC; Entorno <sub>>25</sub>: acima de 25 km da ESEC. Fonte: Organizado pelo autor.

Tabela 4 - Condição climática para os anos coincidentes a todos os postos

<b>Ano</b>	<b>Oceano Pacífico</b>	<b>Precipitação média (mm)</b>
<b>2003</b>	El Nino moderado	481
<b>2004</b>	Neutro	888
<b>2006</b>	Neutro	490
<b>2007</b>	El Niño fraco	586

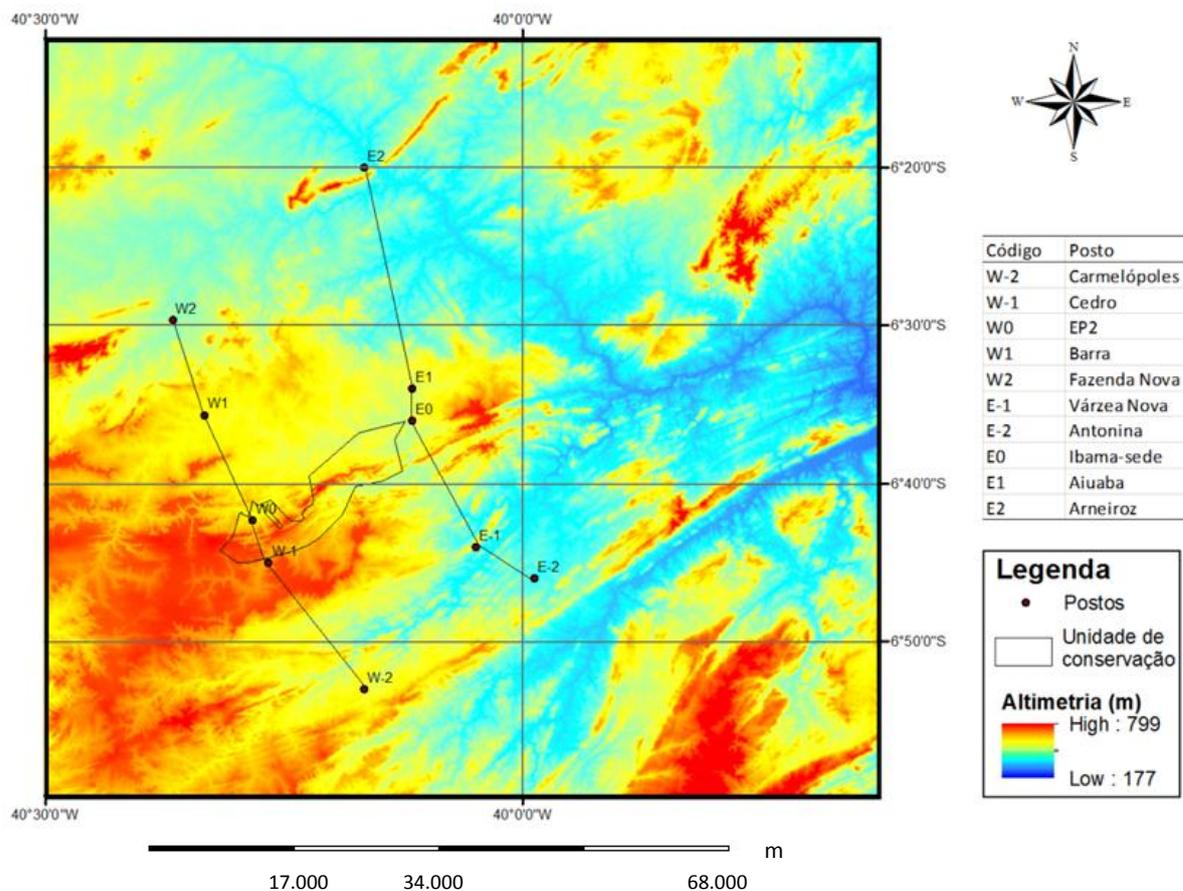
Fonte: Funceme (2014).

### 3.5 Perfis de estudo

Os dez postos foram divididos em dois perfis de estudo: Perfil Leste e Perfil Oeste. Ambos seccionam a Estação Ecológica de Aiuaba (ESEC-IBAMA) no sentido aproximado norte-sul. O perfil Leste tem o código (E) e o perfil Oeste tem o código (W). As codificações são positivas para postos localizados ao norte da ESEC e variações negativas ao sul da mesma. Os postos situados dentro da área preservada foram marcados com o índice “0”. Dois postos em área de preservação: IBAMA-Sede ( $E_0$ ), com formação de caatinga arbórea-arbustiva aberta preservada e EP2 ( $W_0$ ), estação de pesquisa do Projeto HIDROSED-UFC, representativo de área de vegetação de floresta estacional caducifólia.

Em termos topográficos, existe um desnível de 90 m para os postos do perfil Leste, e de 200m para o perfil Oeste, considerando a diferença entre a maior e menor altitudes (Figura 3).

Figura 3 - Topografia e distribuição dos postos dos perfis leste (E) e oeste (W)



Fonte: Elaborada pelo autor.

### 3.6 Séries temporais de vegetação

Para investigar o padrão de desenvolvimento da cobertura vegetal foram utilizadas séries temporais do NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) e índice de vegetação melhorado EVI (Enhanced Vegetation Index) com maior sensibilidade, obtidos de sensoriamento remoto. Esses índices foram obtidos em correspondência aos anos com dados de precipitação atmosférica (TABELA 3). O índice NDVI obtido das séries NOAA-AVHRR são estendidos aos dados da série SPOT (Système Pour L'Observation de la Terre) e MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectrometer) fornecendo séries históricas para estudos de monitoramento. O NDVI é dado por:

$$\text{NDVI} = (N - R)/(N + R) \quad (8)$$

Na Equação (8), N e R são as reflectâncias nas bandas do infravermelho próximo e do vermelho respectivamente. O índice de vegetação EVI desenvolvido para otimizar os sinais da vegetação com melhor sensibilidade à alta densidade de biomassa e redução de interferência atmosférica é dado por (Equação 9):

$$\text{EVI} = G (N - R)/(N + C1R - C2B + L) \quad (9)$$

Na Equação (9), N, R e B são as reflectâncias nas bandas do infravermelho próximo, do vermelho e do azul, respectivamente. C1 e C2 são coeficientes de ajuste para resistência a aerossóis na banda do vermelho e L é o fator de ajusto do solo. Os coeficientes adotados no algoritmo de cálculo do EVI são: L=1, C1=6, C2=7.5, e G=2.5.

Considerando a limitação de uso do EVI em que nem todos os sensores possuem a banda do azul e facilitar a elaboração de séries temporais maiores como o NDVI, neste trabalho utilizou-se a metodologia proposta por Jiang *et al.* (2008) que utiliza um algoritmo com duas bandas denominado EVI2:

$$\text{EVI2} = G (N - R)/(N + 2.4R + 1) \quad (10)$$

Na Equação (10), os dados brutos de reflectância foram obtidos a partir do laboratório de fenologia e índice de vegetação da Universidade Estadual do Arizona (VIP Lab) - Projeto MODIS VI (MOD13), com diferentes resoluções espaciais e temporais. As resoluções usadas no trabalho são 5,6 km x 5,6 km (Global) para espaço e mensal para tempo no período de 1981 e 2014 (DIDAN *et al.*, 2015).

Os seguintes valores foram determinados:

- a) NDVI e EVI anuais na estação chuvosa (EC): Representado pelo valor médio mensal dos índices entre janeiro e maio;
- b) NDVI e EVI médio do período: média dos valores anuais para um determinado período de estudo.

### **3.7 Influência da vegetação nos veranicos**

Para o estudo da influência da vegetação nos veranicos utilizou-se a análise de correlação estatística entre os parâmetros de precipitação, como frequência de veranicos longos, duração anual e duração máxima dos veranicos e os índices NDVI e EVI. Os valores médios das variáveis foram submetidos à análise de variância com auxílio do programa estatístico ASSISTAT Versão 7.7 beta (2015), e as médias dos postos comparadas pelo teste “t”, a 5% de probabilidade.

### **3.8 Impacto dos veranicos na produção agrícola de sequeiro**

Para estudar o impacto dos subperíodos secos na produtividade agrícola da região, inicialmente, foram escolhidos quatro postos na área de estudo: Carmelópolis (W<sub>2</sub>), Antonina do Norte (E<sub>2</sub>), Aiuaba (E<sub>0</sub>) e Arneiroz (E<sub>2</sub>) com dados disponíveis de precipitação atmosférica diária e produção agrícola de milho (*Zea Mays L.*).

A precipitação diária durante a estação chuvosa foi obtida da Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME) entre os anos de 2008 e 2016. Esse período corresponde aos anos de produção agrícola para os quais há dados reais de produção da Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural do estado do Ceará (EMATER-CE). Os dados meteorológicos utilizados na estimativa da evapotranspiração de referência são temperaturas, máxima e mínima, radiação solar, velocidade do vento e umidade relativa do ar da estação climatológica principal de Campos Sales-CE do Instituto Nacional de Meteorologia INMET. Dados das características físico-hídricas textura, umidade de capacidade de campo e ponto de murcha permanente das principais classes solos da região foram obtidos de Radambrasil (1981), Medeiros (2009), FUNCEME (2014) e de levantamento e classificação de solos do estado do Ceará.

O modelo de quebra de safra testado foi o proposto originalmente por Doorenbos e Kassam (1979), que relaciona a perda de rendimento de culturas com o déficit hídrico é comumente utilizado para gerar estimativas de perda de rendimento de culturas e relaciona distribuição das precipitações, necessidades da cultura e armazenamento de água nos solos,

gerando uma simulação de quebra de safra nos postos.. O modelo considera que a evapotranspiração potencial da cultura é função da evapotranspiração de referência e utiliza uma correção feita pelo coeficiente da cultura, o qual é específico para cada fase do ciclo fenológico.

Os coeficientes da cultura do milho, em cada fase do ciclo fenológico, foram utilizados de acordo com Doorenbos e Kassam (2000), para as fases 1: crescimento vegetativo, 2: florescimento, 3: formação de grãos e 4: amadurecimento e colheita. A partir de dados de evapotranspiração real e potencial e ainda com os dados de produtividade para cada ano em cada localidade, tem-se uma equação de queda de rendimento agrícola proposta por Doorenbos e Kassam (1979) para cálculo da frustração de safra agrícola. A equação original de Doorenbos e Kassam é descrita na equação 11 abaixo:

$$Pr/Pp = (1 - Ky). (1 - ETr/(ETo.Kc)) \quad (11)$$

Na Equação (11), Pr é a produtividade estimada; Pp é a produtividade potencial; ETr é a evapotranspiração real da cultura; ETo é a evapotranspiração de referência; kc é o coeficiente de cultura para cada fase fenológica; e Ky é o coeficiente de sensibilidade da cultura à deficiência hídrica, também variável com a fase fenológica da cultura.

A Pp foi calculada como sendo a produtividade média dos municípios da faixa acrescida de um percentual correspondente ao estimado pela penalização pela deficiência hídrica e que, portanto, minimize o erro entre as estimativas do modelo e as produtividades observadas. Neste trabalho optou-se pela utilização do método da EMBRAPA (Assad *et al*, 2010) para a estimativa da produtividade potencial da cultura do milho (*Zea Mays L.*) utilizando-se um fator de ajuste para a produtividade média da localidade. O fator de ajuste é variável em função das faixas de produtividade média. No ajuste do modelo o fator Ky original foi acrescido de um valor, para contemplar as eventuais especificidades regionais das variedades e, também, as particularidades dos sistemas de produção da região.

O processo de ajuste do modelo consistiu, portanto, da manipulação do coeficiente de correção da sensibilidade à deficiência hídrica (Kx) e do coeficiente de estimativa da Pp e dos parâmetros originais dos solos da região, de modo a maximizar a correlação observada entre produtividades estimadas e observadas e minimizar a diferença média absoluta entre elas. As referências utilizadas foram os valores de produtividade derivados dos dados reais de produção e área plantada dos divulgados pelo IBGE e EMATER-CE anualmente.

A análise entre os dados estimados pelo modelo e os dados observados foi feita considerando-se alguns dos coeficientes mais utilizados na literatura em análise de estimativas de produtividade agrícola.

1) Coeficiente de correlação de Pearson (r): É um indicador estatístico de precisão que indica o grau de dispersão dos dados estimados em relação à média, representado pela Equação (12) abaixo:

$$r = \frac{N \cdot \sum XY - (\sum Y) \cdot (\sum X)}{\sqrt{[N \sum X^2 - (\sum X)^2][N \sum Y^2 - (\sum Y)^2]}} \quad (12)$$

Sendo que X representa a variável observada, Y a variável estimada e N número de observações. Este coeficiente é uma ferramenta da estatística descritiva utilizada para análise de correlação de dados paramétricos.

2) Coeficiente de determinação (R<sup>2</sup>): É uma medida do poder explicativo do modelo utilizado. Dá a proporção da variação da variável dependente, Y, que é explicada em termos lineares pelas variáveis independentes. É o quadrado do coeficiente de correlação de Pearson e quanto mais próximo da unidade melhor o ajuste.

3) Coeficiente de Willmott (1981): Mede a dispersão dos dados em relação a uma reta 1:1, ou seja, a exatidão dos valores estimados em relação aos observados na equação 13.

$$d = 1 - \left[ \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n (|P_i - O| + |O_i - O|)^2} \right] \quad (13)$$

Na Equação (13), P<sub>i</sub> é o valor estimado; O<sub>i</sub> é o valor observado; O é a média dos valores observados. O índice “c” é calculado reunindo os índices de correlação “r” e Willmott “d”, por: c = r \* d cuja interpretação é mostrada na Tabela 5.

3) Coeficiente de Nash e Sutcliffe (1970): Com variações de -∞ até 1, sendo 1 ajuste perfeito. O desempenho do modelo é considerado adequado e bom se o valor de NSE superar 0,75 e considerado aceitável se o valor de NSE estiver entre 0,36-0,75. Na Equação (14), P<sub>i</sub> é o valor estimado; O<sub>i</sub> é o valor observado; O é a média dos valores observados.

$$CNS = 1 - \left[ \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - O)^2} \right] \quad (14)$$

Tabela 5 - Critério de interpretação do desempenho pelo índice “c”.

<b>Valor de “c”</b>	<b>Desempenho</b>
>0,85	Ótimo
0,76 a 0,85	Muito bom
0,66 a 0,75	Bom
0,61 a 0,65	Mediano
0,51 a 0,60	Sofrível
0,41 a 0,50	Mau
< 0,40	Péssimo

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A seguir, serão apresentados os resultados da análise dos veranicos, suas durações e frequências relativas bem como das séries temporais do grau de cobertura vegetal durante a estação chuvosa dos postos nos dois perfis estudados e em seguida, a correlação das variáveis relativas aos veranicos com os índices espectrais de vegetação para o período total e para apenas os anos coincidentes aos dez postos. A influência da distribuição das precipitações e dos veranicos será apresentada através de correlação estatística e da calibração e validação de modelo agrometeorológico com a respectiva análise estatística.

### 4.1 Caracterização dos Veranicos

A análise dos veranicos mostrou uma variabilidade dentro e entre os perfis de estudo de ano para ano considerando todas as variáveis como veranicos anuais, máximos e frequência relativa de veranicos acima de quinze dias para cada ano, nos dois perfis de estudo (Tabelas 6 e 7). As durações médias dos veranicos na estação chuvosa em cada ano isoladamente no perfil leste podem ser observadas na Tabela 6, onde existe um maior período de dados com 19 anos em Arneiroz (E<sub>2</sub>) e menor em Várzea Nova (E-1) com doze anos. As durações dos veranicos apresentaram extremos de seis e sete dias (mínimo) no ano de 2009 em Várzea Nova (E<sub>1</sub>) e Antonina (E<sub>2</sub>) até 23 (máximo) também para Antonina (E<sub>2</sub>) no ano de 2010. As durações máximas oscilaram entre sete dias no ano de 2009 em Antonina (E<sub>2</sub>) até 51 dias (máximo) no ano de 1998 no posto do IBAMA (Sede: E<sub>0</sub>). As frequências de veranicos longos oscilaram de zero (observado em vários anos) até o máximo de 80% no posto do IBAMA (Sede) em 2010. Na Tabela 7, os postos do perfil oeste apresentaram uma disponibilidade de dados menor que no perfil leste, com máximo de 14 anos de dados em Carmelópolis (W<sub>2</sub>) e um mínimo de sete anos em EP2 (W<sub>0</sub>). As durações médias dos veranicos variaram de sete dias em Várzea Nova (W<sub>1</sub>) até 38 dias em Barra (W<sub>1</sub>) no ano de 2002 (Ano seco). A duração máxima isolada foi observada no posto Fazenda Nova (W<sub>2</sub>) com 57 dias no ano de 2004. A menor tendência em vários anos foi observada em Carmelópolis (W<sub>2</sub>). No posto de Barra (W<sub>1</sub>), em 2002, todos os veranicos foram longos; enquanto que no posto de Carmelópolis (W<sub>2</sub>), não foi registrado nenhum veranico longo em quatro anos.

Tabela 6 - Duração média de veranicos (DMV), veranicos máximos (VMX) e frequências relativas de veranicos longos (FVL) para os postos do perfil leste (E)

Postos	Anos																			N
	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	
<b>Duração média dos veranicos (dias)</b>																				
<b>E<sub>2</sub></b>	9,7	7,8	10,6	16,0	9,0	11,0	15,0	9,0	14,0	12,0	13,5	12,0	8,6	9,0	14,0	8,0	10,9	12,4	9,0	<b>19</b>
<b>E<sub>1</sub></b>	15,8	8,4	14,0	17,2	10,3	11,0	19,0	11,0	16,0	14,0	10,0	18,3	9,4	9,5	12,5	8,0	13,0	10,0	*	<b>18</b>
<b>E<sub>0</sub></b>	*	7,3	13,0	17,2	8,3	12,0	17,0	10,0	20,5	10,5	9,0	15,0	8,0	9,5	22,0	9,4	13,8	*	*	<b>16</b>
<b>E<sub>-1</sub></b>	*	*	*	*	*	*	12,0	9,5	12,0	8,0	10,0	13,0	8,0	<b>6,0</b>	15,0	9,0	11,0	15,0	*	<b>12</b>
<b>E<sub>-2</sub></b>	8,4	7,6	11,4	12,3	8,4	14,0	15,0	12,0	8,9	13,0	10,8	12,0	9,0	<b>7,0</b>	<b>23,3</b>	*	*	*	*	<b>15</b>
<b>Veranicos máximos (dias)</b>																				
<b>E<sub>2</sub></b>	15	13	23	32	14	15	21	14	23	26	31	20	16	17	33	12	18	34	19	<b>19</b>
<b>E<sub>1</sub></b>	19	16	22	<b>51</b>	18	15	40	21	33	19	17	23	13	19	34	13	20	26	*	<b>18</b>
<b>E<sub>0</sub></b>	*	11	27	37	17	23	25	21	38	28	15	22	11	27	35	15	22	*	*	<b>16</b>
<b>E<sub>-1</sub></b>	*	*	*	*	*	*	25	17	29	14	14	21	10	<b>7</b>	28	13	19	26	*	<b>12</b>
<b>E<sub>-2</sub></b>	21	12	21	23	16	21	29	24	17	19	17	19	15	10	49	*	*	*	*	<b>15</b>
<b>Frequência de veranicos longos (%)</b>																				
<b>E<sub>2</sub></b>	0,0	0,0	12,5	33,3	0,0	0,0	42,9	10,0	33,3	28,6	20,0	37,5	14,3	16,7	14,3	0,0	22,2	28,6	12,5	<b>19</b>
<b>E<sub>1</sub></b>	60,0	12,5	33,3	33,3	25,0	28,6	60,0	14,3	40,0	42,9	11,1	75,0	0,0	16,7	12,5	0,0	40,0	9,1	*	<b>18</b>
<b>E<sub>0</sub></b>	*	0,0	33,3	60,0	30,0	28,6	66,7	14,3	50,0	22,2	18,2	60,0	0,0	10,0	<b>80,0</b>	0,0	40,0	*	*	<b>16</b>
<b>E<sub>-1</sub></b>	*	*	*	*	*	*	14,3	42,9	20,0	0,0	0,0	42,9	0,0	0,0	28,6	0,0	42,9	33,3	*	<b>12</b>
<b>E<sub>-2</sub></b>	22,2	0,0	33,3	50,0	10,0	50,0	42,9	28,6	0,0	14,3	20,0	50,0	0,0	0,0	50,0	*	*	*	*	<b>15</b>

\* Significa ausência de dados; N: número de anos da série. Fonte: Organizado pelo autor.

Tabela 7 - Duração média dos veranicos (DMV), veranicos máximos anuais (VMX) e frequências relativas de veranicos longos (FVL) para os postos do perfil oeste (W)

Postos	Anos														N
	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2009	2010	2011	2012	2014	
<b>Duração média dos veranicos (dias)</b>															
<b>W<sub>-2</sub></b>	20,0	11,3	14,4	15,0	7,6	9,8	8,9	9,5	16,6	7,7	14,7	7,4	13,7	14,7	<b>14</b>
<b>W<sub>-1</sub></b>	*	*	19,0	20,0	10,0	12,0	11,0	15,0	17,0	7,0	*	*	*	23,0	<b>9</b>
<b>W<sub>0</sub></b>	*	*	*	*	13,0	11,0	*	9,7	16,6	*	16,0	*	13,8	20,0	<b>7</b>
<b>W<sub>1</sub></b>	7,9	13,0	15,0	<b>38,0</b>	17,0	17,8	*	9,5	15,0	12,0	*	*	*	*	<b>9</b>
<b>W<sub>2</sub></b>	*	*	10,7	13,7	9,6	20,8	13,7	9,4	16,2	9,0	10,8	9,7	16,0	12,4	<b>12</b>
<b>Veranicos máximos anuais (dias)</b>															
<b>W<sub>-2</sub></b>	25,0	23,0	46,0	26,0	12,0	17,0	15,0	16,0	27,0	13,0	28,0	10,0	45,0	25,0	<b>14</b>
<b>W<sub>-1</sub></b>	*	*	30,0	41,0	21,0	32,0	21,0	28,0	25,0	14,0	*	*	*	49,0	<b>9</b>
<b>W<sub>0</sub></b>	*	*	*	*	21,0	30,0	*	20,0	32,0	*	34,0	*	22,0	34,0	<b>7</b>
<b>W<sub>1</sub></b>	20,0	28,0	40,0	45,0	23,0	37,0	*	22,0	20,0	32,0	*	*	*	*	<b>9</b>
<b>W<sub>2</sub></b>	*	*	21,0	22,0	18,0	<b>57,0</b>	28,0	21,0	30,0	14,0	20,0	17,0	36,0	26,0	<b>12</b>
<b>Frequência de veranicos longos (%)</b>															
<b>W<sub>-2</sub></b>	75,0	16,7	14,3	20,0	0,0	14,3	0,0	16,7	60,0	0,0	50,0	0,0	28,6	33,3	<b>14</b>
<b>W<sub>-1</sub></b>	*	*	83,3	75,0	25,0	33,3	12,5	42,9	40,0	0,0	*	*	*	60,0	<b>9</b>
<b>W<sub>0</sub></b>	*	*	*	*	40,0	16,7	*	12,5	40,0	*	40,0	*	50,0	50,0	<b>7</b>
<b>W<sub>1</sub></b>	10,0	40,0	42,9	<b>100,0</b>	80,0	40,0	*	11,1	66,7	11,1	*	*	*	*	<b>9</b>
<b>W<sub>2</sub></b>	*	*	22,2	20,0	11,1	50,0	28,6	14,3	60,0	12,5	12,5	16,7	40,0	25,0	<b>12</b>

\* Significa ausência de dados. N: número de anos da série. Fonte: Organizado pelo autor.

A Tabela 8 apresenta a média das variáveis relacionadas aos veranicos para todo o período disponível de dados. Para o perfil leste (E), as maiores durações foram observadas no posto do IBAMA (Sede:  $E_0$ ) e Várzea Nova ( $E_{-1}$ ), localizados no entorno da ESEC-Aiuaba. A duração média dos veranicos do perfil leste oscilou entre 11 e 13 dias; com frequências de veranicos longos variando entre 17% e 32%; e os veranicos máximos variaram entre 19 e 24 dias. No perfil oeste, as maiores durações dos veranicos foram observadas em Barra ( $W_1$ ) e Cedro ( $W_{-1}$ ), no entorno da ESEC-Aiuaba. A duração média de veranicos oscilou entre 15 e 16 dias; os veranicos máximos duraram de 23 a 30 dias; e a frequência de veranicos longos variou de 23% a 45%. Portanto, os veranicos observados no perfil oeste foram, em linhas gerais, maiores e mais frequentes que aqueles observados no perfil leste. Uma possível explicação para esse fato pode ser a diferença existente entre os períodos de dados disponíveis para os postos dos dois perfis.

A comparação estatística entre as médias das variáveis foi feita utilizando-se o teste “t” ao nível de 5% com diferentes números de repetição para os postos. De modo geral, não houve diferenças estatísticas entre as durações médias da maioria dos postos, entretanto, o posto  $W_1$  situado em área de caatinga degradada, com a maior duração média de veranicos (16,1 dias) destacou-se e apresentou diferença significativa com relação aos postos  $E_2$ ,  $E_1$ ,  $E_{-1}$ ,  $E_{-2}$  e  $W_{-2}$ . Também apresentou veranicos máximos isolados (29,7 dias) com diferenças significativas com relação a  $E_2$ ,  $E_{-1}$  e  $E_{-2}$  e frequência de veranicos longos máximas isoladas (44,6%) com diferenças significativas em relação a  $E_2$ ,  $E_{-1}$  e  $E_{-2}$  e  $W_{-2}$ .

A Tabela 9 apresenta os resultados referentes aos anos comuns a todos os dez postos, quais sejam, 2003, 2004, 2006 e 2007. Também nesse caso os veranicos mais severos foram observados no perfil oeste. Entretanto, as diferenças não foram tão acentuadas em relação ao perfil leste: DMV variou de 11 a 14 dias no perfil E contra 11 a 15 dias no perfil W; VMX oscilou entre 19 e 25 dias no perfil E contra 18 a 31 dias no perfil W; e FVL ocorreram de 25% a 36% no perfil E contra 23% a 49% no perfil W. A maior proximidade dos resultados entre os dois perfis foi, portanto, obtida com a uniformização dos períodos de observação.

Vale salientar que as diferenças estatísticas entre os postos são bem mais destacadas na Tabela 8 (períodos distintos de observação) que na Tabela 9.

Tabela 8 - Duração média de veranicos (DMV), veranicos máximos anuais (VMX) e frequências de veranicos longos (FVL). Médias do período total (1995 – 2014, conforme o caso)

	<b>DMV (dias)</b>	<b>VMX (dias)</b>	<b>FVL (%)</b>
<b>E<sub>2</sub></b>	11,1 c	20,8 bc	<b>17,2 c</b>
<b>E<sub>1</sub></b>	12,6 bc	23,3 abc	28,6 abc
<b>E<sub>0</sub></b>	12,7 abc	23,4 abc	32,1 abc
<b>E<sub>-1</sub></b>	<b>10,7 c</b>	<b>18,6 c</b>	<b>18,7 c</b>
<b>E<sub>-2</sub></b>	11,5 bc	20,9 bc	24,8 bc
<b>W<sub>-2</sub></b>	12,2 bc	23,4 abc	23,5 bc
<b>W<sub>-1</sub></b>	15,1 ab	29,0 a	41,3 ab
<b>W<sub>0</sub></b>	14,3 abc	27,6 ab	35,6 abc
<b>W<sub>1</sub></b>	<b>16,1 a</b>	<b>29,7 a</b>	<b>44,6 a</b>
<b>W<sub>2</sub></b>	12,7 abc	25,8 abc	26,1 abc

\* As médias seguidas pela mesma letra em cada coluna não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste “t” ao nível de 5% de probabilidade. Fonte: O autor.

Tabela 9 - Duração média de veranicos (DMV), veranicos máximos (VMX), frequências de veranicos longos (FVL). Médias dos anos coincidentes (2003-2007, com exceção de 2005)

<b>Postos</b>	<b>DMV (dias)</b>	<b>VMX (dias)</b>	<b>FVL (%)</b>
<b>E<sub>2</sub></b>	12,1 a	22,0 ab	25,2 a
<b>E<sub>1</sub></b>	13,8 a	23,5 ab	35,1 a
<b>E<sub>0</sub></b>	13,6 a	24,0 ab	35,6 a
<b>E<sub>-1</sub></b>	11,1 a	20,3 ab	26,5 a
<b>E<sub>-2</sub></b>	<b>10,9 a</b>	19,3 ab	24,7 a
<b>W<sub>-2</sub></b>	<b>10,9 a</b>	<b>18,0 b</b>	<b>22,8 a</b>
<b>W<sub>-1</sub></b>	13,5 a	26,5 ab	35,3 a
<b>W<sub>0</sub></b>	12,6 a	25,7 ab	27,4 a
<b>W<sub>1</sub></b>	<b>14,8 a</b>	25,5 ab	<b>49,5 a</b>
<b>W<sub>2</sub></b>	14,0 a	<b>31,5 a</b>	33,9 a

\* As médias seguidas pela mesma letra nas colunas não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste “t” ao nível de 5% de probabilidade. Fonte: O autor.

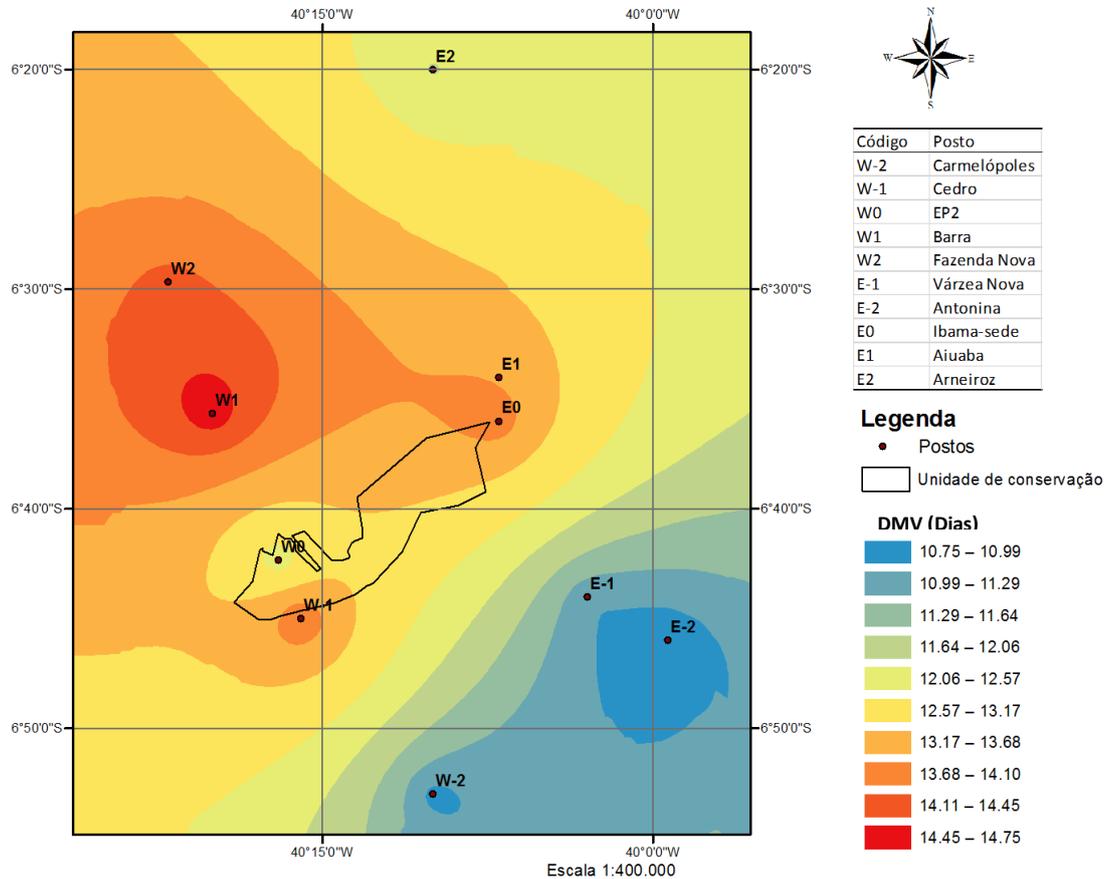
No período dos anos coincidentes de coleta só foram observadas diferenças significativas na comparação de médias dos veranicos máximos. Para o período total, houve

um aumento de até 50% na DMV, 60% para VMX e 138% para FVL entre os extremos  $W_1$  (Caatinga degradada) e  $E_1$  (Caatinga conservada) com diferenças estatísticas significantes. No período dos anos coincidentes (Tabela 9), as diferenças entre os extremos chegaram a 36% para DMV entre  $W_1$  e  $E_1$ , 60% no VMX entre  $W_{-1}$  e  $W_{-2}$  e 117% na FVL entre  $W_1$  e  $W_{-2}$ . Ressalta-se que as diferenças nas durações e frequências de veranicos entre as situações extremas caatinga degradada e caatinga conservada foram semelhantes nos dois períodos, entretanto, no período de anos coincidentes não houve diferença estatística como ocorreu no período total dos anos. Esse fato pode ser atribuído ao menor número de dados disponíveis no período dos anos coincidentes, com apenas quatro anos.

O posto de área preservada  $W_0$  em caatinga arbórea densa apresentou, de modo geral, valores de duração e frequência de veranicos intermediários entre os postos situados em área de caatinga conservada e caatinga degradada. Já o segundo posto de área preservada  $E_0$  na periferia da ESEC em área de caatinga aberta, apresentou, de modo geral, as maiores durações e frequências de veranicos.

A Figura 4 mostra através de interpolação dos pontos referentes às durações médias dos veranicos que o perfil oeste com os veranicos de maior duração. Destaque-se também que as maiores durações de veranicos estão no setor Noroeste, localizado majoritariamente em área de caatinga degradada, enquanto o setor Sul-Sudeste ( $E_{-2}$  e  $W_{-2}$ ) detêm os veranicos mais curtos da área de estudo, localizado em um núcleo de vegetação de caatinga mais conservada. Na área central de estudo, onde se encontra a ESEC-Aiuaba, ocorreram veranicos um pouco mais brandos (em torno do posto  $W_0$ ), que apresenta diminuição na duração média dos veranicos e vegetação preservada. Portanto, há um gradiente nos veranicos, com valores mínimos nos setores Sul-Sudeste e valores máximos em Norte-Noroeste. Esse comportamento climático sugere uma interação em mesoescala, com a cobertura vegetal tendo um papel parcial nas características dos veranicos.

Figura 4 - Duração de veranicos anuais em dias. Valores médios do período correspondente aos anos coincidentes (2003-2007, com exceção de 2005) para os dez postos estudados.



Fonte: Elaborada pelo autor.

#### 4.2 Padrão temporal da cobertura vegetal e sua relação com veranicos

Na Tabela 10, os índices de vegetação NDVI e EVI, indicadores do grau de cobertura da vegetação no entorno dos postos, são observados para os postos do perfil leste e na Tabela 11, os postos do perfil oeste. Os índices de vegetação de entorno de cada posto foram obtidos de sensoriamento remoto em resolução global de 5,6 km em associação com os anos que continham dados de precipitação.

A análise da Tabela 10 destaca uma grande variabilidade do grau de cobertura vegetal de ano para ano no perfil leste, com extremos de 0,21 nos anos mais secos a 0,52 para o EVI nos anos com maiores totais precipitados. Os valores de NDVI oscilaram de 0,40 até 0,79. Dentro do perfil leste, a vegetação apresentou maior estabilidade com padrão elevado no sul da área (Entorno de E<sub>1</sub>). O índice EVI apresenta menores valores comparativamente ao

NDVI, pois na sua determinação ocorre a inclusão de uma banda de reflectância a mais. Entretanto e por esse motivo, o EVI é mais rigoroso na detecção de áreas densamente vegetadas que o NDVI.

A Tabela 11 mostra que no perfil oeste os extremos variaram de 0,33 até 0,60 para EVI e 0,52 a 0,76 para NDVI superando o perfil leste e principalmente devido à influência dos postos  $W_0$  de área preservada e  $W_{.2}$  de caatinga mais conservada ao sul do perfil e com maiores índices de cobertura vegetal.

Tabela 10 - Índices de vegetação EVI e NDVI na estação chuvosa (EC) de cada ano para os postos do perfil leste (E)

Postos	Anos																		
	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
<b>EVI</b>																			
<b>E<sub>2</sub></b>	0,46	0,43	0,46	0,38	0,36	0,44	0,53	0,42	0,44	0,40	0,37	0,44	0,43	0,46	0,44	0,49	0,33	0,30	0,44
<b>E<sub>1</sub></b>	0,32	0,37	0,37	0,29	0,32	0,35	0,42	0,39	0,41	0,41	0,36	0,44	0,42	0,39	0,32	0,43	0,38	0,21	*
<b>E<sub>0</sub></b>	*	0,41	0,37	0,29	0,36	0,37	0,40	0,43	0,40	0,39	0,35	0,41	0,43	0,38	0,33	0,41	0,41	*	*
<b>E<sub>.1</sub></b>	*	*	*	*	*	*	0,50	0,52	0,52	0,42	0,40	0,48	0,44	0,45	0,37	0,48	0,42	0,33	*
<b>E<sub>.2</sub></b>	0,45	0,43	0,44	0,37	0,42	0,46	0,40	0,45	0,50	0,43	0,41	0,46	0,45	0,43	0,32	*	*	*	*
<b>NDVI</b>																			
<b>E<sub>2</sub></b>	0,69	0,70	0,74	0,61	0,56	0,67	0,75	0,60	0,67	0,64	0,63	0,69	0,79	0,72	0,70	0,76	0,47	0,47	0,69
<b>E<sub>1</sub></b>	0,56	0,60	0,57	0,59	0,50	0,54	0,63	0,61	0,66	0,61	0,49	0,63	0,59	0,56	0,48	0,67	0,55	0,40	*
<b>E<sub>0</sub></b>	*	0,60	0,54	0,54	0,64	0,57	0,62	0,68	0,68	0,62	0,55	0,67	0,66	0,61	0,53	0,65	0,64	*	*
<b>E<sub>.1</sub></b>	*	*	*	*	*	*	0,73	0,70	0,71	0,62	0,61	0,68	0,68	0,66	0,61	0,68	0,65	0,56	*
<b>E<sub>.2</sub></b>	0,66	0,63	0,64	0,63	0,67	0,66	0,66	0,65	0,68	0,63	0,61	0,64	0,65	0,61	0,59	*	*	*	*

\* Significa ausência de dados. Fonte: Organizada pelo autor.

Tabela 11 - Índices de vegetação EVI e NDVI na estação chuvosa (EC) de cada ano para os postos do perfil Oeste (W)

Postos	Anos													
	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2009	2010	2011	2012	2014
<b>EVI</b>														
<b>W<sub>2</sub></b>	0,51	0,48	0,33	0,53	0,47	0,60	0,48	0,45	0,47	0,49	0,40	0,47	0,40	0,48
<b>W<sub>1</sub></b>	*	*	0,34	0,45	0,46	0,42	0,41	0,41	0,44	0,40	*	*	*	0,43
<b>W<sub>0</sub></b>	*	*	*	*	0,48	0,51	*	0,45	0,50	*	0,48	*	0,43	0,46
<b>W<sub>1</sub></b>	0,40	0,36	0,37	0,38	0,45	0,42	*	0,40	0,44	0,45	*	*	*	*
<b>W<sub>2</sub></b>	*	*	0,40	0,47	0,42	0,43	0,43	0,43	0,41	0,45	0,43	0,46	0,38	0,43
<b>NDVI</b>														
<b>W<sub>2</sub></b>	0,61	0,68	0,56	0,72	0,73	0,76	0,66	0,66	0,69	0,73	0,59	0,72	0,64	0,70
<b>W<sub>1</sub></b>	*	*	0,52	0,69	0,70	0,74	0,65	0,65	0,68	0,64	*	*	*	0,65
<b>W<sub>0</sub></b>	*	*	*	*	0,73	0,74	*	0,74	0,70	*	0,84	*	0,75	0,73
<b>W<sub>1</sub></b>	0,56	0,53	0,62	0,62	0,69	0,64	*	0,64	0,68	0,69	*	*	*	*
<b>W<sub>2</sub></b>	*	*	0,64	0,73	0,68	0,67	0,66	0,74	0,61	0,62	0,65	0,72	0,71	0,66

\* Significa ausência de dados. Fonte: Organizada pelo autor.

A Tabela 12 mostra, resumidamente, os valores médios dos índices de vegetação no entorno dos postos. Observa-se uma maior densidade de cobertura vegetal na porção sudeste dos dois perfis de estudo (leste e oeste) enquanto uma diminuição dos índices de vegetação de entorno na parte norte e noroeste, tanto nos anos totais como nos anos comuns de dados. Os maiores índices estão de acordo com classificação de caatinga arbórea densa preservada ( $W_0$ ) e conservada ( $W_{-2}$  e  $E_{-1}$ ) e os menores valores de EVI e NDVI de acordo com a classificação de complexo caatinga arbustivo-arbórea aberta ( $E_0$ ) e degradada ( $E_1$ ).

Tabela 12 - Índices de vegetação EVI e NDVI- Valores médios da estação chuvosa no período total e anos coincidentes aos dez postos

Postos	Período total 1995 - 2014 (Conforme o caso)		Anos coincidentes 2003 - 2007 (Exceção de 2005)	
	EVI	NDVI	EVI	NDVI
$E_2$	0,42 b	0,66 b	0,42 c	0,65 e
$E_1$	<b>0,37 d</b>	<b>0,57 d</b>	0,40 d	0,60 b
$E_0$	<b>0,38 e</b>	0,61 c	<b>0,40 d</b>	0,65 c
$E_{-1}$	<b>0,44 d</b>	<b>0,66 b</b>	<b>0,47 e</b>	<b>0,68 d</b>
$E_{-2}$	0,43 b	0,64 e	0,45 f	0,65 c
$W_{-2}$	<b>0,47 a</b>	<b>0,68 b</b>	<b>0,49 a</b>	<b>0,71 d</b>
$W_{-1}$	0,42 c	0,65 e	0,43 b	0,70 d
$W_0$	<b>0,47 a</b>	<b>0,74 a</b>	<b>0,49 a</b>	<b>0,73 a</b>
$W_1$	0,41 c	0,63 e	0,43 b	0,66 f
$W_2$	0,43 b	0,67 b	0,42 c	0,68 d

As médias seguidas pela mesma letra em cada coluna não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste t ao nível de 5% de probabilidade. Fonte: O autor.

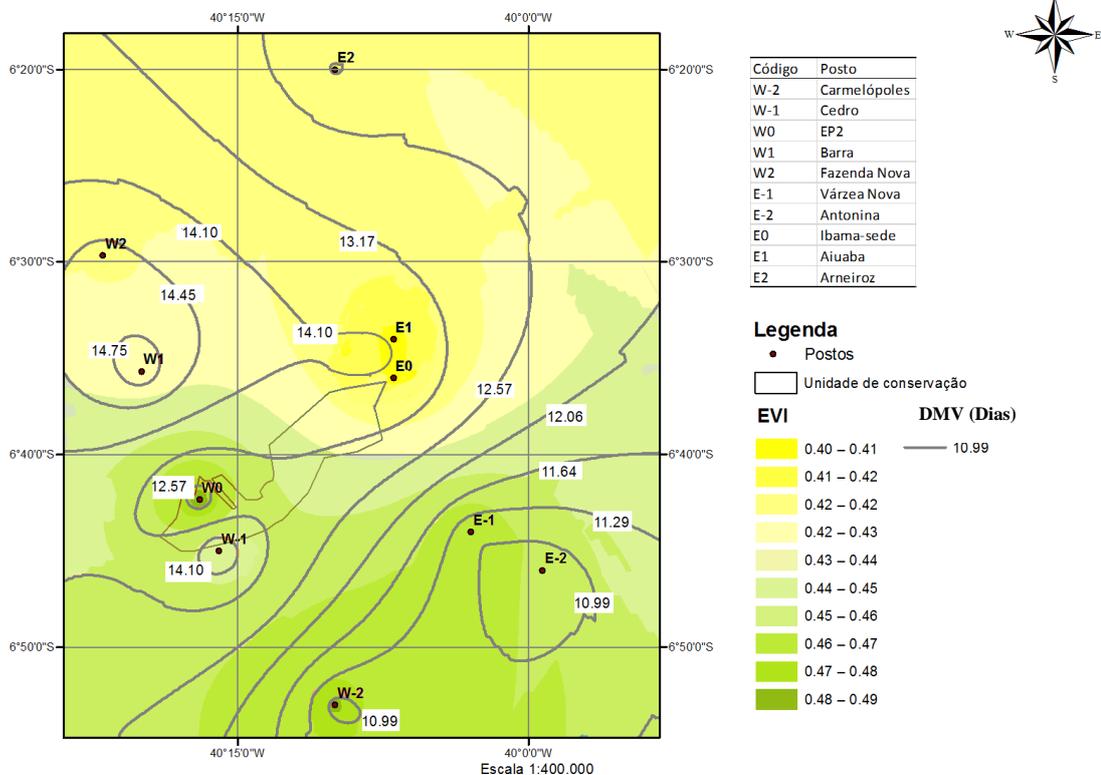
Tanto no período total quanto nos anos coincidentes houve diferenças significativas entre as médias dos índices de vegetação dos postos destacando-se os postos de área de caatinga conservada  $E_{-1}$  e  $W_{-2}$  e de caatinga preservada  $W_0$  com os maiores índices vegetacionais da área.

Apesar dos dois postos ( $W_0$  e  $E_0$ ) situarem-se em área preservada, ocorre uma diferença estatística significativa entre os valores dos índices de vegetação dos mesmos. O

Posto  $W_0$  apresenta formação de vegetação de entorno do tipo floresta estacional caducifólia em relevo ondulado, uma formação do tipo densa presente em cerca de 50% da área da ESEC desenvolvida em solos com associações de Luvisolos eutróficos e Latossolos de média profundidade a profundos (MEDEIROS, 2004). Os demais postos que complementam os dois perfis de estudo apresentaram índices de vegetação intermediários resultantes das diferentes combinações de solo e cobertura vegetal de caatinga arbustiva – arbórea mais conservada.

A Figura 5 integra a distribuição espacial da vegetação (EVI) e das durações médias dos veranicos (DMV) simultaneamente para os anos coincidentes de coleta de dados entre os dez postos. Observa-se que no setor sul da área (Entorno de  $W_{-2}$  e  $E_{-1}$ ), os maiores índices de vegetação das áreas mais conservadas contrastam com as menores durações médias dos veranicos, enquanto na porção central (Entorno de  $E_0$ ), norte e noroeste da área (Entorno de  $W_1$  e  $W_2$ ) os maiores veranicos estão relacionados com os menores índices vegetacionais das áreas de caatinga degradada (Figura 5). Portanto, pode-se visualizar claramente um efeito regional em mesoescala, onde as durações dos veranicos se relacionam inversamente com a vegetação.

Figura 5 – Índices de vegetação (EVI) e duração média dos veranicos (DMV) para o período de anos coincidentes (2003-2007, com exceção de 2005) na área de estudo

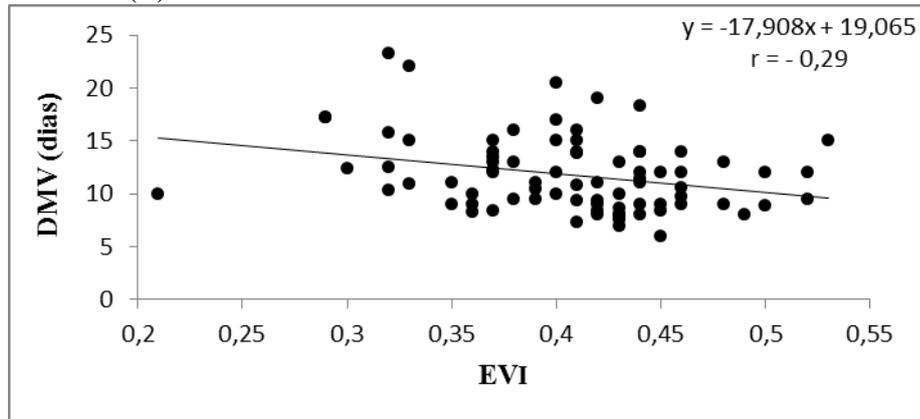


Fonte: Elaborada pelo autor.

As durações média dos veranicos anuais (DMV), veranicos máximos anuais (VMX) e frequência dos veranicos longos (FVL) foram correlacionados matematicamente com os índices de vegetação NDVI e EVI de entorno durante a estação chuvosa (EC), entre os meses de janeiro e maio de para o período total de dados disponíveis em cada posto e também nos anos coincidentes para os perfis leste (E) e oeste (W) e para todos os postos.

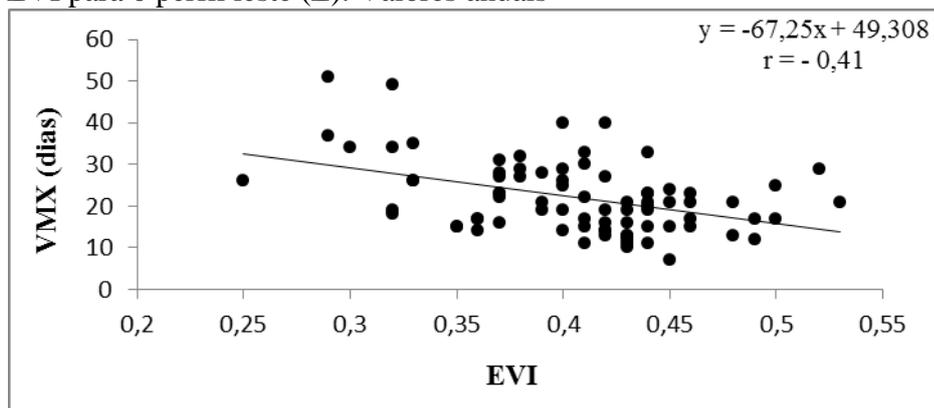
As Figuras 6, 7 e 8 representam as correlações entre as variáveis características dos veranicos e o índice de densidade vegetal EVI para os postos dos perfis leste (E). Pode-se observar uma alta dispersão e baixa correlação no perfil leste entre as variáveis relativas aos veranicos anuais com  $r = -0,29$  (Figura 6), as maiores correlações para veranicos máximos anuais (Figura 7) com coeficiente de Pearson “r” de  $-0,43$  e frequência de veranicos longos com  $r = -0,20$  (Figura 8).

Figura 6 - Correlação entre duração média de veranicos (DMV) e índice EVI para o perfil leste (E). Valores anuais



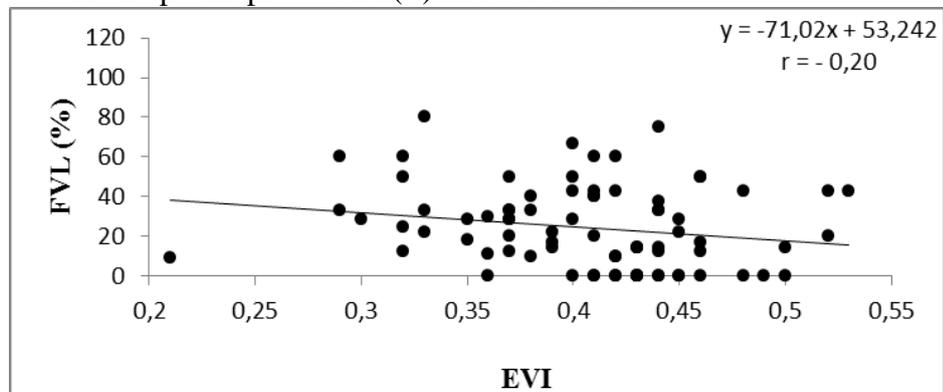
Fonte: Elaborada pelo autor. y: duração média dos veranicos (dias); x: EVI.

Figura 7 - Correlação entre veranicos máximos anuais (VMX) e índice EVI para o perfil leste (E). Valores anuais



Fonte: Elaborada pelo autor. y: veranicos máximos (dias); x: EVI.

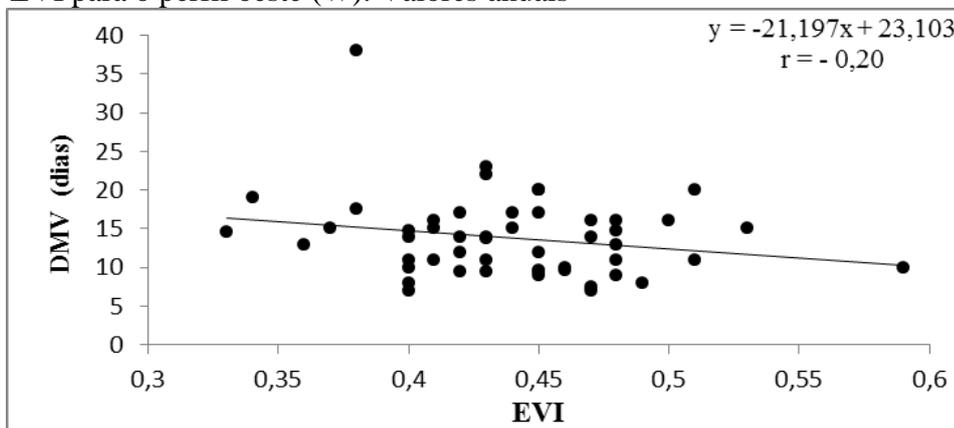
Figura 8 - Correlação entre frequência de veranicos longos (FVL) e índice EVI para o perfil leste (E). Valores anuais



Fonte: Elaborada pelo autor. y: frequência de veranicos longos (%); x: EVI.

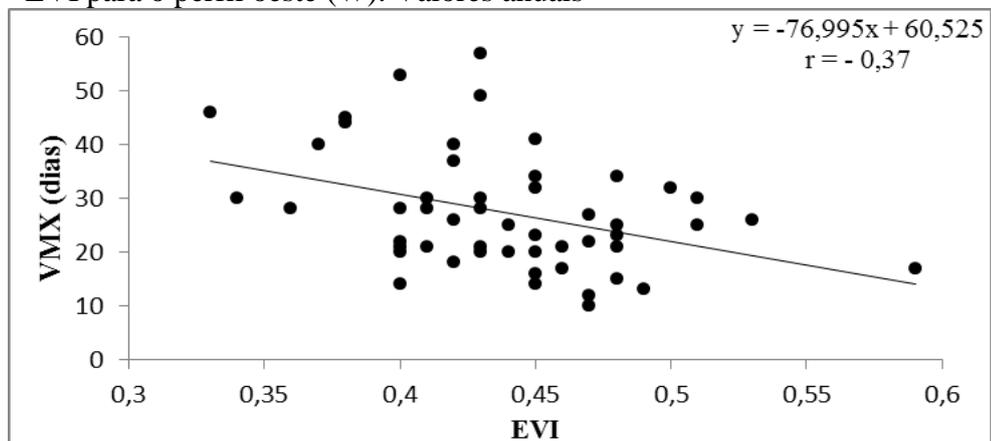
As Figuras 9, 10 e 11 apresentam as correlações entre as variáveis dos veranicos e o índice de vegetação EVI no perfil oeste para todos os anos disponíveis em cada posto. Observa-se um comportamento semelhante ao perfil leste. Para a duração média dos veranicos (Figura 9), veranicos máximos (Figura 10) e frequência de veranicos (Figura 11) observa-se uma dispersão nas análises mostrando o papel dos fatores da circulação climática de grande escala na variabilidade dos subperíodos secos em cada ano, como a temperatura dos oceanos e ação de sistemas como a Zona de Convergência Intertropical (MENEZES *et al.*, 2008). A vegetação representada pelo índice EVI teve um papel secundário na variabilidade dos parâmetros em nível anual.

Figura 9 - Correlação entre duração média de veranicos (DMV) e índice EVI para o perfil oeste (W). Valores anuais



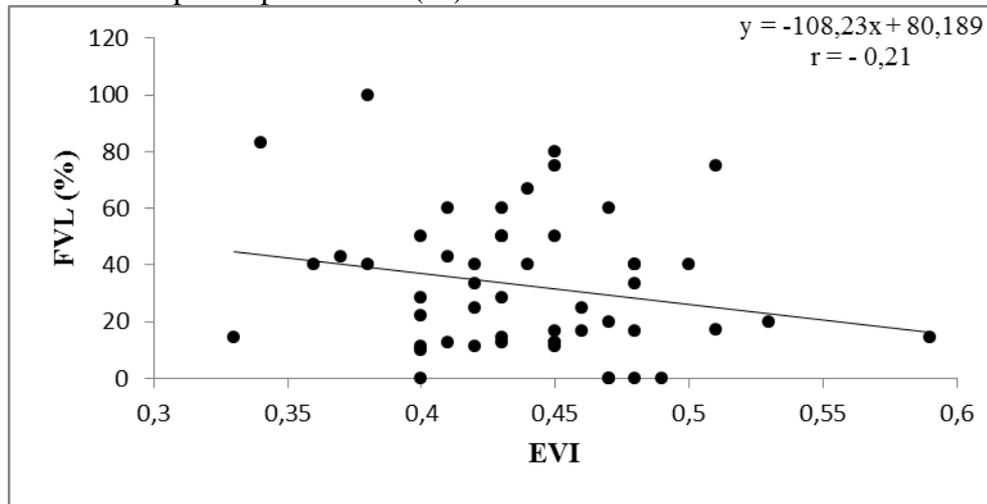
Fonte: Elaborada pelo autor. y: duração média dos veranicos (dias); x: EVI.

Figura 10 - Correlação entre veranicos máximos anuais (VMX) e índice EVI para o perfil oeste (W). Valores anuais



Fonte: Elaborada pelo autor. y: veranicos máximos (dias); x: EVI.

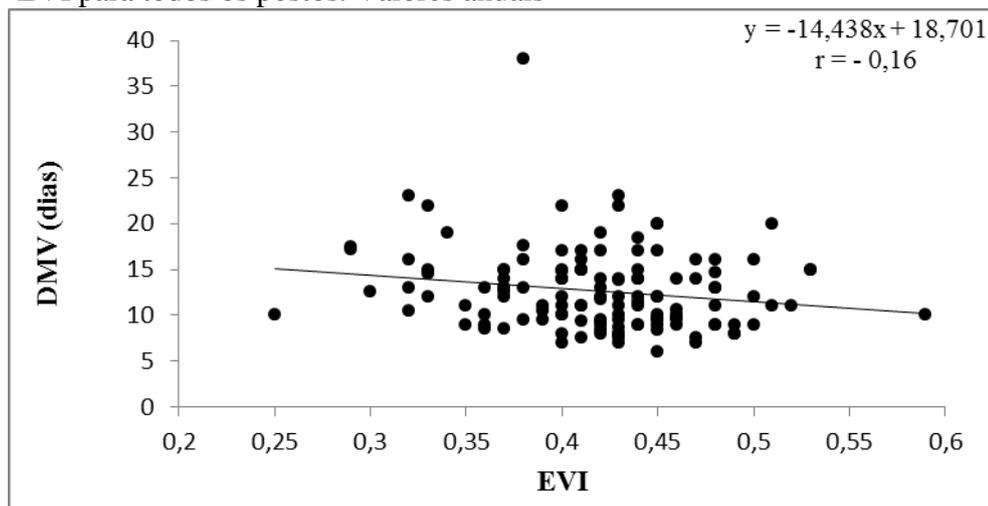
Figura 11 - Correlação entre Frequência de veranicos longos (FVL) e índice EVI para o perfil oeste (W). Valores anuais



Fonte: Elaborada pelo autor. y: frequência de veranicos longos (%); x: EVI

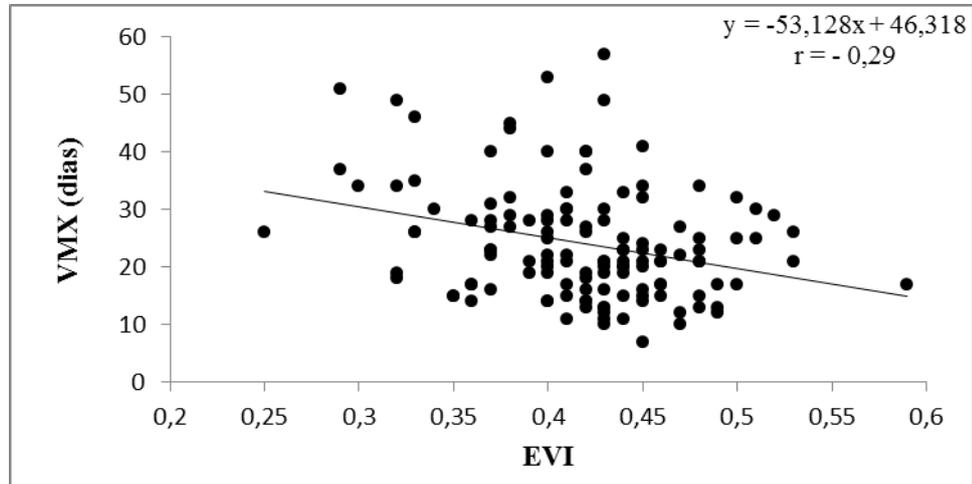
A análise das figuras 12, 13 e 14 destaca que, apesar de as correlações anuais apresentarem valores baixos, a duração máxima dos veranicos obteve melhores relações com o índice de cobertura vegetal de entorno, tanto nos perfis como na totalidade dos postos, o que sugere uma possível influência maior da cobertura vegetal nos veranicos extremos em cada ano.

Figura 12 - Correlação entre duração média de veranicos (DMV) e índice EVI para todos os postos. Valores anuais



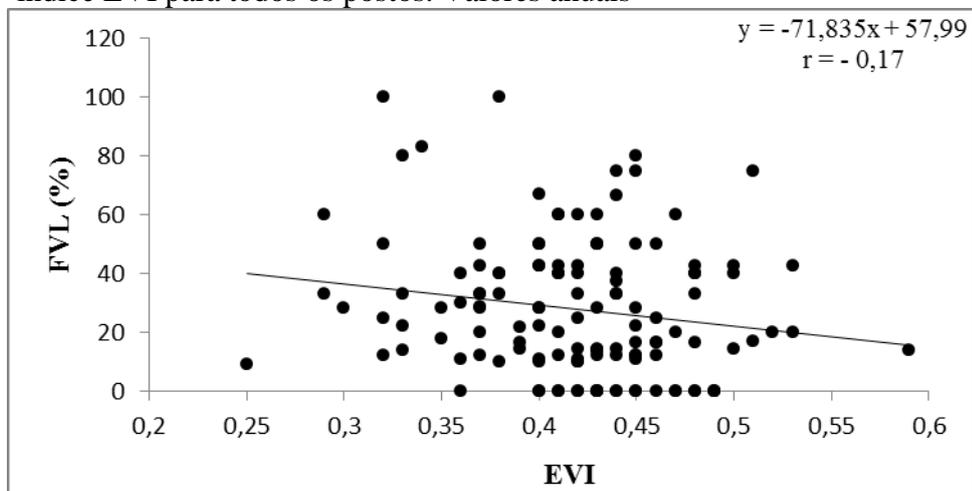
Fonte: Elaborada pelo autor. y: duração média dos veranicos (dias); x: EVI

Figura 13 - Correlação entre veranicos máximos anuais (VMX) e índice EVI para todos os postos. Valores anuais



Fonte: Elaborada pelo autor. y: veranicos máximos (dias); x: EVI.

Figura 14 - Correlação entre Frequência de veranicos longos (FVL) e índice EVI para todos os postos. Valores anuais



Fonte: Elaborada pelo autor. y: frequência de veranicos longos (%); x: EVI.

A Tabela 13 apresenta, de forma resumida, as correlações entre as variáveis relativas aos veranicos e os índices de vegetação NDVI e EVI no período total e no período dos anos coincidentes,.

Os anos coincidentes a todos os postos apresentaram um padrão de correlação semelhante aos anos totais, com destaque para as correlações entre veranicos máximos e o índice EVI no perfil leste ( $r = -0,37$ ) e perfil oeste ( $r = -0,55$ ) seguidas das correlações entre

durações médias dos veranicos e EVI no perfil leste ( $r = - 0,31$ ) e perfil oeste ( $r = - 0,26$ ). Observa-se que não há um padrão correlacional entre as variáveis dos veranicos e o índice NDVI nem nos anos totais, nem no período coincidente, com alternância de correlações positivas no perfil leste e negativas no perfil oeste. Essa instabilidade observada pode ser atribuída ao fato de que o índice NDVI apresenta menor capacidade de detectar variações em coberturas mais densas, podendo apresentar saturação nos seus valores.

Tabela 13 - Correlação (Coeficiente de Pearson) entre as variáveis relativas aos veranicos e índices de vegetação no período total (1995 – 2014, conforme o caso) e em anos coincidentes (2003-2007, com exceção de 2005). Valores anuais

Variáveis	Perfil leste		Perfil oeste		Todos os postos	
	EVI	NDVI	EVI	NDVI	EVI	NDVI
<b>Período total (1995 -2014, conforme o caso)</b>						
DMV	- 0,29	0,10	- 0,20	- 0,18	- 0,16	0,05
VMX	<b>- 0,41</b>	0,10	<b>- 0,37</b>	- 0,20	<b>- 0,29</b>	0,07
FVL	- 0,20	0,05	- 0,21	- 0,26	- 0,17	- 0,12
<b>Anos coincidentes (2003-2007, com exceção de 2005)</b>						
DMV	- 0,10	0,30	- 0,21	- 0,48	- 0,12	0,001
VMX	- 0,02	0,41	- 0,25	- 0,30	- 0,10	0,17
FVL	0,17	0,34	- 0,20	- 0,40	0,01	0,05

Fonte: Elaborado pelo autor.

Como forma de controlar o efeito da variabilidade interanual em cada posto, procedeu-se um estudo de correlação entre os valores médios das variáveis estudadas ao longo do tempo também nas duas escalas: período total e período coincidente. A análise no período dos anos comuns ou coincidentes aos postos tem a função de minimizar os efeitos de fatores climáticos de grande escala, que ocorrem de ano para ano. Deste modo, o conjunto dos postos da microrregião estaria submetido às mesmas condições de circulação atmosférica. Alguns estudos que correlacionam variáveis meteorológicas e índices de vegetação relataram melhor representação ao se utilizarem valores médios das variáveis em todo o período de estudo como forma de reduzir o erro padrão como os de Damizadeh (2001) e Viana (2013).

A hierarquização das correlações pode ser visualizada nas Tabelas 14 (Perfil leste) e Tabela 15 (Perfil oeste). A ordem das maiores correlações ainda destaca a relação inversa entre o índice EVI e os veranicos anuais médios dos anos totais e nos anos comuns de dados.

Na totalidade dos postos dos postos com  $r = -0,71$  (Tabela 16 e Figura 21). As correlações entre duração média dos veranicos e a cobertura vegetal de entorno são significativas ao nível de 5% de probabilidade para os anos coincidentes (Tabela 16).

Tabela 14 - Hierarquização das correlações mais representativas entre as médias das variáveis estudadas para o perfil leste

Posição	Correlações	r
1	Duração média dos veranicos x EVI (Período total)	-0,95
2	Veranicos máximos anuais x EVI (Período total)	-0,95
3	Veranicos máximos anuais x EVI (Anos coincidentes)	-0,93
4	Duração média dos veranicos x EVI (Anos coincidentes)	-0,92
5	Duração média dos veranicos x NDVI (Período total)	-0,89
6	Veranicos máximos anuais x NDVI (Período total)	-0,82

Fonte: Organizado pelo autor.

Tabela 15 - Hierarquização das correlações mais representativas entre as médias das variáveis estudadas para o perfil oeste

Posição	Correlações	r
1	Duração média dos veranicos x EVI (Anos coincidentes)	-0,91
2	Frequência de veranicos longos x NDVI (Anos coincidentes)	-0,83
3	Frequência de veranicos longos x EVI (Anos coincidentes)	-0,80
4	Duração média dos veranicos x NDVI (Anos coincidentes)	-0,79
5	Veranicos máximos anuais x EVI (Anos coincidentes)	-0,77
6	Veranicos máximos anuais x EVI (Período total)	-0,66

Fonte: Organizado pelo autor.

Tabela 16 - Hierarquização das correlações mais representativas entre as médias das variáveis estudadas para todos os postos

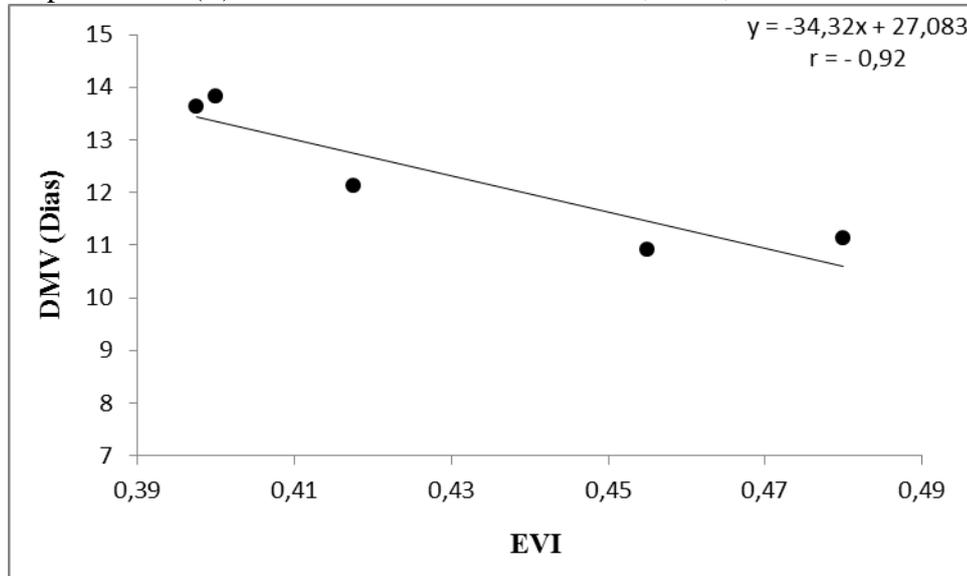
Posição	Correlações	r
1	Duração média dos veranicos x EVI (Anos coincidentes)	-0,71
2	Frequência de veranicos longos x EVI (Anos coincidentes)	-0,56
3	Veranicos máximos anuais x EVI (Anos coincidentes)	-0,42
4	Frequência de veranicos longos x NDVI (Anos coincidentes)	-0,30
5	Duração média dos veranicos x NDVI (Anos coincidentes)	-0,30
6	Frequência de veranicos longos x EVI (Período total)	-0,20

Fonte: Organizado pelo autor.

As Figuras 15, 16 e 17 destacam as correlações entre os valores médios das variáveis relativas aos veranicos de cada posto e o índice de vegetação EVI nos anos comuns de análise (2003 a 2007 com exceção de 2005). A duração média dos veranicos apresentou correlação de Pearson  $r = -0,92$  (Figura 15), a duração máxima com  $r = -0,93$  (Figura 16) e a

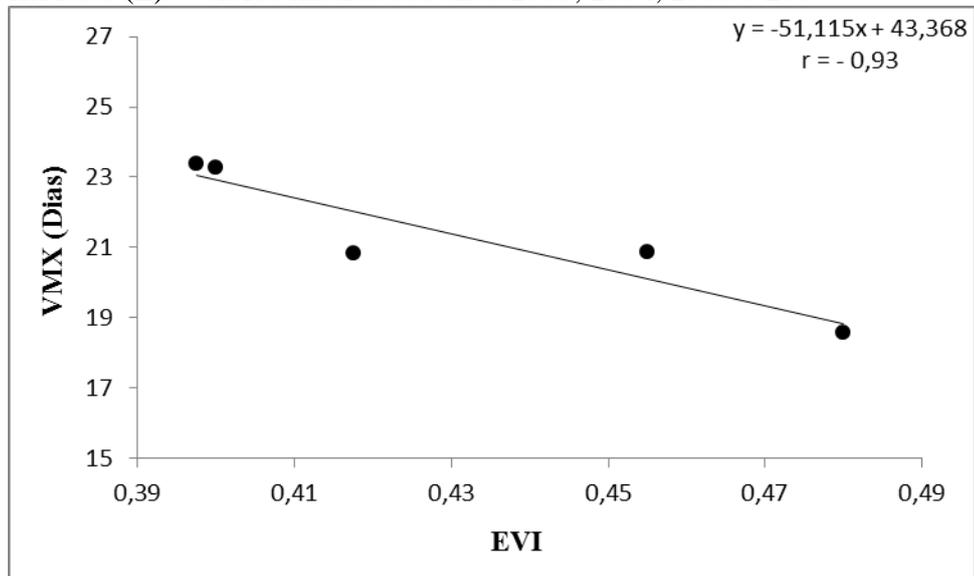
frequência relativa de veranicos longos com  $r = -0,74$ . Portanto, uma correlação inversa muito alta entre as variáveis considerando seus valores médios do período.

Figura 15 - Correlação entre duração média de veranicos (DMV) e índice EVI para o perfil leste (E). Valores médios dos anos 2003, 2004, 2006 e 2007



\* y: duração média de veranicos (dias); x: EVI. Fonte: O autor.

Figura 16 - Correlação entre veranicos máximos (VMX) e índice EVI para perfil leste (E). Valores médios dos anos 2003, 2004, 2006 e 2007

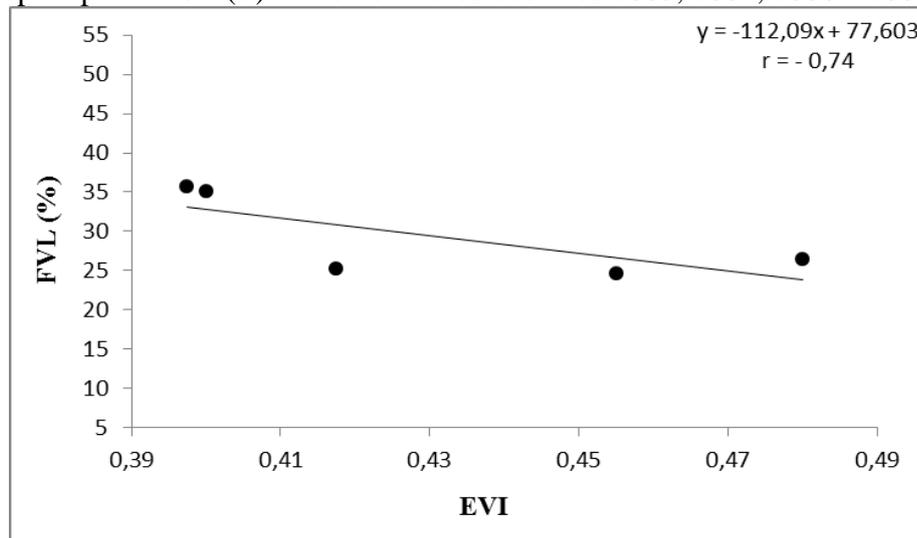


\* y: veranicos máximos (dias); x: EVI. Fonte: O autor.

No perfil oeste, as correlações atingiram valores de  $r = -0,91$  (Figura 18) para duração média de veranicos,  $r = -0,77$  para veranicos máximos (Figura 19) e  $r = -0,80$  para

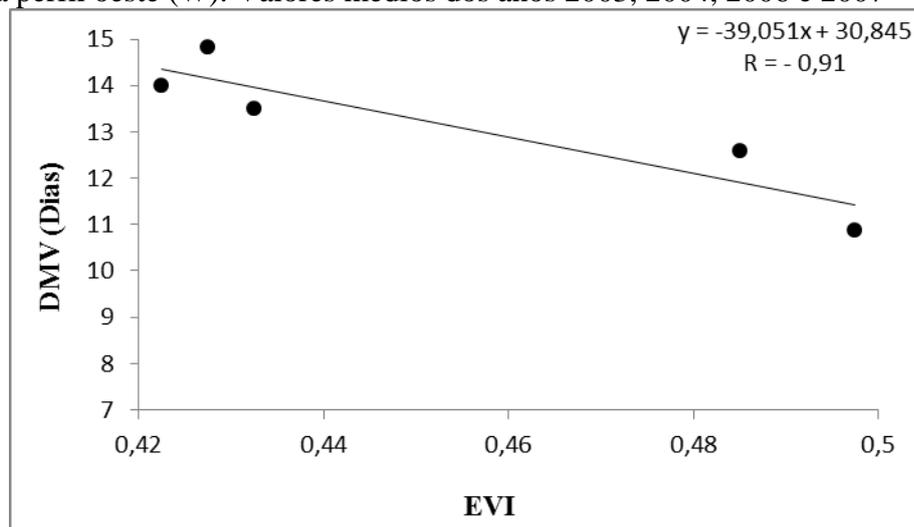
frequência relativa de veranicos longos (Figura 20). Observa-se um padrão semelhante nas correlações entre as variáveis e os índices vegetacionais nos dois perfis estudados, entretanto, com maiores valores para o perfil leste. Este fato pode ser atribuído a uma menor disponibilidade de dados climáticos comuns para o cálculo dos valores médios no perfil oeste, sendo um total de quatro anos, enquanto no perfil leste, o total dos anos comuns de coleta aos cinco postos foi de nove anos.

Figura 17 - Correlação entre frequência de veranicos longos (FVL) e índice EVI para perfil leste (E). Valores médios dos anos 2003, 2004, 2006 e 2007



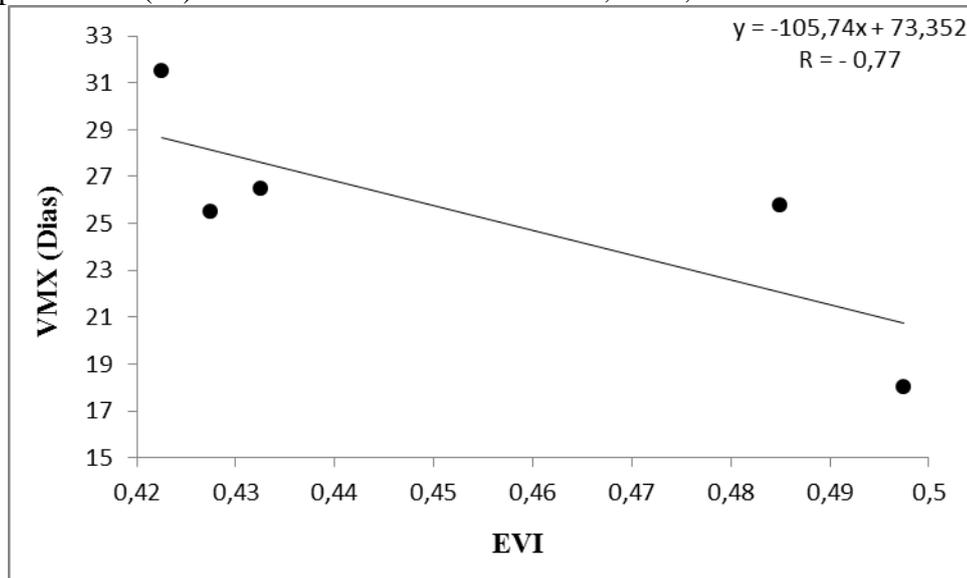
\* y: frequência de veranicos longos (%); x: EVI. Fonte: O autor.

Figura 18 - Correlação entre duração média de veranicos (DMV) e índice EVI para perfil oeste (W). Valores médios dos anos 2003, 2004, 2006 e 2007



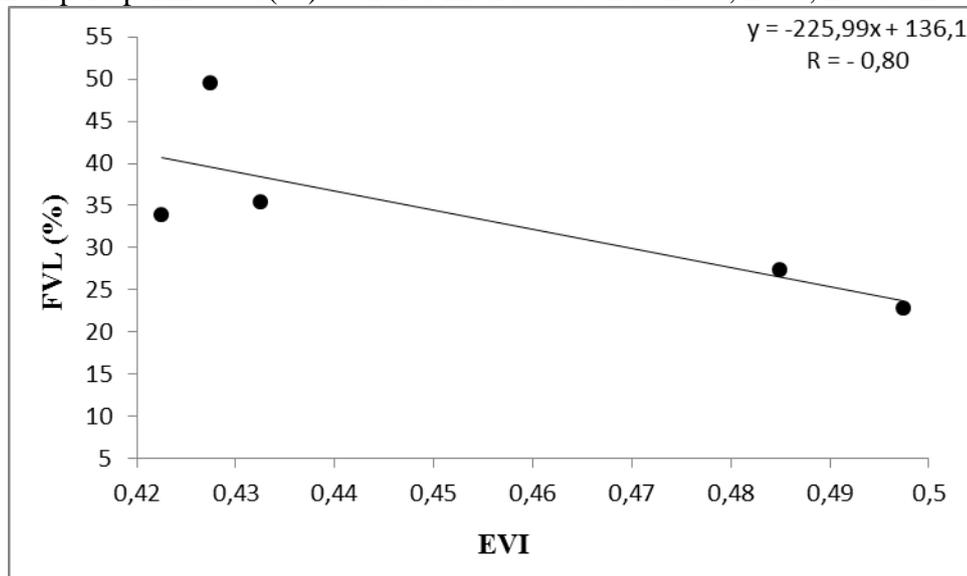
\* y: duração média de veranicos (dias); x: EVI. Fonte: O autor.

Figura 19 - Correlação entre veranicos máximos (VMX) e índice EVI para o perfil oeste(W). Valores médios dos anos 2003, 2004, 2006 e 2007



\* y: veranicos máximos (dias); x: EVI. Fonte: O autor.

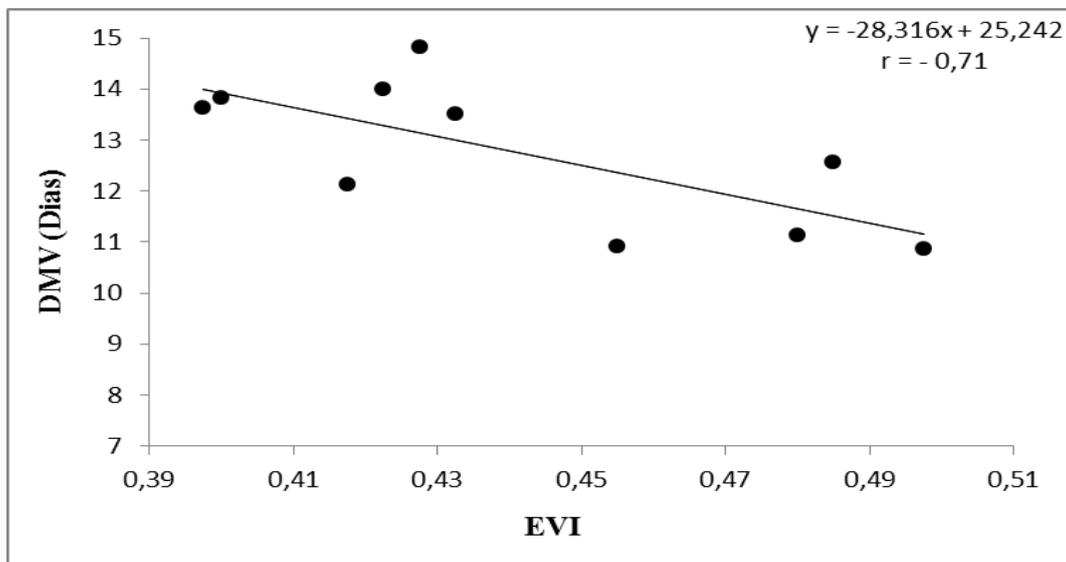
Figura 20 - Correlação entre frequência de veranicos longos (FVL) e índice EVI para perfil oeste(W). Valores médios dos anos 2003, 2004, 2006 e 2007



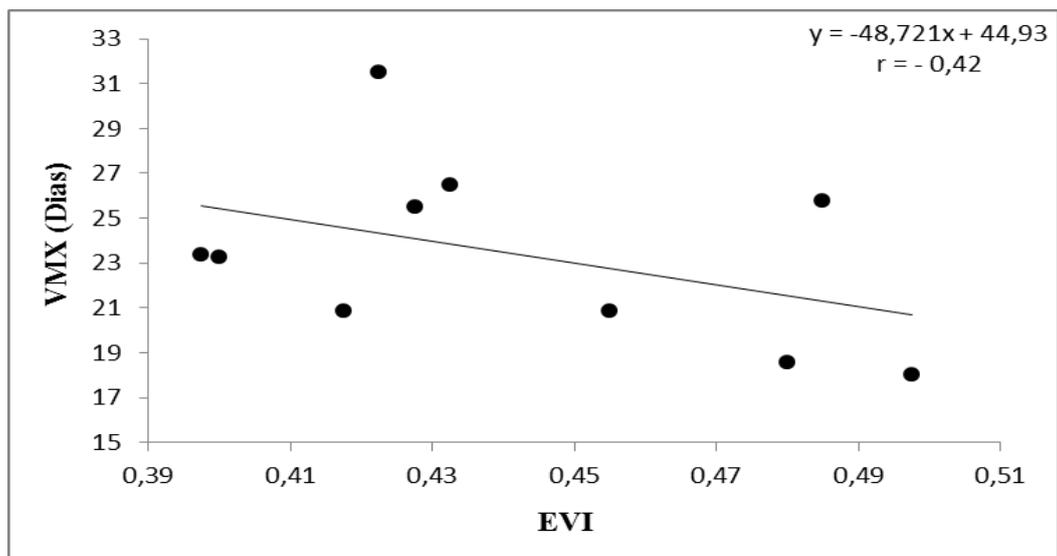
\* y: frequência de veranicos longos (%); x: EVI. Fonte: O autor.

Figura 21 (a) - Duração média dos veranicos (DMV) em função do índice de vegetação EVI- Valores médios dos anos 2003, 2004, 2006 e 2007 em todos os postos. (b) - Veranicos máximos anuais (VMX) em função do índice de vegetação EVI- Valores médios dos anos 2003, 2004, 2006 e 2007 em todos os postos. (c) - Frequência de veranicos longos (FVL) em função do índice de vegetação EVI- Valores médios dos anos 2003, 2004, 2006 e 2007 em todos os postos

(a)

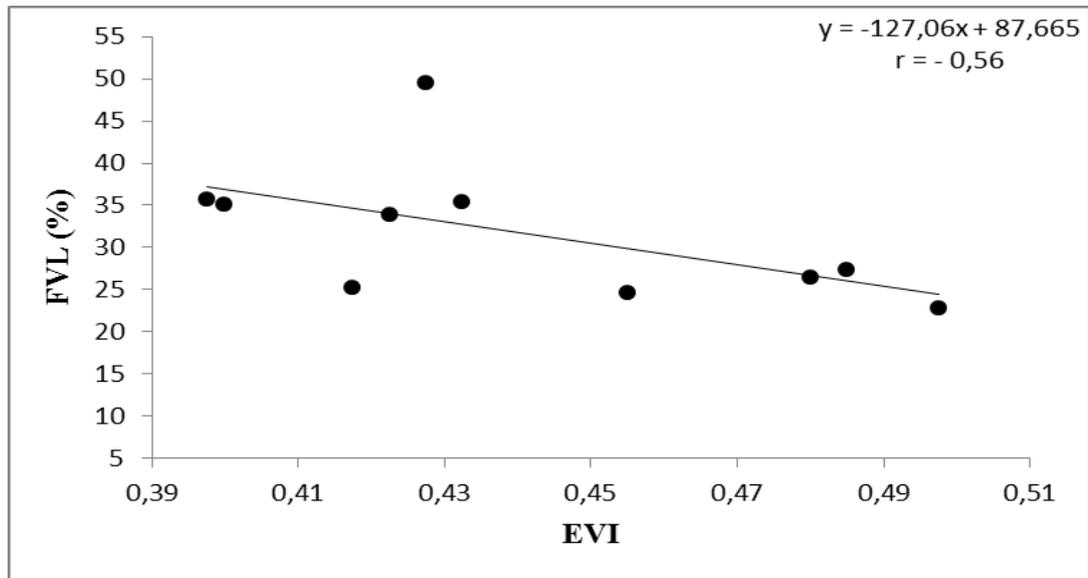


(b)



Os resultados apresentados e a análise das Figuras 21(a), 21(b) e 21(c) mostram que as durações médias dos veranicos anuais acompanham em correlação inversa a cobertura vegetal de entorno, dada pelo índice de vegetação médio na estação chuvosa em resolução global de 5,6 km, em todos os postos, tanto no setor leste quanto no setor oeste.

(c)



Fonte: Elaborada pelo autor.

A Tabela 17 apresenta resumidamente a análise de correlação entre os valores médios das variáveis relativas aos veranicos e os índices de vegetação nos dois períodos estudados. Para o total do período, compreendido entre os anos de 1995 e 2014, houve alta correlação negativa entre veranicos e índices e vegetação nos perfis leste, médios valores de correlação para perfil oeste e não há correlação para a totalidade dos postos. Considerando apenas anos coincidentes (2003-2007, com exceção de 2005) aos dez postos, correlações significativas entre veranicos e índices de vegetação EVI para ambos os perfis leste e oeste e correlação estatisticamente significativa também para a totalidade dos postos (Tabela 17). Este fato pode ser explicado pela disponibilidade de dados meteorológicos dos postos. No período total, alguns postos chegam a possuir dados no dobro do período de outros postos, o que pode torná-los susceptíveis a condições climáticas diferenciadas. Apesar da menor disponibilidade de dados em anos coincidentes, tem-se uma condição em que todos os postos da microrregião foram submetidos às mesmas condições climáticas de grande escala. O índice EVI apresentou melhores correlações comparativamente com o índice NDVI (Tabela 17).

Tabela 17 - Correlação (Coeficiente de Pearson) entre valores médios das variáveis relativas aos veranicos e índices de vegetação no período total (1995 – 2014, conforme o caso) e em anos coincidentes (2003-2007, com exceção de 2005)

Variáveis	Perfil leste		Perfil oeste		Todos os postos	
	Período total (1995 -2014), conforme o caso					
	EVI	NDVI	EVI	NDVI	EVI	NDVI
DMV (dias)	- 0,95	- 0,89	- 0,60	- 0,30	- 0,10	-0,03
VMX (dias)	- 0,95	- 0,82	- 0,66	- 0,26	- 0,01	- 0,02
FVL (%)	- 0,80	- 0,78	- 0,60	- 0,30	- 0,20	- 0,01
Anos coincidentes (2003-2007, com exceção de 2005)						
DMV (dias)	- 0,92	- 0,71	-0,91	- 0,80	- 0,71	- 0,30
VMX (dias)	- 0,93	- 0,80	-0,77	- 0,45	- 0,42	- 0,04
FVL (%)	- 0,74	- 0,60	-0,80	- 0,84	- 0,56	- 0,30

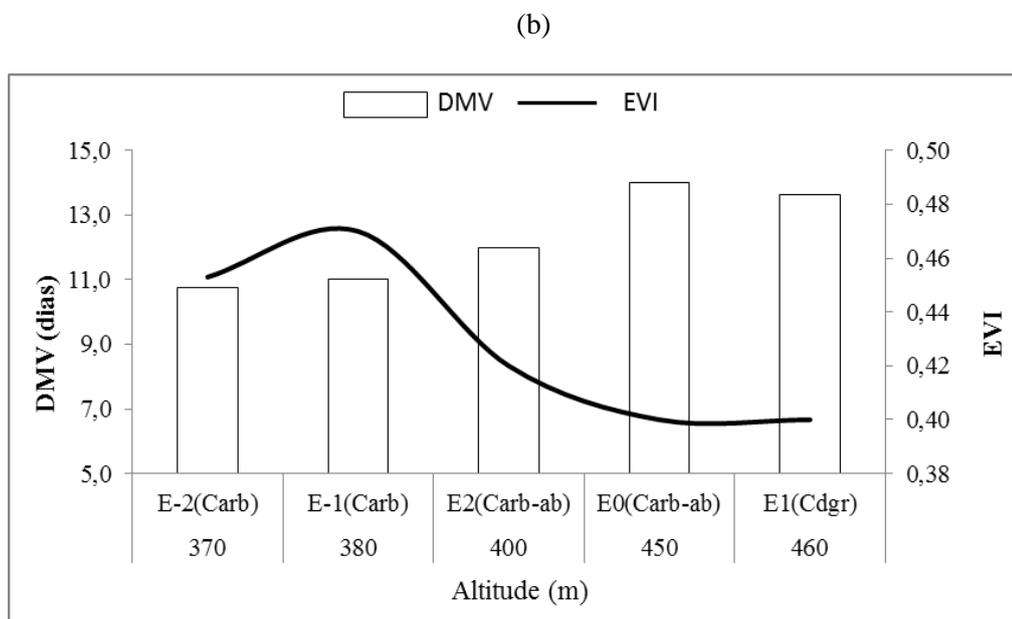
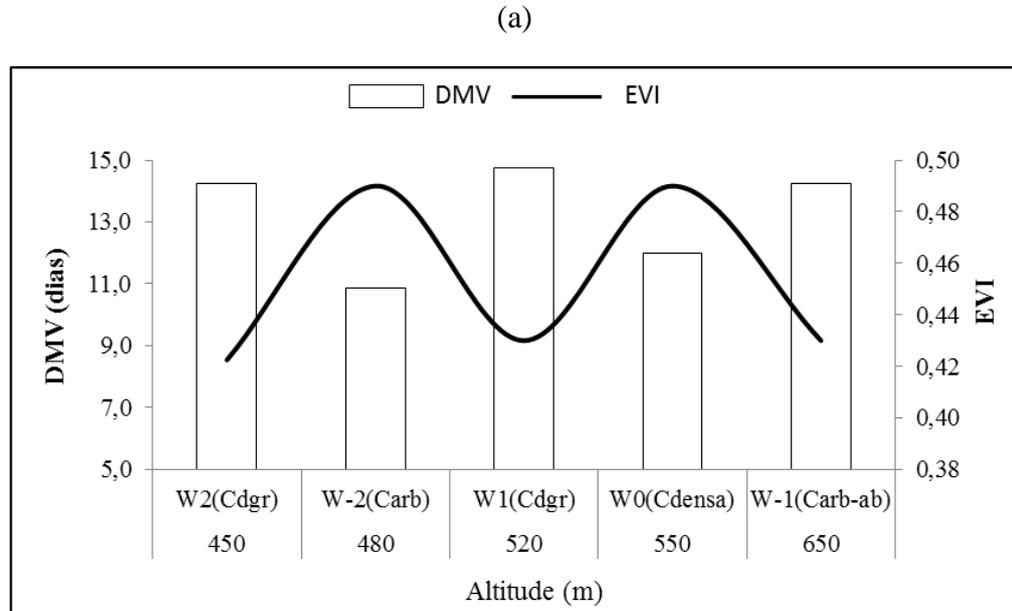
Fonte: O autor.

O padrão inverso na correlação entre duração de veranicos e índice de vegetação é claramente observado na análise das Figuras 22-a e 22-b. A densidade vegetacional de entorno explicou grande parte da variação nos veranicos, no período comum de análise quando submetidos às mesmas condições climáticas, com destaque para o entorno dos postos  $W_0$  e  $W_{-2}$  no perfil oeste e no entorno dos postos  $E_{-1}$  e  $E_{-2}$  no perfil leste, representados pela diminuição da duração média dos mesmos.

O posto  $W_0$  tem cobertura vegetal densa de área de proteção integral enquanto os postos  $W_{-2}$ ,  $E_{-1}$  e  $E_{-2}$  externos à área da ESEC de até 25 km, apesar de não se encontrarem em área de proteção integral, apresentaram cobertura vegetal com uma densidade vegetal maior, agora em área de caatinga arbórea mais conservada e menos degradada, que pode estar relacionada à sua menor intensidade de uso da terra. Os índices de vegetação (EVI e NDVI) do entorno desses postos apresentaram valores próximos aos de área preservada ( $W_0$ ). Os mesmos encontram-se no extremo sul da área de estudo e na periferia da Área de Preservação Ambiental da Chapada do Araripe (APA). Estes resultados corroboram com algumas pesquisas que atribuem uma condição melhor de distribuição de precipitações nas proximidades de áreas mais densamente vegetadas como os de Spracklen *et al.* (2012) e Lawrence *et al.* (2014). Entretanto, nesse trabalho, pode-se evidenciar uma melhor condição na distribuição das precipitações dentro da estação chuvosa dos postos situados no interior de áreas vegetacionais mais conservadas. Esta possibilidade havia sido abordada em pesquisa de Pinheiro *et al.* (2014), ao estudarem a importância da umidade do solo no bioma caatinga,

região da ESEC-Aiuaba, através da integração dos fatores de umidade do solo, evapotranspiração e temperatura do ar.

Figura 22 (a) - Duração média dos veranicos (DMV) em função do índice de vegetação EVI - Valores médios dos anos 2003, 2004, 2006 e 2007 no perfil oeste. (b) - Duração máxima dos veranicos (VMX) em função do índice de vegetação EVI - Valores médios dos anos 2003, 2004, 2006 e 2007 no perfil leste



Fonte: Elaborada pelo autor. \* Carb: Caatinga arbórea - arbustiva conservada; Carb - ab: Caatinga arbórea - arbustiva aberta; Cdgr: Caatinga arbustiva degradada; Cdensa: Caatinga arbórea densa preservada. Organização: O autor.

### 4.3 Impactos da distribuição das chuvas e veranicos na produção agrícola

Na sequência, serão apresentados os resultados dos impactos das precipitações e dos veranicos na produção de Milho (*Zea Mays L.*). Para tal, foi realizada calibração do modelo agrometeorológico CROPWAT V.8.0 de estimativa de quebra de safra em função dos dados de precipitação, da cultura e do solo e em seguida uma avaliação de desempenho através da utilização de índices e de tabelas e gráficos que relacionam produção estimada e observada.

#### 4.3.1 Calibração e validação de modelagem para produção de milho em sequeiro

Para a modelagem da produção de sequeiro foram selecionados dois grupos de postos, segundo o critério de conservação vegetal. Foram identificados dois grupos, que são visualizados na Tabela 18: o primeiro grupo, que corresponde aos postos de Antonina do Norte (E<sub>2</sub>) e Carmelópolis (W<sub>2</sub>), está localizado no setor Sul-Sudeste e apresenta vegetação mais conservada (maior EVI). O segundo grupo, que corresponde aos postos de Arneiroz (E<sub>2</sub>) e Aiuaba (E<sub>1</sub>), está situado no setor Centro-Norte da área e está associado à caatinga degradada. A partir desse ponto, o primeiro grupo será denominado *caatinga conservada*, enquanto que o segundo grupo será denominado *caatinga degradada*.

Tabela 18 - Comparação de médias de totais pluviométricos na estação chuvosa e produtividade de milho (*Zea Mays L.*) em função da conservação vegetal

Grupo	Precipitação (mm)	Clima	Produtividade* (kg/ha)	EVI	Fertilidade dos Solos***
<i>Caatinga conservada</i> (postos W <sub>2</sub> ; E <sub>2</sub> )	475 a	BSw'h'	700 a**	0,46	Média - baixa
<i>Caatinga degradada</i> (postos E <sub>1</sub> ; E <sub>2</sub> )	483 a	BSw'h'	392 b**	0,41	Média

\* Fonte: EMATERCE (2016)

\*\* Significativo ao nível de 5% de probabilidade ( $0.01 < p < 0.05$ )

\*\*\* Fonte: Radambrasil (1981), Oliveira (2014)

Foram detectadas duas faixas de produtividade de sequeiro para a cultura do Milho (*Zea Mays L.*) Variedade: A região de caatinga conservada apresentou produtividade média de 700 kg/ha; enquanto que a região de caatinga degradada teve produtividade média abaixo de 500 kg/ha. Isso demonstra uma sensível diferença na produção agrícola, sugerindo também um impacto positivo da conservação vegetal sobre a produção e, portanto, sobre a renda dos camponeses do Semiárido, que dependem da atividade de sequeiro.

A Tabela 19 apresenta os resultados de produção agrícola do milho medida, na região de estudo, para o período de 2008 a 2016.

Tabela 19 - Produtividade de Milho (*Zea Mays L.*) em kg/ha medida na região de estudo

Ano	Caatinga conservada		Caatinga degradada	
	Posto W <sub>2</sub>	Posto E <sub>2</sub>	Posto E <sub>1</sub>	Posto E <sub>2</sub>
2008	1600	1400	734	930
2009	1200	1050	735	350
2010	700	210	150	80
2011	1100	1400	900	970
2012	150	150	150	25
2013	300	-	75	50
2014	520	500	300	240
2015	300	620	330	200
2016	260	350	150	180

Fonte: EMATERCE (2016).

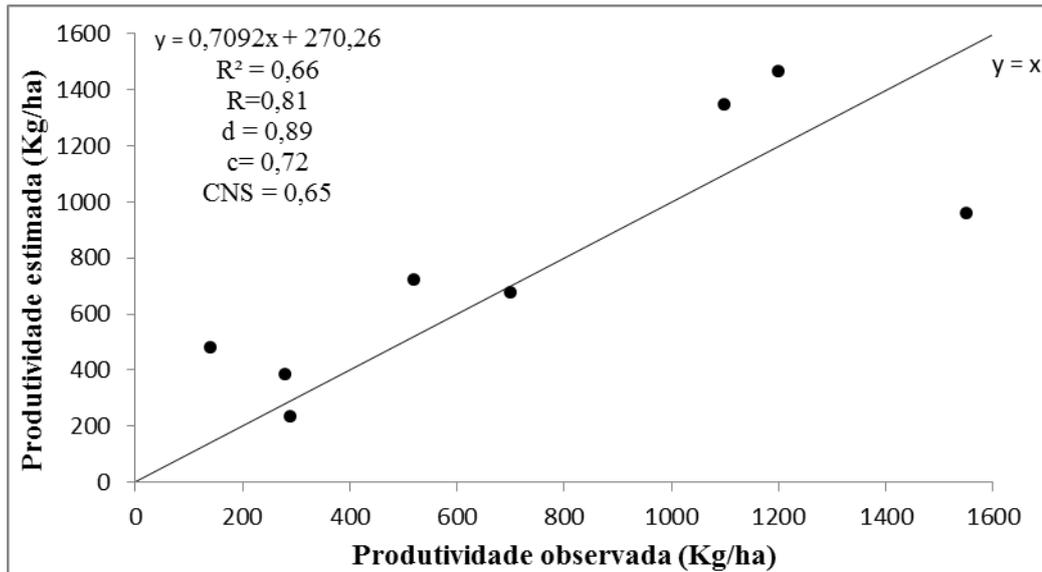
O objetivo dessa etapa de análise foi simular a produtividades da cultura por modelo agrometeorológico, que relaciona precipitação, armazenamento de água no solo e evapotranspiração. O modelo utilizado para calibração e validação foi o CROPWAT V.8.0 da FAO (DOORENBOS; KASSAN, 1979). A produtividade potencial exigida no modelo foi estimada com base na máxima observada, o que corresponde a um fator de 2,3 sobre a produtividade média para o grupo de caatinga conservada e 2,6 para o grupo de caatinga degradada dando as produtividades potenciais de 1600 kg/ha e 1025 kg/ha respectivamente.

Em trabalhos de estimativa de produção agrícola de sequeiro nos estados de Pernambuco e Bahia, Assad *et al.* (2010) utilizaram fator de ajuste na produtividade média de 1,9 para ajuste de modelo agrometeorológico de previsão de safra de milho. Os fatores de multiplicação usados na estimativa da produtividade potencial neste trabalho apresentaram valores próximos, mas um pouco superiores (entre 2,3 e 2,6). O processo de ajuste e validação do modelo considerou a aplicação dos coeficientes de produtividade potencial e sensibilidade da cultura ao déficit hídrico que mais se ajustava na estimativa do modelo para um dos postos de cada grupo. Em seguida, os coeficientes de melhor ajuste foram aplicados ao segundo posto daquele grupo para validação dos mesmos.

Para a região do posto de Carmelópolis (W<sub>2</sub>) foram aplicados o coeficiente de sensibilidade da cultura de 1,8. Após a calibração, os índices de desempenho atingiram valores de 0,72 para o índice “c” e 0,65 para o índice CNS, classificando o modelo como bom

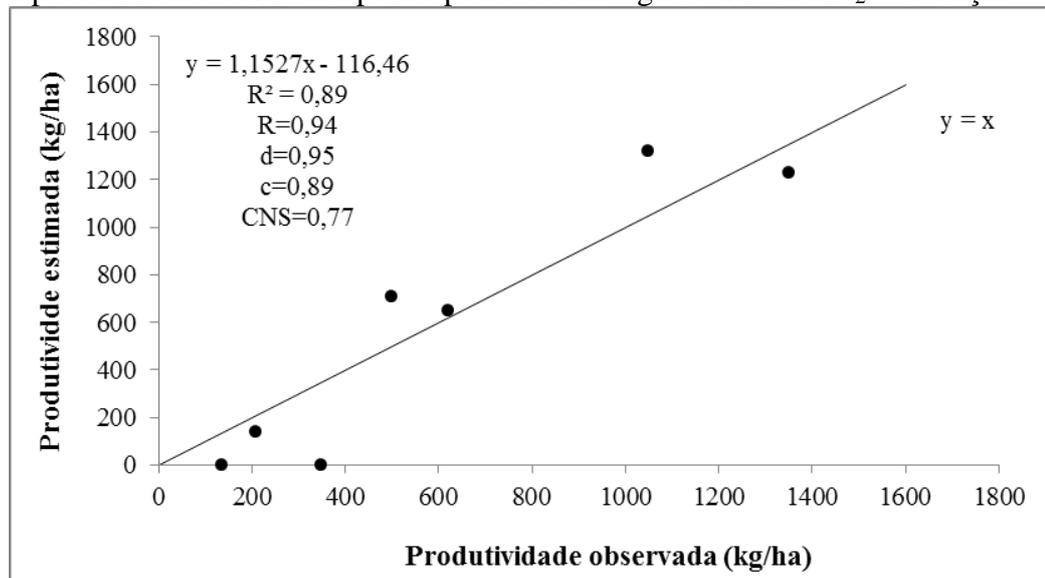
e aceitável (Figuras 23 e 24). Com os coeficientes obtidos na calibração, aplicou-se o modelo na estimativa de produtividade do posto de Antonina do Norte, segundo posto do grupo de caatinga conservada, onde os índices de desempenho foram ligeiramente superiores (índice “c” = 0,89; CNS = 0,77; e classificação de ótimo e bom, ver Figura 25).

Figura 23 - Correlação entre a produtividade de milho (*Zea Mays* L.) estimada e produtividade observada para o posto de caatinga conservada W<sub>2</sub>. Calibração



Fonte: Elaborada pelo autor.

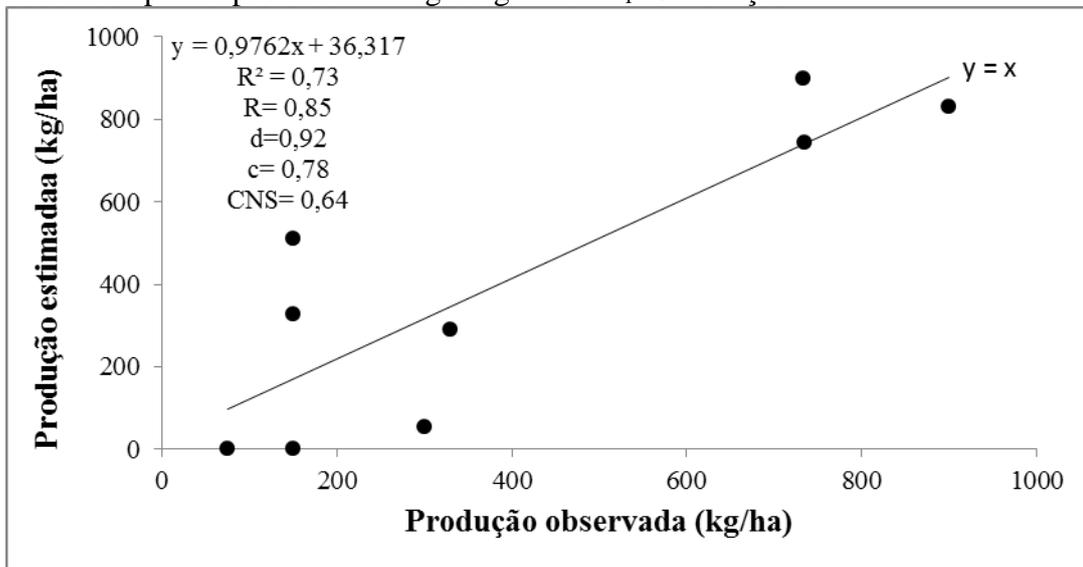
Figura 24 - Correlação entre a produtividade de milho (*Zea Mays* L.) estimada e produtividade observada para o posto de caatinga conservada E<sub>2</sub>. Validação



Fonte: Elaborada pelo autor.

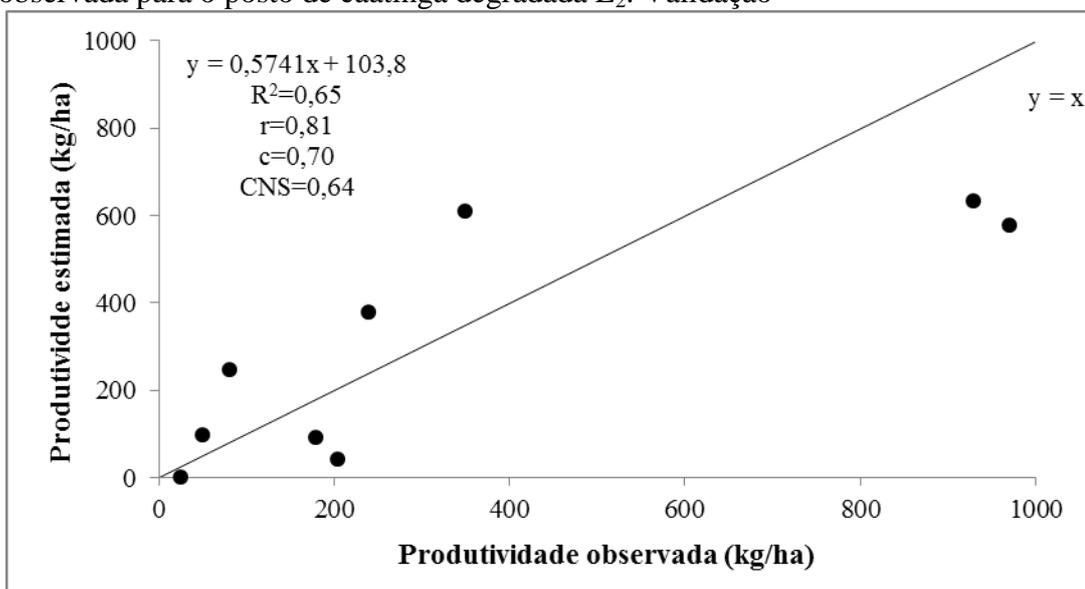
No grupo de caatinga degradada, o posto de Aiuaba foi escolhido para calibração de coeficientes, com fator de produtividade potencial de 2,6 e cujo coeficiente de sensibilidade da cultura é de 1,9. Na calibração, o posto de Aiuaba ( $E_1$ ) apresentou índice de desempenho “c” igual a 0,78 e CNS de 0,64; classificando o modelo como muito bom e aceitável, respectivamente (Figura 25).

Figura 25 - Correlação entre produtividade de milho (*Zea Mays L.*) estimada e observada para o posto de caatinga degradada  $E_1$ . Calibração



Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 26 - Correlação entre produtividade de milho (*Zea Mays L.*) estimada e observada para o posto de caatinga degradada  $E_2$ . Validação



Fonte: Elaborada pelo autor.

O modelo de Doorenbos e Kassan (1979) modificado apresentou bons resultados, com índices de desempenho acima daqueles obtidos por Martins (2012), também simulando a produção de milho, para o estado de Pernambuco. Segundo o autor *op cit.*, fatores de penalização devem ser adicionados para redução dos erros em modelos de estimativa. A validação de um modelo de produtividade está atrelada aos dados oficiais históricos de produtividade que são estimados em função da produção contabilizada em cada município e de sua área plantada, subjetivamente estimada por ocasião da semeadura da cultura. Os coeficientes de Aiuaba foram aplicados no modelo para o segundo posto da área de caatinga degradada, Arneiroz, obtendo-se resultados de validação com índices “c” de 0,70 e CNS de 0,64 e classificação boa e aceitável (Figura 27).

É importante observar que erros na estimativa da área plantada implicam, invariavelmente, erros na estimativa da produtividade, o que dificulta a seleção de municípios com séries de estimativas fidedignas. As restrições hídricas e os respectivos impactos na produtividade das culturas analisadas foram caracterizados satisfatoriamente pelo modelo proposto. Além do fator hídrico, o conceito de produtividade potencial proposto por Assad *et al.* (2010) foi essencial para as estimativas. Segundo os autores, o uso de valores derivados dos métodos de estimativa de produtividade potencial biológica se mostrou inadequado. Isso ocorre, principalmente, porque a produtividade potencial é estimada em uma condição ideal, considerando apenas a disponibilidade térmica e radiativa e desconsiderando outros fatores. Ficou evidenciado, que nos locais onde as condições de cultivo estão longe de serem ideais, uma outra referência de produtividade potencial se faz necessária. Nesse sentido, o conceito sugerido de produtividade potencial dos autores atendeu a essa necessidade.

A modificação do coeficiente de sensibilidade para o ciclo total acima do proposto pela FAO de 1,25 para 1,8 e 1,9 resultou na melhoria dos coeficientes de desempenho e de concordância. Valores de coeficiente de sensibilidade da cultura do milho próximos aos recomendados pela FAO já haviam sido utilizados em trabalhos de previsão de safra de sequeiro na região Nordeste, como o de Martins (2012) nos estados de Pernambuco e Bahia. Os resultados mostraram que, ao utilizarem coeficientes modificados próximos aos da FAO (1,05), o desempenho da modelagem de produção estimada foi classificado como mau e péssimo. Para a cultura do sorgo, coeficiente de sensibilidade recomendado pela FAO de 0,9 para todo o ciclo apresentou resultado sofrível para o índice de confiança enquanto o valor modificado de 1,3 ( $k_x=1,44$ ) apresentou resultado bom. O autor atribuiu os resultados à

baixa capacidade de estimar a produtividade na região. O mesmo autor observa que um fator deficitário deve contribuir na melhoria das estimativas.

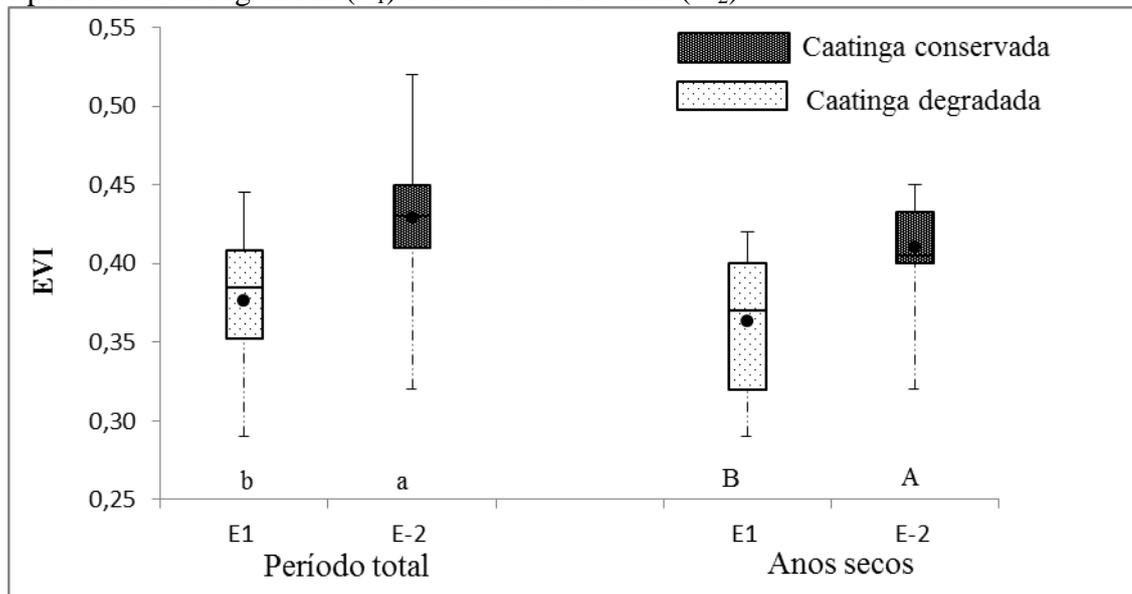
Conclui-se, portanto, que o modelo de Doorenbos e Kassan (1979) é válido para estimar a produtividade de milho nas condições do presente estudo, seja em ambiente de caatinga preservada (coeficiente de Nash-Sutcliffe = 0,77); seja em ambiente de caatinga degradada (coeficiente de Nash-Sutcliffe = 0,64).

#### **4.3.2 Simulação da produção de milho em sequeiro**

Após a validação do modelo, foi escolhido um posto para cada grupo (caatinga conservada e caatinga degradada), que contemplassem uma série de dados climáticos de precipitações diárias, com pelo menos vinte anos comuns. Foram eleitos os postos de Antonina do Norte ( $E_2$ , de caatinga conservada) e Aiuaba ( $E_1$ , de caatinga degradada), pois satisfizeram as condições determinadas. O período de simulação foi compreendido entre os anos de 1985 e 2010. Para que se possa efetivamente comparar o efeito exclusivo do estado de conservação da vegetação (e seus impactos nos veranicos), as simulações consideraram o mesmo tipo de solo, no caso, Luvisolo Crômico. Esse tipo de solo foi selecionado por sua representatividade no Semiárido Brasileiro. De modo particular, esse solo existe na proximidade das duas áreas de simulação: naquela em que a caatinga é conservada e naquela em que a caatinga é degradada.

Na Figura 27 pode-se observar que o padrão de desenvolvimento da cobertura vegetal acompanha o comportamento da produção nos postos, aumentando para o posto de Antonina do Norte ( $E_2$ ) com relação ao posto de Aiuaba ( $E_1$ ). As diferenças médias apresentaram alta significância estatística em nível de 1% (Teste de Tukey), inclusive nos anos de precipitação abaixo da média. Além dos totais precipitados, a distribuição e duração média dos subperíodos secos denominados de veranicos têm papel importante no desenvolvimento da cultura. A correlação entre os subperíodos secos e a densidade de cobertura vegetal para os dez postos da área de estudo foi apresentada no item 5.2 da pesquisa, no qual foi observada uma relação inversa entre a duração média dos veranicos e os índices médios de densidade da cobertura vegetal de entorno para uma série ou período de vários anos.

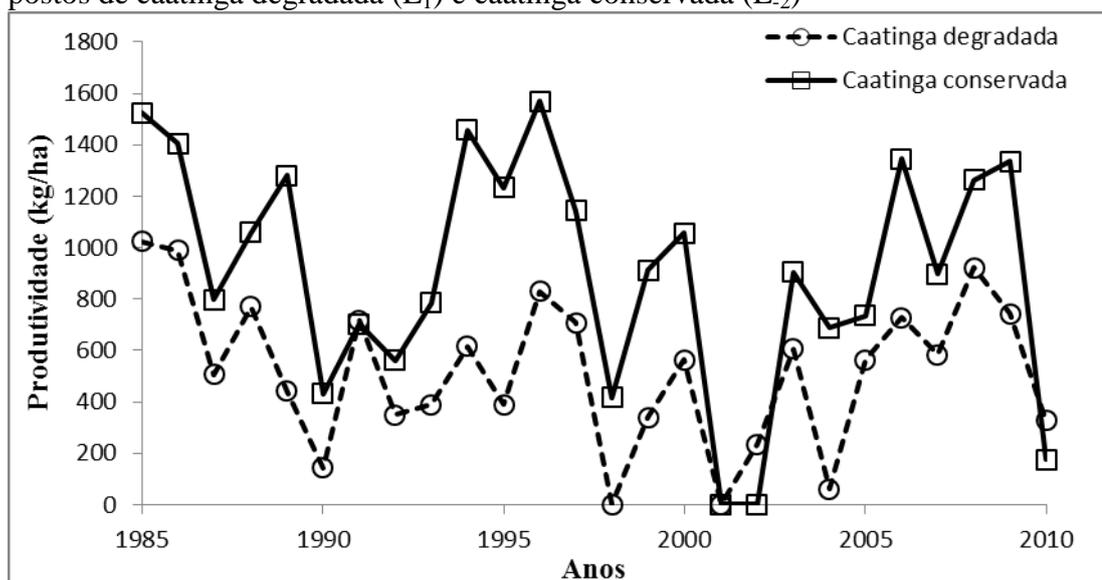
Figura 27 - Grau de densidade da cobertura vegetal de entorno entre 1985-2010 no posto de área degradada (E<sub>1</sub>) e de área conservada (E<sub>2</sub>)



Postos seguidos pela mesma letra não diferem estatisticamente. Fonte: O autor.

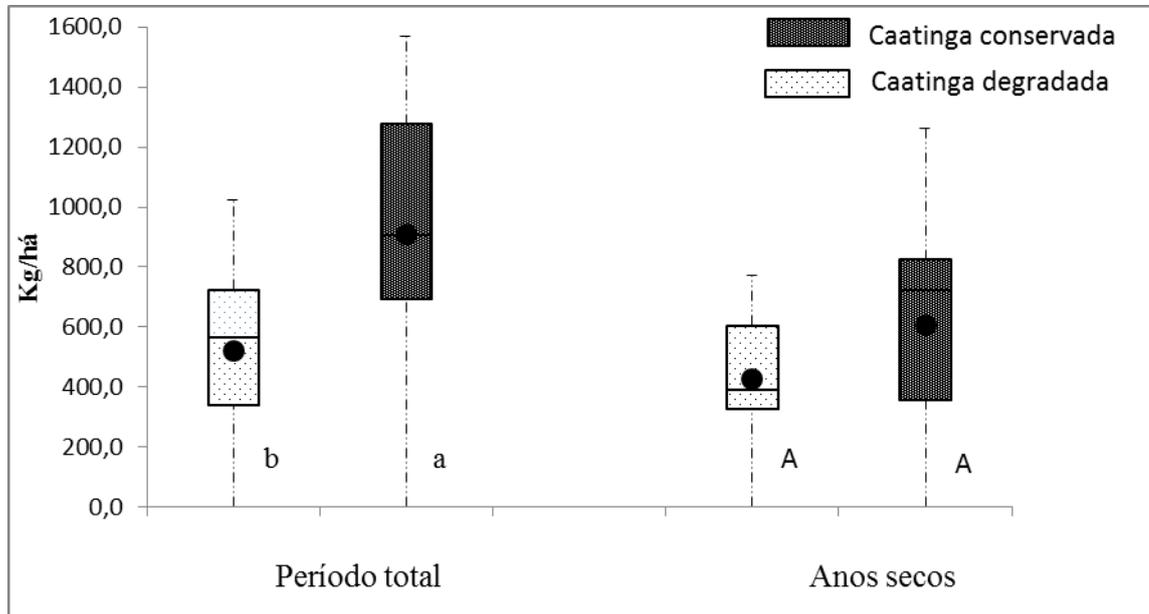
É notória também a superioridade nos níveis de produção na área de caatinga conservada em relação à área em caatinga degradada: a área preservada produziria mais, em relação à área degradada, em 85% dos anos (22 em 26 anos), igual em 7,5% dos anos e pior apenas em 7,5% dos anos. A produtividade máxima na área degradada pouco supera os 1000 kg/há, enquanto que, na área conservada, esse valor atinge 1600 kg/ha.

Figura 28 - Variação da produtividade de milho (*Zea Mays* L.) simulada para os postos de caatinga degradada (E<sub>1</sub>) e caatinga conservada (E<sub>2</sub>)



Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 29 - Análise estatística da produtividade de milho (*Zea Mays* L.) simulada em área de caatinga degradada (E<sub>1</sub>) e caatinga conservada (E<sub>2</sub>)



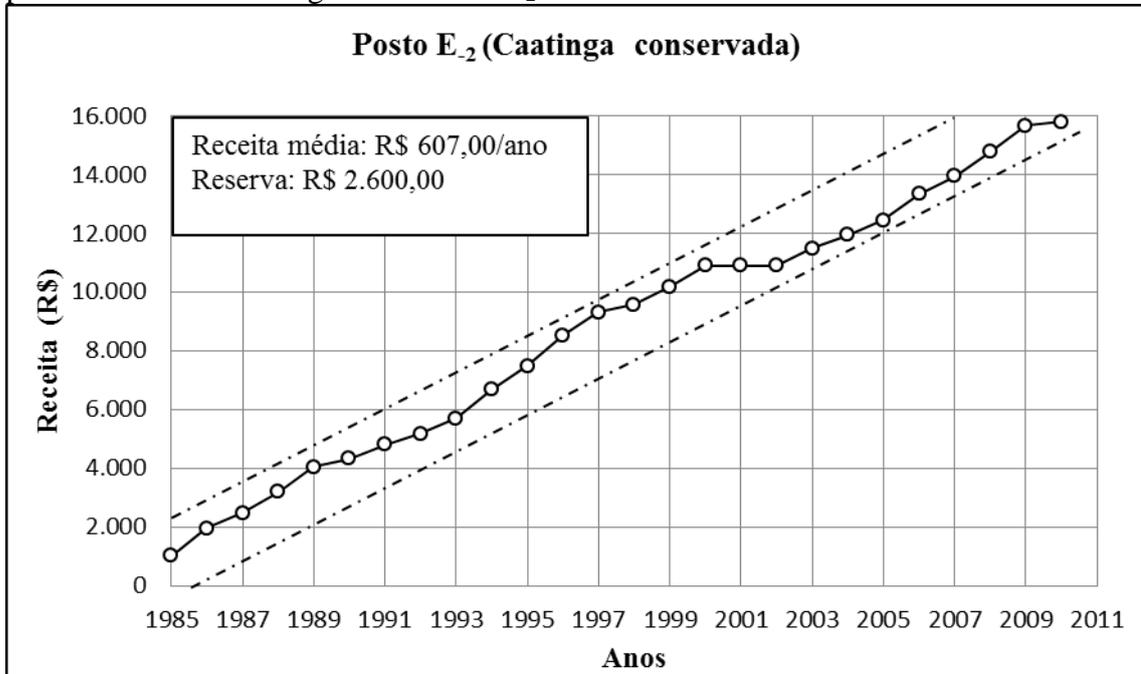
\*Intervalos seguidos da mesma letra em cada período não diferem estatisticamente ao nível de 1%. Organização: Autor.

A Figura 29 mostra os *Box-plots* de produtividade do milho nas duas condições vegetacionais, tanto para o período total, quanto apenas para os anos secos (precipitação abaixo do limite inferior do quartil *normal*: 530 mm, FUNCEME, 1999). No período total, observa-se superioridade nos níveis produtivos na área conservada, com diferenças significativas em nível de 1% (Teste de Tukey). Considerando-se apenas os anos secos, pode-se observar também a superioridade de produtividade para a área de caatinga conservada. No entanto, não há diferença estatística entre as áreas para significância de 5%.

As Figuras 30 e 31 referem-se à análise de Rippl (1883, *apud* McMahon e Mein, 1978) para cálculo de renda média e de reserva para remuneração constante. Em termos de renda média, os valores foram estimados em 607 e 347 R\$. ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> no total dos anos, para as áreas conservada e degradada, respectivamente. Para os anos de precipitação abaixo do normal, as rendas médias seriam de 405 e 284 R\$.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> (Figura 30) para a caatinga conservada e degradada, respectivamente. Isso indica que, nos anos moderadamente secos, a renda do produtor – advinda da agricultura de sequeiro – decai de 1/5 a 1/3 em relação aos

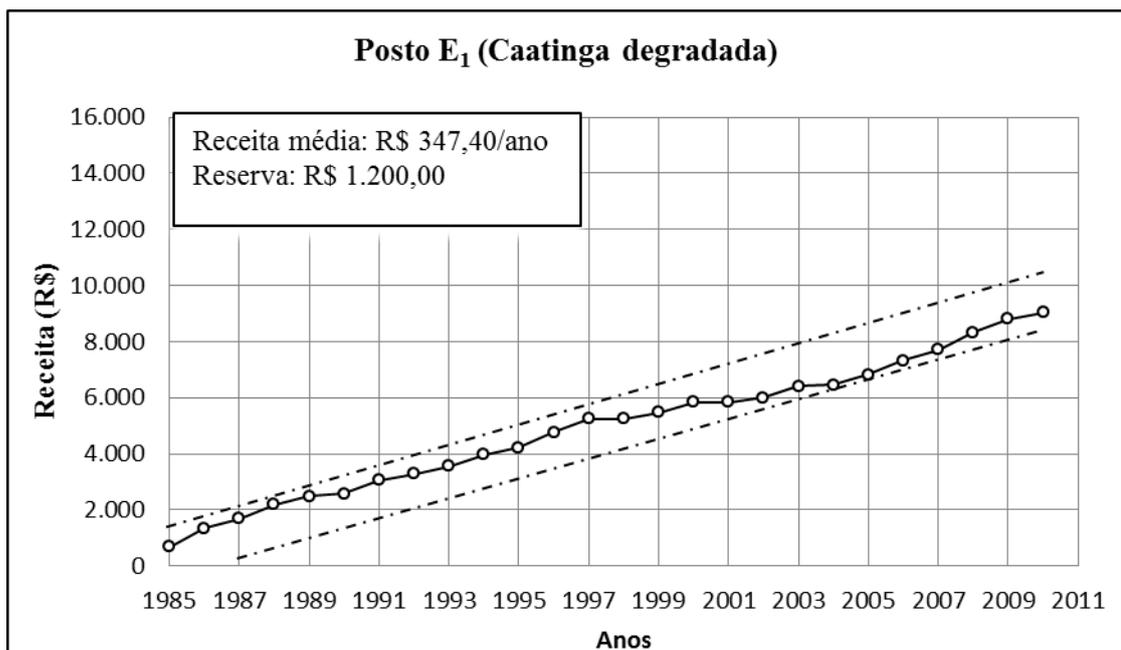
anos normais. Em casos extremos, essa renda pode aproximar-se de zero, como em 2001, independentemente do estado de conservação vegetacional.

Figura 30 - Evolução da renda da produção de Milho (*Zea Mays L.*) por hectare para o posto em área de caatinga conservada E<sub>2</sub>



Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 31 - Evolução da renda da produção de Milho (*Zea Mays L.*) por hectare para o posto em área de caatinga degradada E<sub>1</sub>

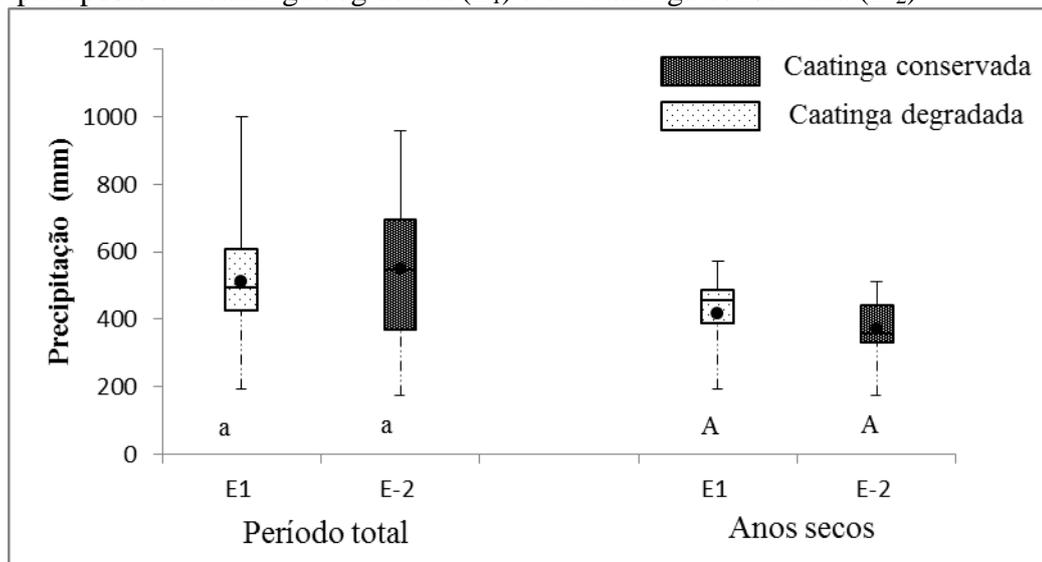


Fonte: Elaborada pelo autor.

As Figuras 31 e 32 mostram que, em relação à reserva, as diferenças entre áreas em caatinga conservada e degradada se acentuam. Na área conservada, a produtividade é, temporalmente, mais instável. Além disso, a renda média é 75% superior à das áreas degradadas. A superposição desses dois fatores induz à necessidade de uma reserva superior: de 2.600 R\$/ha. Isso é mais do dobro da reserva necessária para os produtores de áreas degradadas, cuja reserva tem de ser 1.200 R\$/ha.

Foi observado que, apesar de haver diferenças nos níveis de produção, a precipitação média manteve valores semelhantes e sem diferenças estatísticas entre os postos com vegetação degradada e conservada, como mostra a Figura 32. Isso ocorreu tanto para o período total de análise (1985 – 2010), quanto apenas para os anos secos.

Figura 32 - Distribuição da precipitação média na estação chuvosa (1985-2010) para posto em caatinga degradada (E<sub>1</sub>) e em caatinga conservada (E<sub>2</sub>)



Postos seguidos pela mesma letra em cada período não diferem estatisticamente. Fonte: Elaborado pelo autor.

A Tabela 22 apresenta um resumo das características químicas e físico-hídricas dos três principais solos predominantes na área de estudo: Neossolos, Luvisolos e Argissolos. Dos fatores que influenciam diretamente na produção agrícola, além da água, o nível tecnológico e a fertilidade química dos solos têm papel preponderante. É preciso destacar que, para que a simulação com o modelo fosse conclusiva (em relação à relevância de vegetação – veranicos sobre a produtividade), admitiu-se que os solos eram os mesmos (no caso, Luvisolos Crômicos). Como se pode depreender da Tabela 22, os Luvisolos

(predominantes na área de vegetação degradada) têm melhor fertilidade que os Argissolos (que predominam nas áreas de vegetação conservada).

Tabela 20 - Resumo das características químicas e físico-hídricas dos três principais solos predominantes nos postos estudados

<b>Solos</b>	<b>Capacidade de armazenamento (mm/m)*</b>	<b>Fertilidade</b>	<b>Textura</b>
Neossolos	70	Média	Franco arenosa
Luvissolos	150	Média-alta	Franca
Argissolos	140	Média-baixa	Franco Siltosa

\*Valores médios. Fonte: Costa *et al.* (2013); Embrapa (1999); Oliveira (2014); Organização: Autor (2016).

Além dos resultados, alguns trabalhos citam características peculiares das relações entre comunidade vegetal e solos de áreas semiáridas como o de Costa *et al.* (2013), em estudo sobre variabilidade das condições de umidade dos solos e as interações no complexo solo – planta – clima em condição de vegetação preservada na ESEC-Aiuaba onde existem representantes de três dos principais solos da área de estudo, evidenciaram uma distribuição de umidade mais homogênea ao longo do perfil dos solos da área. Pinheiro (2010), em trabalho sobre o comportamento do sistema radicular de plantas da caatinga na área de preservação ambiental de Aiuaba (ESEC), observou que nos três tipos de solos estudados (Argissolos, Luvissolos e Neossolos) houve uma maior uniformidade na distribuição das raízes ao longo do perfil resultando numa maior agregação e estabilidade em profundidade de até 70 cm para os Argissolos, o que pode influenciar nas características de absorção de água.

Esses dados, juntamente com os resultados da pesquisa, sugerem que áreas mais conservadas no semiárido apresentam maior resiliência às condições de deficiência hídrica, seja na distribuição dos períodos secos dentro da estação chuvosa como na retenção e armazenamento de água na zona radicular, com vantagens para as culturas agrícolas exploradas no seu entorno e melhores rendimentos para os pequenos produtores que vivem da atividade agrícola de sequeiro.

## 5 CONCLUSÕES, LIMITAÇÕES E RECOMENDAÇÕES

Os veranicos são mais brandos em áreas com maiores índices de cobertura vegetal, o que indica Caatinga arbustiva-arbórea mais conservada. Na região Norte-Noroeste, os veranicos são mais rigorosos e a região tem menores índices vegetacionais, representando Caatinga degradada.

A vegetação tem um papel secundário na duração e frequência dos veranicos quando se analisa sua ocorrência em cada ano isoladamente. Isso decorre das variações climáticas interanuais, inclusive com a ocorrência de eventos extremos.

As durações e frequências dos veranicos são menores (maiores) em áreas de entorno mais conservadas (degradadas), havendo altas correlações negativas entre o rigor dos veranicos e o índice de vegetação para valores médios de vários anos. Isso evidencia um efeito de mesoescala da vegetação sobre a ocorrência e o rigor dos veranicos.

As áreas com vegetação de entorno mais conservada apresentam veranicos menos longos e menos frequentes. O cultivo simulado em áreas de vegetação mais conservada de entorno resulta em maior produtividade de milho devido ao abrandamento dos veranicos. Esse efeito gera, em média, incremento de 70% na receita dos produtores advinda da agricultura de sequeiro.

Em síntese, na região de estudo, em condições de uniformidade climática, os veranicos agrícolas apresentam gradiente que acompanha o padrão da vegetação de entorno. Postos localizados em áreas de vegetação mais conservada apresentam veranicos com menor duração e melhor distribuição das precipitações, com maiores níveis de produção e receita média da atividade agrícola, quando comparados a postos de área mais degradada com poucos remanescentes de vegetação original de entorno. Isso significa que a preservação e conservação vegetal na caatinga podem trazer benefícios para a população rural, incrementando a produtividade de culturas de sequeiro e, portanto, sua renda.

Pode-se destacar, como limitação deste trabalho, a grande variabilidade nos dados disponíveis de precipitação entre os dez postos estudados (um posto possui 19 anos de dados, enquanto outros, apenas sete anos). O período comum, isto é, aquele em que há dados simultâneos nos dez postos, foi restrito a apenas quatro anos de dados.

Sugere-se a realização de estudos observacionais posteriores a partir deste, focados na variabilidade interanual da vegetação e suas interações nos períodos secos em uma maior base de dados na região semiárida. Os novos trabalhos poderão incluir parâmetros como a mensuração e distribuição de veranicos e da umidade do solo, precipitações

atmosféricas, além do monitoramento do grau de conservação da vegetação, área de influência e resiliência dessas áreas às condições de seca, de modo a contribuir com o conhecimento das inter-relações entre o uso da terra e suas implicações hidrológicas no Semiárido.

## REFERÊNCIAS

- ALLEN, R. G., PEREIRA, L. S., RAES, D., SMITH, M. **Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements** - FAO Irrigation and drainage paper 56. ISBN 92-5-104219-5. Rome, 1998.
- ANDRADE-LIMA, D de. The Caatingas dominium. **Revista Brasileira de Botânica**. v. 4, p. 149-153, 1981.
- ANDRIOLI, K. G.; SENTELHAS, P. C.; SOLER, C. M. T.; MARIN, F. R. Calibração do modelo da FAO para simulação da produtividade potencial e real do milho safrinha. ESALQ. São Paulo. 2004.
- ARAÚJO, J. C.; BELO, P.; SILVA, R.; GERMANO, C.; FREITAS, M.; MEDEIROS. H. A. Bacia experimental de Aiuaba, Ceará. *In*: RIGHETTO, A. M. (org.) Implantação de Bacias Experimentais no Semiárido. **Relatório Técnico**, 2004, FINEP/FUNPEC, Natal, 2004.
- ARAÚJO, J. C.; GONZÁLEZ-PIEDRA, J. I. Comparative hydrology: Analysis of a semiarid and a humid tropical watershed. **Hydrological Processes**, v. 23, p. 1169-1178, 2009.
- ASSAD, E. D.; MONTEIRO, J. E. B. A.; AZEVEDO, L. da C. **Validação de modelos de estimativa de produtividade de milho, feijão, arroz e trigo no Brasil**. Campinas: Embrapa Informática Agropecuária, 2010, 110 p.
- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária -. Calendário de Zoneamento Agrícola de Risco Climático. Disponível em< <http://www.agritempo.gov.br>>. Acesso em: Março, 2014.
- BAGLEY, J. E.; DESAI, A. R.; HARDING, K. J.; SNYDER, P. K.; . FOLEY. J.A. Drought and Deforestation: Has land cover change influenced recent precipitation extremes in the Amazon? **Journal of Climate**, v. 27, n.1, January 2014.
- BARBOSA, H. A. **Análise espaço temporal de índice de vegetação AVHRR/NOAA e precipitação na região Nordeste do Brasil em 1982-85**. 1998. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto), Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1998.
- BARRON, J.; ROCKSTRÖM, J.; GICHUKI, F. HATIBU. Dry spell analysis and maize yields for two semi-arid locations in east Africa. **Agricultural and Forest Meteorology**, v 117, p. 23-37, 2003.

BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Secretaria Geral. **Projeto Radambrasil**. Folhas SB 24 e 25 Jaguaribe-Natal; Geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra, Rio de Janeiro, 1981.

BELTRAME, A. V. **Diagnóstico do meio físico de bacias hidrográficas: modelo e aplicação**. Florianópolis: Edição - UFSC, 1994.

BERG, L. K.; LAMB, P. J. Surface Properties and Interactions: Coupling the Land and Atmosphere within the ARM Program. **Meteorological Monographs** v. 57, cap. 23. 17 p. 23.1-23.17, 2016.

BERGAMASCHI, H.; DALMAGO, G. A.; BERGONCI, J. I.; BIANCHI, C. A. M.; MULLER, A. G.; COMIRAN, F.; HECKLER, B. M. M. Distribuição hídrica no período crítico do milho e produção de grãos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v.39, n.9, p.831-839, Setembro 2004.

BERGAMASHI, H. *et al.* Déficit hídrico e produtividade da cultura do milho. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, DF, v.41, n.2, p.243-249, 2006.

BUTT, N., DE OLIVEIRA, P. A. & COSTA, M. H. Evidence that deforestation affects the onset of the rainy season in Rondonia, Brazil. **J. Geophys. Res. Atmos.** v.116, D11120, 2011.

BRASIL- Ministério da Integração Nacional- Projeto de Integração do Rio São Francisco com Bacias Hidrográficas do Nordeste Setentrional – Projeto Básico Ambiental – PBA –2005.

CARVALHO, D. F. Espacialização do período de Veranico para diferentes níveis de perda de produção na cultura do milho, na Bacia do Rio Verde Grande, MG. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 4, n. 2, p. 172-176, 2000.

CARVALHO, T. R. A . **Índice de área foliar em caatinga preservada - Avaliação *in-situ* e através da resposta espectral de vegetação** 2015. 72 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2015.

CHARNEY, J.; QUIRCK, W.J.; CHOW, S.H.; CORNFIELD, J.A. Comparative study of albedo change on drought in semiarid regions. **Journal of the Atmospheric Sciences**. v. 34. 1977.

CORREIA, F. W.S, ALVALA, R. C. S. & MANZI, A. O. Modeling the impacts of land cover change in Amazonia: a regional climate model (RCM) simulation study. **Theor. Ap. Climatology**. 93, p. 225-244, 2008.

COSTA, C. A. G.; LOPES, J. W. B.; PINHEIRO, E A. R.; ARAUJO, J. C.; FILHO, R. R. G. Comportamento espacial da umidade do solo na zona das raízes do Bioma Caatinga. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 44, n. 4, p. 685-694, 2013.

COSTA, M. H.; BIAJOLI, M. C.; SANCHES, L.; MALHADO, A. C. M.; HUTYRA, L. C.; ROCHA, H. R.; AGUIAR, R. G. Atmospheric versus vegetation controls of Amazonian

tropical rain forest evapotranspiration: Are the wet and seasonally dry rain forests any different?. **Journal of Geophysical Research**, November 2010.

CREUTZFELDT, B. N. A. **Remote sensing based characterization of land cover and terrain properties for hydrological modeling in the semi-arid Northeast of Brazil**. 2006. 104 f. Dissertação (Mestrado) - Institut für Geoökologie, Universität Potsdam, Potsdam, April 2006.

CUNHA, A.P.M. A.; ALVALA, R. C. S.; SAMPAIO, G.; SHIMIZU, M. H. COSTA. Calibration and validation of the integrated biosphere simulator (IBIS) for a Brazilian semiarid region. **Journal of Applied Meteorology and Climatology**, v.52, p. 2753-2770, 2013.

DAMIZADEH, M.; SAGHAFIAN, B.; GIESKE, A. Studying vegetation response and rainfall relationship based on NOAA AVHRR Images. Asian Conference on Remote Sensing. Singapore, 2001.

DANIELS, E. E., HUTJES, W. A., LENDERINK, G.; RONDA, R. J.; HOLTSLAG, A. A. M. Land Surface Feedbacks on Spring Precipitation in the Netherlands. **Journal of Hydrometeorology**. Wageningen, Netherlands, DOI: 10.1175/JHM-D-14-0072.1, August 2014.

DA SILVA, D. F. **Análise de aspectos climatológicos, agronômicos, ambientais e de seus efeitos sobre a bacia hidrográfica do Rio Mundaú (AL e PE)**. 2009. 217 f. Tese (Doutorado em Recursos Naturais). Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2009.

DEBORTOLI, N.; FILHO, S. R.; DUBREUIL, V. Deforestation vs. changes in rainfall rates in the Amazonian forest of northern Mato-Grosso state. *In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO*, 15., 2011, Curitiba. **Anais...**Curitiba: INPE, 2011. p. 2944.

DIDAN K.; MUNOZ A.B.; SOLANO R., HUETE A. **MODIS Vegetation Index User's Guide (MOD13 Series)**. Version 3.0, Collection 6, 2015.35p.

DINIZ, J. M. T. Variabilidade da precipitação e do número de dias com chuvas de duas cidades distintas da Paraíba. **Holos**, v.23, p 171-180, 2013.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H.; BENTVELSEN, C. L. M.; BRANSCHIED, V.; PLUSJÉ, J.M.G.A.; SMITH, M.; UITTENBOGAARD, G.O.; VAN DER WAL, H. K. **Yield response to water. Irrigation and Drainage - Paper 33**, Rome, 1979, 193p.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. **Efeito da água no rendimento das culturas**. Trad. de GHEYI, H. R., SOUSA, A. A., DAMASCENO, F. A. V., MEDEIROS, J. 2. ed. Campina Grande: UFPB, 2000. 221p.

DOORENBOS, J.; PRUITT, W. O. **Necessidades hídricas das culturas**. (Estudos FAO: Irrigação e Drenagem, 24). Trad. de GHEYI, H. R., METRI, J. E. C. DAMASCENO. F. A. V. Campina Grande: UFPB, 1997.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Ministério da Agricultura e do Abastecimento. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília: 1999. 412 p.

ESPIG, S. A.; SOARES, J. V.; SANTOS, J. R.. Variações sazonais do EVI e NDVI em áreas do semiárido brasileiro. *In*: SEMINÁRIO EM ATUALIZAÇÃO EM SENSORIAMENTO REMOTO E SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS APLICADOS À ENGENHARIA FLORESTAL, 7., 2006, São José dos Campos. **Anais...**São José dos Campos: INPE, 2006. p. 219-223.

FERNANDES, F. B. P. **Disponibilidade hídrica para a cultura do feijão-de-corda em função do manejo de solo no semiárido cearense**. 2014. 112 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Departamento de Engenharia Agrícola. Universidade Federal do Ceara, Fortaleza, 2014.

FERREIRA H dos S.; SILVA, H. A. da.; OLIVEIRA T. H. de.; NETO R. X de M.; GALVÍNCIO, J. D.; PIMENTEL. R. M. M. Avaliação dos parâmetros biofísicos da vegetação de caatinga e agricultura irrigada do município de Petrolina – PE através do NDVI, NDWI e Temperatura da Superfície. *In*: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO - SBSR, 15., 2011, Curitiba. **Anais...**Curitiba: INPE, 2011. p 1843-1850.

FIGUEIREDO, D. C. Projeto GeoSafras: Sistema de Previsão de Safras da Conab. **Revista de Política Agrícola**, Brasília, DF, ano 14, n. 2, p. 110-120, abr./jun. 2005.

FUNCEME. Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos – Núcleo de Recursos Hídricos e Meio Ambiente – NUHRA. **Zoneamento Geoecológico do Núcleo de Desertificação da Região dos Inhamuns no estado do Ceará**. Fortaleza, 2014.

FUNCEME. Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos. **Caracterização de períodos secos ou excessivamente chuvosos no estado do Ceará através da técnica dos Quantis**: 1964-1998. Fortaleza-Ce, 1999.

FUNCEME. Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos. **Séries Históricas**. Disponível em <<http://www.funceme.br/index.php/areas/tempo/download-de-series-historicas>>. Acesso em novembro de 2014.

IM, E-S.; ELTAHIR, E. A. B. Enhancement of rainfall and runoff upstream from irrigation location in a climate model of West Africa. **Water Resources Research**, v. 50, p. 8651-8674, 2014.

JIANG, Z.; HUETE, A. R.; DIDAN, K.; MIURA, T. Development of a two-band enhanced vegetation index without a blue band. **Remote Sensing of Environment**, v. 112, p. 3833-3845, 2008.

KANAE, S.; OKI, T.; AND MUSIAKE, K. Impact of Deforestation on Regional Precipitation over the Indochina Peninsula Institute of Industrial Science, The University of Tokyo, Tokyo, Japan, 2001.

KAPTUÉ, A. T.; PRIHODKO, L.; HANAN, N. P. On greening and degradation in sahelian watersheds. **PNAS**, v. 112, n. 39, p. 12133-12138, 2015.

LAWRENCE, D and VANDECAR, K. Effects of tropical deforestation on climate and agriculture. **Nature Climate Change**, v. 5, p. 27-36, 2015.

LEMOS. J. R.; **Florística, estrutura e mapeamento da vegetação de caatinga da Estação Ecológica de Aiuaba-Ce.** 2006. 142 f. Tese (Doutorado em Ciências) - Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

LIMA, F. N., FREIRE, N. C. F.; SILVA, J. B. Da. Dinâmicas espectro-temporais da Estação Ecológica de Aiuaba – Ce, com utilização de imagens satélite. *In: SIMPÓSIO REGIONAL DE GEOPROCESSAMENTO E SENSORIAMENTO REMOTO – GEONORDESTE, 2014* Aracaju. **Anais...Aracajú**, 2014.

LOS, S. O., WEEDON, G. P., NORTH, P. R. J., KADUK, J. D., TAYLOR, C. M. and COX. P. M. An observation-based estimate of the strength of rainfall-vegetation interactions in the Sahel. **Geophysical Research Letters**., vol. 33, 116402, 2006.

MAHMOOD, R.; PIELKE, R. A.; HUBBARD, NIYOGI, K. G D.; DIRMEYER, P. A.; ALPINE, C. M.; CARLETON, A. M.; HALE, R.; GAMEDA, S.; PRZEKURAT, A. B.; BAKER, B.; Mc NIDER, R.; LEGATES, D. R.; SHEPHERD, M.; DU, J.; BLANKEN, P. D.; FRAUENFELD, O. W.; NAIRM, U. S. FALLT, S. Land cover changes and their biogeophysical effects on climate. **International Journal of Climatology**, v. 34, p. 929-953, 2014.

MAAT, H. W. T.; MOORS, E. J.; HUTJESA, R. W.A.; A. HOLTSLAGA, M.; DOLMAN, J. Exploring the Impact of Land Cover and Topography on Rainfall Maxima in the Netherlands. **Journal of Hydrometeorology**, v. 14, p. 524-542, 2012.

MCMAHON, THOMAS A e MEIN, RUSSEL G. *Reservoir capacity and yield.* Editora Elsevier, 1978 New York, 215 páginas.

MARTINS, M. A. **Estimativa de produtividade das culturas do milho e do sorgo a partir de modelos agrometeorológicos em algumas localidades da região Nordeste do Brasil.** 2012. Dissertação (Mestrado em Meteorologia), Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE, São José dos Campos, 2012.

MEDEIROS P. H. A, ARAÚJO, J. C.de. Temporal variability of rainfall in a semiarid environment in Brazil and its effect on sediment transport processes. **Journal of Soils and Sediments.** 2014.

MEDEIROS, P. H. A., DE ARAÚJO, J. C. de. BRONSTERT, A. Medidas de interceptação e avaliação do desempenho do modelo de Gash para uma região semiárida. **Revista Ciência Agrônômica**, Fortaleza, v. 40, n. 2, p. 165-174, 2009.

MEDEIROS, P. H. A. **Processos hidrosedimentológicos e conectividade em bacia hidrográfica**. 2009. 165 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, 2009.

MELO, E. C. S. **Simulações numéricas das interações biosfera-atmosfera em área de caatinga: uma análise da expansão agrícola em ambiente semiárido**. 2011. 135 f. Tese (Doutorado em Meteorologia) - Departamento de Geografia, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2011.

MELO, E. T., LINHARES, M. C. S.; OLIVEIRA, J. G. B de. Aplicação do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) para análise da degradação ambiental da microbacia hidrográfica do Riacho dos Cavalos, Crateús-ce. **RAEGA**, Curitiba, v. 23, p. 520-533 2011.

MELO, E. T. **Diagnóstico físico conservacionista da micro-bacia hidrográfica do Riacho dos Cavalos – Crateús/CE**. 2008. Dissertação (Mestrado) Centro de Ciências, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2008.

MENEZES, H. E. A. BRITO, J. I. B., LIMA, R de A.F. Veranico e a produção agrícola no Estado da Paraíba, Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, 2009.

MEDEIROS, J. B. L. P. **Zoneamento fito-ecológico da Estação Ecológica de Aiuaba – Uma contribuição à educação ambiental e à pesquisa científica**. 2004. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente - PRODEMA), Universidade Federal do Ceará. 2004.

MENEZES, H. E. A.; BRITO J. I. B. de & LIMA R. A. F. de A. Veranico e a produção agrícola no Estado da Paraíba, Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** v.14, n.2, p.181–186, Campina Grande, 2010.

MENG, X. H. EVANS, J. P. MCCABE, M. F. The impact of observed vegetation changes on land–atmosphere feedbacks during drought. **Journal of Hydrometeorology**, v. 15, n.2. April 2014.

MHIZHA, A.; CHIBULU, B. Water availability deficit in rain fed farming for semi-arid Mzingwane catchment, Zimbabwe.PN17 Water Net Challenge Program.2007.

MOLION, L. C. B.; BERNARDO, S. O. Uma revisão sobre a dinâmica das chuvas no Nordeste Brasileiro, **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.17, n. 1, p. 1-10, 2002.

MONGI, H.; MAJULE, A.E., LIYMO, J. G. Vulnerability and adaptation of rain fed agriculture to climate change and variability in semi-arid Tanzania. **African Journal of Environmental Science and Technology**, vol. 4(6), pp. 371-381, June, 2010.

MONTEIRO, J. E. B.; FORTES, L. T. G.; MELLO, L. T. A.; PARENTE, E. G. P. Avaliação de um sistema de estimativa de perda de produtividade de milho por deficiência hídrica no semiárido brasileiro. Instituto Nacional de Meteorologia – Coordenação de Desenvolvimento e Pesquisa. Brasília. 2010.

MUPANGWA, W.; WILKER, S.; TWONLOW, S. Start, end and dry spell of growing season in semiarid southern Zimbabwe. **Journal of Arid Environments**, v. 75, p. 1097-1104, 2011.

NASH, J.E., SUTCLIFFE, J.V. River flow forecasting through conceptual models – Part I: A discussion of principles. **Journal of Hydrology**, v. 10, n. 3, p. 282-290, 1970.

OLIVEIRA, L. S. **Preservação e conservação no semiárido cearense: O contexto do município de Aiuaba – Ceará, Brasil**. 2014. 160 f. Dissertação (Mestrado em Geografia), Universidade Estadual do Ceará, Fortaleza, 2014.

OLIVEIRA, L. J. C., COSTA, M. H., SOARES-FILHO, B. S. & COE, M. T. Large-scale expansion of agriculture in Amazonia may be a no-win scenario. **Environ. Res. Lett.** v. 8, 024021, 2013.

OYAMA, M. D.; NOBRE, C.A. Climatic consequences of a large-scale desertification in Northeast Brazil: A GCM simulation study. **Journal of Climate**. v. 17, n.16, p.3203-3213, 2004.

PEIXOTO, C. P. **Curso de fisiologia vegetal**. Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas. UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA. Cruz das Almas. 177 f, impressão eletrônica, 2011.

PERTUSSATI, C. A. **Veranicos no estado do Mato Grosso: Análise da variabilidade espaço-temporal e modelagem estatística**. 2013. 117 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos hídricos) – Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, 2013.

PINHEIRO, E. A. R. **Determinação in situ da profundidade efetiva das raízes da caatinga preservada para fins de balanço de água no solo**. 2010. 53 f. Monografia (Graduação em Agronomia) – Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2010.

PINHEIRO, E. A. R., METSELAAR, K, LIER, Q. de. J. V., ARAÚJO, J. C de. Importance of soil-water to the Caatinga biome, Brazil. **Ecohydrology**, v. 9, p. 1313-1327, 2016.

PINHEIRO, E. A. R., MEIRELES, M., LOPES, J. W. B., COSTA, C. A. G., Q., ARAÚJO, J.C de. Sazonalidade do albedo de superfície com uso do sensoriamento remoto em

microbacia hidrográfica do semiárido brasileiro. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada** v.4, n.4, 2010.

ROSA, P. A.; BREUNIG, F. M. BALBINOT, R.; GALVÃO, L. S. Dinâmica da Floresta do Parque Estadual do Turvo com Índices de Vegetação. **Floresta e Ambiente**, 20(4), p. 487-499. 2013.

REIS, G. P., BRITO D. DA S., SILVA, F. M. DE A. OLIVEIRA, S. G. RIBEIRO, S. C. Propensões dos veranicos no núcleo de desertificação dos Inhamuns, Ceará. Depto. Geociências – URCA, Crato-CE.

RICHARD, J. F. **La degradation des Paysages en Afrique de l'Ouest**. Dakar, Presses Universitaire de Dakar. Première edition, Novembre, 1990.

ROLIM, G. S.; SENTELHAS, P. C.; BARBIERI, V. Planilhas no ambiente EXCEL para os cálculos de balanços hídricos: normal, sequencial, de cultura e de produtividade real e potencial. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.6, p.133-137, 1998.

SANCHEZ-MEJIA, Z, M.; PAPUGA, S, A.; SWETISH, J. B.; LEEUWEN, W. J de.; SZUTU, D.; HARTFIELD, K. Quantifying the influence of deep soil moisture on ecosystem albedo: The role of vegetation. **Water Resources Research**, v. 50, p. 4038–4053. 2014.

SENTELHAS, P. C. Uso de modelos de simulação de culturas como ferramentas para identificação dos agentes deflagradores de colapso na produção agrícola. *In* : REUNIÃO TÉCNICA DO CEMADEN.3. 2012, Fortaleza. **Palestras...** Fortaleza, 2012.

SILVA F. A. S., RAO, T. V. R. Regimes pluviais, estação chuvosa e probabilidade de ocorrência de veranicos no Estado do Ceará. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande-PB, v.6, n.3, p.453-459, 2002.

SILVA, V.P. R DA, PEREIRA E. R. R.; AZEVEDO A. P. V.; SOUSA F DE A. S.; SOUSA, I F. de. Análise da pluviometria e dias chuvosos na região Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, n.2, p.131–138, 2011, Campina Grande - PB, 2010.

SILVA, F. de A. S, AZEVEDO, C. A. V. de. A new version of the assistat-statistical assistance software. *In*: WORLD CONGRESS ON COMPUTERS IN AGRICULTURE, 4., 2006, Orlando, USA. **Anais...** Orlando, 2006. p. 393-396.

SILVA, F. de A. S. E.; AZEVEDO, C. A. V. de. Versão do programa computacional Assistat para o sistema operacional Windows. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v.4, n.1, p. 71-78, 2002.

SILVA, R. D. **Relação entre variabilidade pluviométrica, indicadores sócio-econômicos e produção agrícola na macrorregião Cariri/Centro Sul Cearense**. 2013. 57 f. Monografia (Graduação em Agronomia) - Centro de Ciências Agrárias e Biodiversidade, Universidade Federal do Cariri, Crato, 2013.

SILVA, G.; SILVA, D. F. Da. Estudo da influência climática na produção de milho (*Zea Mays*) no município de Aiuaba-Ce. *In: Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia CONTECC - 2015, Fortaleza. Anais...Fortaleza, 2015.*

SOUZA, S. S; **Impactos climáticos regionais da mudança de vegetação no semiárido do Nordeste Brasileiro.** 2006. 209 f. Tese (Doutorado em Meteorologia). Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE. São José dos Campos. 2006.

SPRACKLEN, D. V.; ARNOLD, S. R.; TAYLOR, C. M. Observations of increased tropical rainfall preceded by air passage over forests. **Nature**, v. 489, p. 282-286, 2012.

TAYLOR, C. M., LEBEL, T. Observational Evidence of Persistent Convective-Scale Rainfall Patterns, **Monthly Weather Review**. v. 126, p. 1597 – 1607, jun. 1998.

THORNTHWAITE, C. W.; MATHER, J. R. **The Water Balance.** Publications in Climatology. New Jersey: Drexel Institute of Technology, 104p. 1955.

THORNTHWAITE, C.W. **An approach toward a rational classification of climate.** *Geographical Review*, v.38, p.55-94, 1948.

USMAN, M. T.; REASON, C. J. C. Dry spell frequencies and their variability over southern Africa. **Climate Research**, vol. 26, p. 199-211, 2004.

VIANA, L. Q.; GONÇALVES, R. C.; FILHO, O. C. R. Avaliação espaço-temporal do NDVI com a precipitação e com a evapotranspiração na bacia do rio preto. XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Bento Gonçalves. 2013.

VIGANÓ, H. A.; BORGES, E. F.; ROCHA, W. J. S. F. Análise do desempenho dos Índices de Vegetação NDVI e SAVI a partir de imagem. *In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. 15., 2011, Curitiba. Anais...Curitiba, 2011.*

WILLMOTT, C. J. On the validation of models. **Physical Geography**, v. 2, p. 184-194, 1981.

XUE, Y.; SALES, F.; VASIK, R.; MECHOSO, C. R.; ARAKAWA, A.; PRINCE, S. Global and seasonal assessment of interactions between climate and vegetation biophysical processes: A GCM Study with Different Land–Vegetation Representations. **Journal of Climate**, v. 23, p. 1411-1433, 2010.

GE, Q.; ZHANG, X.; ZHENG, J. Simulated effects of vegetation increase/decrease on temperature changes from 1982 to 2000 across the Eastern China. **International Journal of Climatology**, v. 34, p. 187–196, 2014.

## APÊNDICE A – PARÂMETROS CULTURAIS E DE SOLO

### ORIGINAL-FAO

Parâmetros	Fase				
	Inicial	Desenvolvimento	Intermediário	Final	Total
<b>Kc</b>	0,4	1,2	-	0,6	
<b>Ky</b>	0,4	1,5	0,5	0,2	1,25
<b>Profundidade efetiva(m)</b>	0,3		0,5		
<b>Altura máxima(m)</b>			2		

### MODIFICADO (GRUPO 1)

	Fase				
	Inicial	Desenvolvimento	Intermediário	Final	Total
<b>Kc</b>	0,4	1,2	-	0,6	
<b>Ky</b>	0,4	1,5	0,5	0,2	1,8
<b>Profundidade efetiva(m)</b>	0,3		0,5		
<b>Altura máxima(m)</b>			2		

### MODIFICADO (GRUPO 2)

Parâmetros	Fase				
	Inicial	Desenvolvimento	Intermediário	Final	Total
<b>Kc</b>	0,4	1,2	-	0,6	
<b>Ky</b>	0,4	1,5	0,5	0,2	1,9
<b>Profundidade efetiva(m)</b>	0,3		0,5		
<b>Altura máxima(m)</b>			2		

## PARÂMETROS DE SOLO

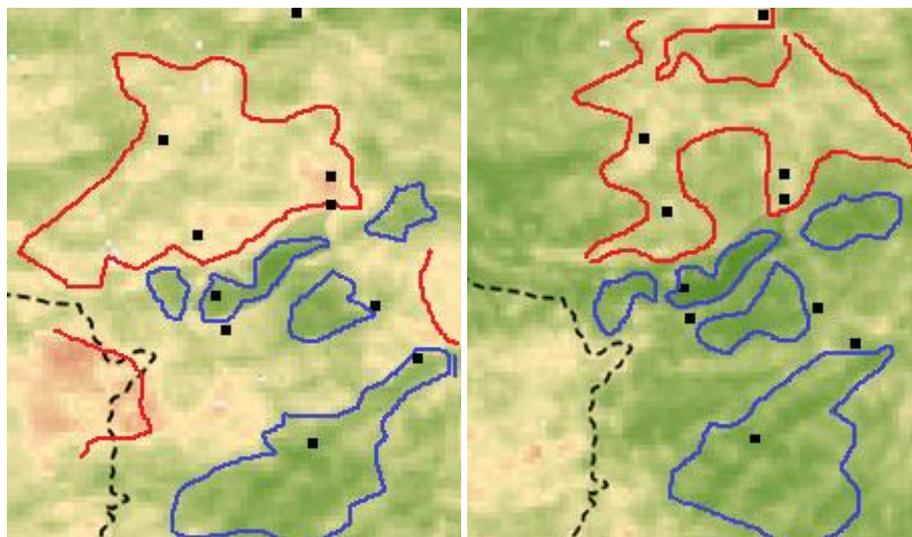
## ORIGINAL-FAO

<b>Solos</b>	<b>Água disponível (mm/m)</b>	<b>Profundidade máxima radicular (m)</b>	<b>Depleção inicial (%)</b>	<b>Armazenamento inicial (mm/m)</b>
<b>Solo argiloso (pesado)</b>	200	0,5	50	100
<b>Solo franco (médio)</b>	290	0,5	50	145
<b>Solos arenosos (leve)</b>	60	0,5	50	30

## MODIFICADO-DADOS LOCAIS

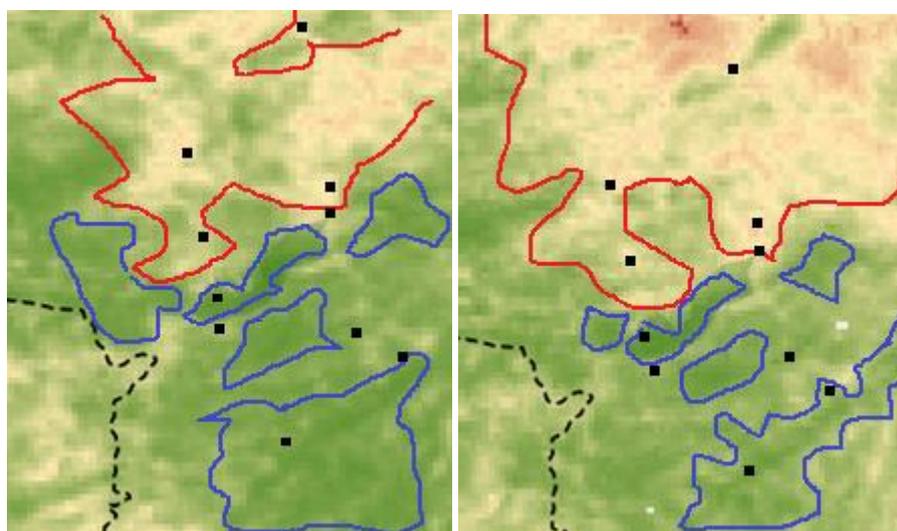
<b>Solos</b>	<b>Água disponível (mm/m)</b>	<b>Profundidade máxima radicular (m)</b>	<b>Depleção inicial (%)</b>	<b>Armazenamento inicial (mm/m)</b>
<b>Solo argiloso argissolo</b>	140	0,5	50	70
<b>Solo franco luvisolo</b>	150	0,5	50	75
<b>Solos arenosos litólicos</b>	80	0,5	50	40

Fonte: Costa *et al.* (2013).

**ANEXO A – IMAGENS (NDVI/SPOT) DA ÁREA DE ESTUDO**

Maio 2003

Maio 2004

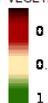


Maio 2006

Maio 2007

E= 1:1000000

NDVI SPOT VEGETATION Brasil



Fonte: EMBRAPA - Monitoramento por Satélite. Organização: Autor.

## **ANEXO B – VEGETAÇÃO DO ENTORNO DOS POSTOS**

Carmelópolis (W<sub>2</sub>): Caatinga Arbórea- arbustiva conservada em Argissolos



Varzea Nova (E<sub>1</sub>): Caatinga Arbórea- arbustiva conservada em Argissolos



Fonte: Google Earth –Street viewer (2014).

Proximidades de Aiuaba (E<sub>1</sub>):Caatinga Arbórea-arbustiva aberta degradada em Neossolos



Proximidades de Ibama- sede (E<sub>0</sub>)



Proximidades de Ibama-sede (E<sub>0</sub>)



Fonte: Google Earth- Street viewer (2014).

Visão geral ESEC- Aiuaba



Fonte: Medeiros (2009).

Proximidades de EP<sub>2</sub> (W<sub>0</sub>) Projeto Hidrosed / UFC em área de caatinga arbórea preservada. Associação de argissolos e luvisolos na Estação Ecológica de Aiuaba-Ce/ESEC



Fonte: Medeiros (2009).