

**ALLYSSON LYRA COSTA**

**DINÂMICA DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO NO MUNICÍPIO DE  
ARCOVERDE – PE USANDO SENSORIAMENTO REMOTO**

**RECIFE**

**2019**

**DINÂMICA DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO NO MUNICÍPIO DE  
ARCOVERDE – PE USANDO SENSORIAMENTO REMOTO**

**ALLYSSON LYRA COSTA**

Engenheiro Agrônomo

Orientador: **Prof. Dr. Geber Barbosa de Albuquerque Moura**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal Rural de Pernambuco, como requisito para obtenção do título de Doutor em Engenharia Agrícola.

RECIFE

2019

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
Sistema Integrado de Bibliotecas da UFRPE  
Biblioteca Centra, Recife-PE, Brasil

C837d Costa, Allysson Lyra  
Dinâmica do uso e ocupação do solo no município de Arcoverde  
– PE usando sensoriamento remoto / Allysson Lyra Costa. – 2019.  
110 f.: il.

Orientador: Geber Barbosa de Albuquerque Moura.

Tese (Doutorado) – Universidade Federal Rural de Pernambuco,  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Recife,  
BR-PE, 2019.

Inclui referências e apêndice (s).

1. Solos e clima 2. Cobertura dos solos 3. Solos - Temperatura  
4. Regiões áridas - Arcoverde (PE) 5. Solos - Sensoriamento remoto  
I. Moura, Geber Barbosa de Albuquerque, orient. II. Título

CDD 630

**ALLYSSON LYRA COSTA**

**DINÂMICA DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO NO MUNICÍPIO DE  
ARCOVERDE – PE USANDO SENSORIAMENTO REMOTO**

Tese defendida e aprovada em 25 de fevereiro de 2019 pela Banca  
Examinadora:

Orientador:

---

Prof. Dr. Geber Barbosa de Albuquerque Moura  
UFRPE

Examinadores:

---

Dr. Alexandre Hugo Cezar Barros  
EMBRAPA

---

Dr. Roni Valter de Sousa Guedes  
APAC

---

Prof. Dr. Fabrício Marcos Oliveira Lopes  
UFRPE

---

Prof. Dr. Ênio Farias França e Silva  
UFRPE

**“Sempre parece impossível até que seja feito”.**  
**(Nelson Mandela)**

**“Tudo posso naquele que me fortalece”**  
**(Filipenses 4:13)**

**“O Senhor é o meu pastor e nada me faltará”.**  
**(Salmos 23:1)**

**Aos meus pais, Ambrózio e Alzenir.  
Por terem me dado à vida.  
Por terem sempre me incentivado e ajudado em tudo.  
A minha esposa, pelo apoio e carinho incondicional.  
Amo vocês.  
Dedico**

## AGRADECIMENTOS

Ao meu grande e eterno Deus, por ter me concedido o dom da vida e que me deu a oportunidade de continuar a minha caminhada na busca pelos meus sonhos.

À Universidade Federal Rural de Pernambuco e ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola pela oportunidade de realização deste Doutorado.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

A minha família, pela educação e orientação que me foi dada ao longo da vida; pelo apoio, carinho e compreensão, em especial meu pai Ambrózio e minha mãe Alzenir, que sempre me incentivaram e acreditaram em mim; aos meus irmãos (Alícia, Adisson e Raphael) pelo apoio e incentivo, ao meu sobrinho Martín e minha afilhada Amanda. *In. Memoriam* as minhas avós Hilda Lyra e Celina Costa e meus avôs Pedro Lyra e Antônio Costa.

As minhas tias Rosemary, Jeanne, Evra e Hildete (*In. Memoriam*), e meus tios Admir e Ibson que sempre me deram apoio e me ajudaram no que foi preciso.

À minha esposa Aline Lucena, que compartilhou comigo esse período, dedicando suas (e nossas) horas corrigindo, formatando e, principalmente, me incentivando no cansativo processo que é o desenvolvimento de uma tese. Agradeço-a por todos os beijos e puxões de orelha, necessários para a continuidade deste trabalho.

Ao professor Prof. Dr. Geber Barbosa de Albuquerque Moura, pela orientação atenciosa, por todo apoio, disposição, confiança e amizade.

Ao professor Dr. Fabrício Marcos Oliveira Lopes, pela disponibilidade, sugestões, atenção e amizade.

A professora Dr<sup>a</sup>. Cristina Rodrigues Nascimento, pela disponibilidade, sugestões, atenção e amizade.

A todos os meus amigos, os quais felizmente a lista é numerosa, agradeço pelo companheirismo, apoio, cumplicidade, grupos de estudo e bons momentos de descontração. Em especial aos amigos Janice, José Eduardo, Hammady, Karina e Diego.

Aos professores do Departamento de Engenharia Agrícola e de Agronomia, pela contribuição na minha formação profissional.

Enfim, a todos que direta ou indiretamente colaboraram para a realização deste trabalho e que contribuíram ou contribuem para minha formação profissional.

Obrigado!



## SUMÁRIO

Lista de Figuras .....	xi
Lista de Tabelas .....	xiii
Lista de Siglas .....	xv
Resumo .....	16
Abstract .....	17
1. Introdução .....	18
2. Justificativa .....	20
3. Hipóteses .....	21
4. Objetivo Geral .....	22
4.1. Objetivos específicos .....	22
5. Revisão de literatura .....	23
5.1. Sertão de Pernambuco .....	23
5.2. Bioma Caatinga .....	25
5.3. Uso e Ocupação do Solo .....	26
5.4. Índices de Vegetação .....	28
5.5. Índices de Seca .....	30
5.6. Sensoriamento Remoto .....	31
5.6.1. Satélites LANDSAT .....	34
5.6.2. Sensor MODIS .....	35
5.6.3. Sistema de Processamento de Informações Georeferenciadas ...	37
5.6.4. Plataforma Series View .....	38
5.7. Técnica dos Quantis .....	40
6. Metodologia .....	41
6.1. Área de Estudo .....	41
6.2. Precipitação Pluviométrica .....	42
6.3. Temperatura da superfície .....	42
6.4. Dados Orbitais .....	44
6.5. Índice de Aridez .....	45
6.6. Classificação do Uso e Ocupação do Solo .....	47
6.7. Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) .....	48
6.8. Estimativa dos Quantis .....	49
7. Resultados e Discussão .....	51

7.1.	Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) .....	51
7.2.	Índice de aridez .....	52
7.3.	Técnica dos Quantis .....	53
7.3.1.	Anos muito chuvosos (1985 e 2004) .....	55
7.3.2.	Anos chuvosos (2007 e 2009) .....	61
7.3.3.	Anos Normais (1995 e 2005).....	65
7.3.4.	Anos Secos (1999 e 2003) .....	69
7.3.5.	Anos muito secos (1993 e 1998) .....	74
7.4.	Temperatura noturna da superfície .....	78
7.4.1.	Ponto 1.....	82
7.4.2.	Ponto 7.....	83
7.4.3.	Ponto 9.....	84
7.4.4.	Ponto 10.....	85
7.4.5.	Ponto 20.....	86
7.4.6.	Ponto 24.....	87
7.4.7.	Ponto 25.....	88
8.	Conclusões .....	90
9.	Referências.....	91
10.	APÊNDICES .....	107

## Lista de Figuras

Figura 1. Biomas do Brasil. Fonte: IBGE, 2018.....	25
Figura 2. Plataforma Series View.....	39
Figura 3. Gráfico das curvas de temperaturas da superfície terrestre (diurnas e noturnas do sensor MODIS) das plataformas Terra e Aqua no Series View no período entre 2000 e 2017.....	39
Figura 4. Localização do município de Arcoverde - PE.....	41
Figura 5. Estação meteorológica para aquisição de dados de Arcoverde-PE. Fonte: INMET (2018). .....	42
Figura 6. Localização dos pontos amostrais na área do município de Arcoverde-PE. ....	44
Figura 7. Fluxograma de Procedimentos metodológicos de classificação/MAXVER. ....	48
Figura 8. Temperatura mínima do ar (°C) e precipitação pluviométrica (mm) do município de Arcoverde-PE do ano 1985 a 2017.....	55
Figura 9. Balanço hídrico climatológico do município de Arcoverde-PE, nos anos classificados como muito chuvoso, (A) 1985 e (B) 2004. ....	56
Figura 10. Carta de uso e ocupação do solo do município Arcoverde-PE no ano de 1985 e 2004.....	58
Figura 11. Carta hipsométrico do município de Arcoverde-PE.....	59
Figura 12. Carta do Índice de Vegetação da Diferença Normalizada do município Arcoverde-PE no ano de 1985 e 2004.....	60
Figura 13. Balanço hídrico climatológico do município de Arcoverde-PE, nos anos classificados como chuvosos, (A) 2007e (B) 2009. ....	61
Figura 14. Carta de uso e ocupação do solo do município Arcoverde-PE no ano de 2007 e 2009.....	63
Figura 15. Carta do Índice de Vegetação da Diferença Normalizada do município Arcoverde-PE no ano de 2007 e 2009.....	64
Figura 16. Balanço hídrico climatológico do município de Arcoverde-PE, nos anos classificados como normais chuvoso, (A) 1995 e (B) 2005. ....	65
Figura 17. Balanço hídrico climatológico do município de Arcoverde-PE, do período de 1973 a 1990.....	65
Figura 18. Carta de uso e ocupação do solo do município Arcoverde-PE no ano de 1995 e 2005.....	67

Figura 19. Carta do Índice de Vegetação da Diferença Normalizada do município Arcoverde-PE no ano de 1995 e 2005.....	68
Figura 20. Balanço hídrico climatológico do município de Arcoverde-PE, nos anos classificados como secos (A) 1999 e (B) 2003.....	70
Figura 21. Carta do uso e ocupação do solo do município Arcoverde-PE no ano de 1999 e 2003.....	72
Figura 22. Carta do Índice de Vegetação da Diferença Normalizada do município Arcoverde-PE no ano de 1999 e 2003.....	73
Figura 23. Balanço hídrico climatológico do município de Arcoverde-PE, nos anos classificados como muito secos (A) 1993 e (B) 1998. ....	74
Figura 24. Carta do Índice de Vegetação da Diferença Normalizada do município Arcoverde-PE no ano de 1999 e 2003.....	76
Figura 25. Carta de uso e ocupação do solo do município Arcoverde-PE no ano de 1993 e 1998.....	77
Figura 26. Carta da temperatura noturna média da superfície no município de Arcoverde - PE, satélite Terra (A) e Aqua (B). ....	78
Figura 27. Imagens do Google Earth mostrando as alterações no ponto 6, entre os anos de 2006 e 2017. ....	80
Figura 28. Imagens do Google Earth mostrando as alterações no ponto 23, entre os anos de 2002 e 2017. ....	81
Figura 29. Imagens do Google Earth mostrando as alterações no ponto 1, entre os anos de 2006 e 2017. ....	82
Figura 30. Imagens do Google Earth mostrando as alterações no ponto 7, entre os anos de 2006 e 2017. ....	83
Figura 31. Imagens do Google Earth mostrando as alterações no ponto 9, entre os anos de 2006 e 2017. ....	84
Figura 32. Imagens do Google Earth mostrando as alterações no ponto 10, entre os anos de 2006 e 2017. ....	85
Figura 33. Imagens do Google Earth mostrando as alterações no ponto 20, entre os anos de 2006 e 2017. ....	86
Figura 34. Imagens do Google Earth mostrando as alterações no ponto 24, entre os anos de 2006 e 2017. ....	87
Figura 35. Imagens do Google Earth mostrando as alterações no ponto 25, entre os anos de 2006 e 2017. ....	88

## Lista de Tabelas

Tabela 1. Relação das coordenadas geográficas dos 30 pontos amostrados na área do município de Arcoverde-PE. ....	43
Tabela 2. Classificação chuvosa do ano e a correspondente datas das imagens. ....	45
Tabela 3. Classificação climática de Thornthwaite (1948) conforme valores do índice de aridez (IA). ....	46
Tabela 4. Classificação Wischmeier (1971), considerando o nível de susceptibilidade à desertificação, com o auxílio do uso do Índice de Aridez, adaptado de Matallo Júnior (2001). ....	47
Tabela 5. Classificação, Probabilidade e Intervalo Médio de Precipitação (mm) das ordens quantílicas do período de 1985 a 2015 no município de Arcoverde-PE. ....	49
Tabela 6. Análise estatística descritiva das imagens de NDVI dos anos analisados. ....	51
Tabela 7. Classificação climática de Thornthwaite (1948) e de Wischmeier (1971) no período de 1985 a 2015, de acordo com os Índices de Aridez (Ia). .	52
Tabela 8. Valores ordenados para aplicação da técnica dos quantis. ....	53
Tabela 9. Classificação dos anos, da série histórica, de acordo com os valores estabelecidos para cada classe quantílicas. ....	54
Tabela 10 - Área das classes de uso e ocupação do solo, no município de Arcoverde –PE, nos anos 1985 e 2004. ....	57
Tabela 11 - Área das classes de uso e ocupação do solo, no município de Arcoverde –PE, nos anos 2007 e 2009. ....	62
Tabela 12 - Área das classes de uso e ocupação do solo, no município de Arcoverde –PE, nos anos 1995 e 2005. ....	66
Tabela 13. Total de consumidores de energia elétrica do município de Arcoverde-PE durante o período de 1985 a 2017. ....	69
Tabela 14 - Área das classes de uso e ocupação do solo, no município de Arcoverde –PE, nos anos 1999 e 2003. ....	71
Tabela 15. População residente no Município de Arcoverde – PE no período de 1985 a 2012. ....	71
Tabela 16 - Área das classes de uso e ocupação do solo, no município de Arcoverde –PE, nos anos 1993 e 1998. ....	75

Tabela 17. Variação da temperatura mínima do ar no mês de obtenção da imagem Landsat 5, em relação a temperatura noturna registrada nas imagens MODIS dos produtos MOD11C3 e MYD11C3. ....	79
Tabela 18. Localização geográfica dos pontos que apresentaram mudanças significativas na cobertura da superfície. ....	81
Tabela 19. Classes de uso e ocupação do solo identificadas no ponto 1 nos anos analisados.....	82
Tabela 20. Classes de uso e ocupação do solo identificadas no ponto 7 nos anos analisados.....	83
Tabela 21. Classes de uso e ocupação do solo identificadas no ponto 9 nos anos analisados.....	84
Tabela 22. Classes de uso e ocupação do solo identificado no ponto 10 nos anos analisados.....	85
Tabela 23. Classes de uso e ocupação do solo identificado no ponto 20 nos anos analisados.....	86
Tabela 24. Classes de uso e ocupação do solo identificado no ponto 24 nos anos analisados.....	87
Tabela 25. Classes de uso e ocupação do solo identificadas no ponto 25 nos anos analisados.....	88

## Lista de Siglas

APAC – Agência Pernambucana de Águas e Clima

DGI – Divisão de Geração de Imagens

IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e Recursos Naturais Renováveis

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

INPE – Instituto Nacional de Pesquisa Espacial

IPA – Instituto Agrônômico de Pernambuco

IAF – Índice de área foliar

MMA – Ministério do Meio Ambiente

NDVI – Índice de Vegetação da Diferença Normalizada

PROBIO – Projeto de Conservação e Utilização Sustentável da Diversidade  
Biológica Brasileira

SAVI – Índice de Vegetação ao Solo Ajustado

SEBAL – Surface Energy Balance Algorithm for Land

## **DINÂMICA DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO NO MUNICÍPIO DE ARCOVERDE – PE USANDO SENSORIAMENTO REMOTO**

### **Resumo**

A região semiárida do Brasil é muito vulnerável à variabilidade climática e, particularmente, aos seus extremos. As mudanças no uso e na ocupação do solo, provocadas pelas ações antrópicas, têm gerado grandes impactos nas paisagens e na temperatura superficial terrestre. Esses impactos podem ser mitigados através do monitoramento do uso e da cobertura do solo utilizando-se informações espaço-temporais das modificações ocorridas na paisagem. Mediante isso, esse estudo tem como objetivo mapear a dinâmica da mudança do uso do solo e da cobertura vegetal no período entre 1985 e 2015, assim como a dinâmica espaço-temporal da temperatura noturna da superfície, no município de Arcoverde, Sertão de Pernambuco. Para a realização do estudo foram analisados dados de precipitação Pluviométricas anuais e categorizados pelo método dos quantis em anos muito secos, secos, normais, chuvosos e muito chuvosos e dados da série temporal de temperatura da superfície do sensor MODIS (TERRA e AQUA) disposta na plataforma Series View. Foram utilizadas imagens da temperatura noturna da superfície dos produtos MODIS - MOD11C3 (2000-2015) e MYD11C3 (2002-2015) para obtenção da média da temperatura noturna da superfície do período avaliado na região de estudo. Imagens do satélite Landsat 5-TM, na órbita/ponto 215/66, para cada ano. Imagens do satélite Landsat 5-TM, na órbita/ponto 215/66, para cada ano analisado foram obtidas e agrupadas de acordo com as categorias dos quantis. As imagens foram processadas e analisadas no software SPRING 5.2.6/ INPE, nas quais foram aplicadas as técnicas de classificação multiespectral "pixel a pixel" MAXVIER para a classificação da imagem quanto ao uso das terras. Observou-se o aumento da temperatura em toda a área de estudo, independente da classe de uso e ocupação do solo. As amostras de área urbana e solo exposto são responsáveis pelos maiores incrementos térmicos à atmosfera local.

**Palavras chaves:** SPRING, QUANTIS, Temperatura noturna, Pernambuco.



## **DYNAMICS OF SOIL USE AND OCCUPATION IN THE CITY OF ARCOVERDE-PE BY USING REMOTE SENSING**

### **Abstract**

The semi-arid region of Brazil is very vulnerable to climate variability, and particularly to its extremes. Changes in land use and occupation, caused by anthropic actions, have generated great impacts on landscapes and surface temperatures. These impacts can be mitigated through the monitoring of land use and cover using spatiotemporal information of changes occurring in the landscape. Therefore, this study aims to map the dynamics of land-use change and vegetation cover in the period between 1985 and 2015, as well as the spatial-temporal dynamics of the night surface temperature in the municipality of Arcoverde, Sertão de Pernambuco. For the study, annual rainfall data were analyzed and categorized by the quantile method in very dry, dry, normal, rainy and very rainy years, and data from the MODIS sensor surface temperature (EARTH and AQUA) data set Series View platform. Images of the night surface temperature of the MODIS - MOD11C3 (2000-2015) and MYD11C3 (2002-2015) products were used to obtain the average night surface temperature of the period evaluated in the study region. Images of the Landsat 5-TM satellite in orbit / point 215/66 for each analyzed year were obtained and grouped according to the categories of the quantiles. The images were processed and analyzed in software SPRING 5.2.6 / INPE, in which the MAXVIER multispectral classification techniques "pixel to pixel" were applied to the classification of the image regarding land use. It was observed the temperature increase in the entire study area, regardless of the class of use and occupation of the soil. The samples of urban area and exposed soil are responsible for the greatest thermal increases to the local atmosphere.

**Keywords:** SPRING, QUANTIS, night temperature, Pernambuco.

## 1. Introdução

O município de Arcoverde é considerado a porta de entrada do Sertão Pernambucano. Arcoverde está incluída na Região de Desenvolvimento do Moxotó, cuja economia é baseada na agropecuária. Nas atividades pastoris, a bovinocultura e a caprinocultura recebem destaque (IPA, 2018). A área rural apresenta uma atividade agrícola mais diversificada onde, além da cana-de-açúcar, predomina a produção de frutas. As lavouras de subsistência e do algodão também têm grande importância na economia da região.

Apesar da relevância econômica do município e da importância do conhecimento sobre a situação ambiental do mesmo, as pesquisas são limitadas, tanto devido à falta de uma base de dados climáticos sem falhas (dados inexistentes) como pela indisponibilidade de dados socioeconômicos atualizados.

O processo de produção do espaço geográfico nas últimas décadas tem favorecido profundas transformações da paisagem resultante de uma relação desarmoniosa entre sociedade-natureza, que acarreta o comprometimento da funcionalidade do sistema e tem resultado na degradação dos recursos naturais, notadamente os solos, a água e a cobertura vegetal (AQUINO et al, 2016).

Quando se considera uma análise direcionada à região Nordeste do Brasil, o conhecimento das características da precipitação pluviométrica adquire grande relevância. Haja vista a sua importância para as atividades relacionadas ao desenvolvimento de uma região, como agricultura, indústria e serviços urbanos diversos. Sendo uma das variáveis de maior demanda para estudos hidrológicos.

A cobertura vegetal da região Nordeste do Brasil é composta por diversos padrões morfológicos que dependem das características edafoclimáticas. A porção semiárida dessa região caracteriza-se geralmente pela presença de árvores e arbustos densos, baixos, retorcidos, de aspecto seco, raízes muito desenvolvidas, grossas e penetrantes e que perde sua folhagem no período de estiagem, tornando a florescer no período chuvoso.

Segundo Marengo et al., (2011), a irregularidade das chuvas é um obstáculo constante ao desenvolvimento das atividades agropecuárias e intensifica ainda mais os efeitos sociais. Sabe-se que as chuvas do semiárido da região Nordeste apresentam enorme variabilidade espacial e temporal. Anos de secas e chuvas abundantes se alternam de formas erráticas, e grandes são as

secas de 1982-83, 1997-98, assim como secas menores em 2003 e 2005 (MARENGO, 2010; FRANÇA, 2017).

Influenciado diretamente pela precipitação pluviométrica, o teor de umidade do solo é um dos fatores determinantes de alguns processos hidrológicos em uma bacia hidrográfica, como por exemplo, na separação entre as parcelas da precipitação que infiltra e a que escoia superficialmente.

No decorrer dos anos, vários trabalhos têm sido desenvolvidos buscando se investigar e aprimorar os conhecimentos sobre a grande variabilidade espacial e temporal com que se comporta a precipitação pluviométrica. Com o avanço da tecnologia foram desenvolvidos sensores de alta resolução capazes de fazer o monitoramento da resposta espectral da vegetação de uma determinada área geográfica.

Uma vez que, a distribuição temporal das precipitações pluviométricas, tem forte influência no balanço hídrico da região e, conseqüentemente, na umidade do solo, interferindo diretamente no albedo de superfície e no índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI).

Desta forma, a ação humana na superfície terrestre tem sido foco da discussão das autoridades em nível nacional e internacional acerca das mudanças ambientais que podem ocasionar. Assim a utilização de técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento nas análises ambientais tem se tornado uma prática cada vez mais frequente entre as diversas áreas de pesquisa. Como consequência, tem-se tornado uma ferramenta poderosa para a obtenção de informações necessárias ao manejo, gerenciamento e gestão de recursos naturais (CUNHA et al., 2012; AQUINO et al., 2016).

No caso do uso do solo e da cobertura vegetal, estas técnicas contribuem de modo expressivo para a rapidez, eficiência e confiabilidade nas análises que envolvem os processos de degradação da vegetação natural, fiscalização dos recursos florestais, desenvolvimento de políticas conservacionistas, bem como vários outros fatores que podem ocasionar modificações na vegetação, desde pequenas fazendas até Regiões, Estados ou Países (SHIMABUKURO et al., 2009).

O aumento na utilização de imagens orbitais é consequência, principalmente, do baixo custo de seus produtos, fato comprovado quando comparados a tradicionais métodos fotogramétricos e topográficos (como a utilização de fotografias aéreas).

## 2. Justificativa

O uso e manejo inadequados das terras e a falta de ações conservacionistas implicam em perdas significativas, de solo, matéria orgânica, nutrientes, biodiversidade, perdas com enchentes e, em especial, de água, prejudicando o equilíbrio dos sistemas hídricos em bacias hidrográficas. O levantamento do uso e cobertura da terra como parte de um diagnóstico ambiental é a primeira etapa para o planejamento conservacionista como estratégia para a reversão desse quadro.

A partir desse contexto, surgem pesquisas científicas com o objetivo de quantificar a degradação ambiental e conhecer os seus fatores dentro do cenário brasileiro, visto que grande parte das pesquisas já realizadas determinam as questões agropecuárias como uma das principais responsáveis pelo agravamento da degradação ambiental, desconsiderando, que a expansão urbana também se caracteriza como uma de suas principais fontes.

Diante disto, foi realizado o levantamento bibliográfico e verificou-se que no Brasil existe certa carência de estudos preocupados com a detecção de temperaturas baixas por meio do sensoriamento remoto. Durante o levantamento verificou-se também à ausência de estudos que analisam o uso e ocupação do solo ao longo dos anos, visando avaliar a interferência da degradação na qualidade ambiental e seu impacto na possível elevação da temperatura noturna da superfície.

Apesar da relevância do tema, as pesquisas são limitadas, tanto devido à falta de uma base de dados climáticos sem falhas (dados inexistentes) como pela indisponibilidade de dados socioeconômicos atualizados. Estudos sobre tal problemática surgem, não só da necessidade de conhecer os reais efeitos os elementos climáticos sobre a sociedade, mas também como a promoção de pesquisa científica que possam ampliar o conhecimento da sociedade sobre as vulnerabilidades dos estados e do país às alterações ambientais.

Desta forma, o conhecimento da temperatura do ar e da superfície é fundamental em várias áreas de pesquisa, sendo extremamente útil na detecção do estresse hídrico de culturas, monitoramento de secas, na detecção de queimadas e estudos de mudanças climáticas. Os métodos utilizados para a estimativa da temperatura da superfície são através de dados obtidos das diversas estações meteorológicas distribuídas em todo o mundo, fornecendo

informações pontuais e numa escala regional ou global através do uso do sensoriamento remoto, com imagens de satélites.

Assim, nesta pesquisa será utilizado dados do produto MYD11C/MOD11C do sensor Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS), onde até o presente momento não há pesquisas com este produto no Nordeste brasileiro avaliando a temperatura noturna. Os produtos MYD11/MOD11 fornecem valores de temperatura da superfície terrestre (TST) e emissividade em uma grade de modelagem climática de latitude / longitude de 0,05° (5600 m x 5600 m). Os mesmos consistem em 17 camadas, que incluem temperatura da superfície terrestre dia e noite e as suas correspondentes camadas de indicador de qualidade, seis camadas de Emissividade e sete camadas de observação (WAN, 2013; WAN et al., 2015; USGS, 2018).

A carência de estudos empregando esta metodologia de interesse prático e científico, para a área de estudo, justifica o presente trabalho que tem como objetivo identificar e avaliar os padrões espaciais e temporais de variabilidade do uso e ocupação do solo e a relação com a possível elevação da temperatura noturna, nas escalas interanual.

### **3. Hipóteses**

A degradação da vegetação nativa em Arcoverde – PE acarretou no aumento da temperatura da superfície local e, conseqüentemente, a temperatura noturna.

## **4. Objetivo Geral**

Avaliar a dinâmica de mudança do uso do solo e da cobertura vegetal no período de 1985 a 2015, assim como a dinâmica espaço-temporal da temperatura da superfície, no município de Arcoverde, Sertão de Pernambuco visando subsidiar a gestão ambiental.

### **4.1. Objetivos específicos**

- a) Comparar cartas de uso e cobertura vegetal no período entre 1985 e 2015, para identificar e analisar as alterações que o ambiente sofreu ao longo de 30 anos;
- b) Classificar através de técnica dos quantis (PINKAYAN, 1966) a distribuição da precipitação em anos muito secos, secos, normais chuvosos e muito chuvosos.
- c) Produzir cartas e analisar o índice de vegetação de diferença normalizada em anos muito secos, secos, normais, chuvosos e muito chuvosos.
- d) Verificar as alterações na temperatura noturna da superfície, no período entre 2000 - 2017, em relação à média histórica local.
- e) Realizar a previsão da temperatura noturna da superfície no período 2019 – 2029.
- f) Verificar as alterações na previsão da temperatura noturna da superfície, no período entre 2019 - 2029, em relação à média histórica local.

## 5. Revisão de literatura

### 5.1. Sertão de Pernambuco

A mesorregião do Sertão Pernambucano é formada por quatro microrregiões (Araripina, Salgueiro, Pajeú e Sertão do Moxotó), detendo um total de 41 Municípios. A vegetação predominante nessa mesorregião é a do Bioma Caatinga, que possui três estratos: arbóreo (8 a 12 m), arbustivo (2 a 5 m) e herbáceo (abaixo de 2 m) e caracteriza-se geralmente pela presença de árvores e arbustos densos, baixos, retorcidos, de aspecto seco, de folhas pequenas e caducas e raízes muito desenvolvidas, grossas e penetrantes (MELO, 2011).

A mesorregião, segundo a classificação climática de Köppen, está inserida em uma região com clima do tipo BSw'h' e BSw'h' quente e seco. O clima é tropical tendendo a seco, isso se dá em função da irregularidade da ação das massas de ar (tropical e equatorial). O tipo climático BSw'h' se caracteriza como clima semiárido, quente, tipo estepe, com estação chuvosa retardada para outono. O mês mais frio apresenta temperatura superior a 18°C. As mesmas características se observam para o tipo climático BSw'h', no entanto, este tem a estação chuvosa no verão, apresentando um inverno seco e um verão que concentra toda a precipitação anual (ASSIS et al., 2012).

O início das chuvas no Sertão de Pernambuco ocorre em dezembro (extremo oeste) e está associado às Frentes Frias e aos Vórtices Ciclônicos de Ar Superior. A partir de fevereiro, a Zona de Convergência Intertropical começa a atuar em todo o Sertão, que já se encontra em sua estação chuvosa. Os totais pluviométricos anuais oscilam, geralmente, entre 400 e 800 mm. (PERNAMBUCO, 2006).

O Nordeste do Brasil (NEB) atravessa ao longo dos anos uma variabilidade natural do clima, alternando anos de chuvas extremas a secas severas (FERREIRA e ALVES, 2015) que associada à ação antropogênica pode mudar totalmente as características do clima de uma determinada região. Estudos regionais de temperatura na América do Sul mostram uma tendência de aquecimento, notadamente com noites mais quentes do que em períodos anteriores (HAYLOCK et al., 2006, COLLINS et al. 2009).

Vicente et al. (2005) com dados observados sobre o Brasil mostraram em seus resultados mais relevantes que houve uma tendência positiva de aumento

das temperaturas mínimas sobre o Nordeste do Brasil, indicando noites mais quentes do que observadas em anos passados.

Haylock et al. (2006) analisando a precipitação sobre a América do Sul, relacionando os dados do Vincent et al (2005) com a temperatura da superfície do Mar, mostram que houve tendência positiva em casos extremos de precipitação no Sul e Sudeste do Brasil, em 11 dos 12 índices anuais de chuva diária, enquanto no Nordeste do Brasil, a tendência foi negativa.

Penereiro e Meschiatti (2017) buscando identificar tendências climáticas em séries anuais de junho e dezembro de precipitação pluvial e temperaturas máxima, mínima e média do ar de 243 localidades espalhadas pelo Brasil. E verificaram a ocorrência do aumento nas temperaturas, principalmente nas regiões Norte e Sudeste, no sul da região Nordeste e no norte da região Sul, em particular em localidades que na última década do século passado e na primeira década deste século acompanharam um aumento da zona urbana, seguido de desmatamentos e desenvolvimento agropecuário e industrial.

A degradação das terras, principalmente nas regiões áridas, semiáridas e subúmidas secas, é um processo ocasionado por vários fatores, incluindo as variações climáticas e as atividades humanas, que podem desencadear processos de desertificação (BRASIL, 1998). A utilização da Caatinga no semiárido Pernambucano se fundamenta principalmente em processos extrativistas para a obtenção de produtos de origem pastoril, agrícola e madeireiro, o que ocasiona a atuação sobre a cobertura vegetal e produz desequilíbrio no meio ambiente, pois remove a proteção do solo (SÁ et al., 2011).



## 5.2. Bioma Caatinga

Bioma é um conjunto de vida (vegetal e animal) constituído pelo agrupamento de tipos de vegetação contíguos e identificáveis em escala regional, com condições geoclimáticas similares e história compartilhada de mudanças, o que resulta em uma diversidade biológica própria. O bioma Caatinga (Figura 1) possui uma área de aproximadamente, 844,453 km<sup>2</sup> e cobre cerca de 9,2% do território brasileiro (IBGE, 2018).

Segundo o Leal et al. (2005) a caatinga é formada por um mosaico de arbustos espinhosos e florestas sazonalmente secas, esta que de acordo com IBGE (2018) se estende pela totalidade do estado do Ceará (100%) e mais de metade da Bahia (54%), da Paraíba (92%), de Pernambuco (83%), do Piauí (63%) e do Rio Grande do Norte (95%), quase metade de Alagoas (48%) e Sergipe (49%), além de pequenas porções de Minas Gerais (2%) e do Maranhão (1%).



Figura 1. Biomas do Brasil. Fonte: IBGE, 2018.

A Caatinga é o único grande ecossistema natural brasileiro cujos limites estão inteiramente restritos ao território nacional (SILVA et al., 2003; SANTOS et al., 2017), e promover a conservação de sua biodiversidade não é uma ação simples, uma vez que grandes obstáculos precisam ser superados. O primeiro deles é a falta de um sistema regional eficiente de áreas protegidas, devido à pouca disponibilidade de Unidades de Conservação de proteção integral do

bioma Caatinga (SILVA et al., 2002). Segundo Cavalcanti e Araújo (2008), a utilização da Caatinga se fundamenta principalmente em processos extrativistas para a obtenção de produtos de origem pastoril, agrícola e madeireiro.

A necessidade de um programa adequado de manejo e a restauração da vegetação são elementos fundamentais para a recuperação da área objeto de intervenção Caatinga (SILVA et al., 2003). Segundo Moreira (2003), o sensoriamento remoto é um exemplo de ferramenta possível de ser utilizada para realizar o levantamento e o reconhecimento da cobertura dos solos, tendo como grande vantagem a possibilidade de obtenção de informações periódicas, além de possibilitar a visão de uma ampla área de estudo e o levantamento do uso do solo em áreas de difícil acesso.

Estudos envolvendo o uso do sensoriamento remoto como ferramenta que auxilia o monitoramento da Caatinga vem sendo realizado, como é o caso de Silva et al. (2009), Silva et al. (2010) e Cunha et al. (2012) que estudaram a dinâmica da vegetação desse bioma, por meio do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) e Sá et al. (2011) e Costa (2014) utilizaram para avaliar os processos de desertificação da Caatinga na região do Araripe Pernambucano.

### **5.3. Uso e Ocupação do Solo**

Segundo Feltran-Filho et al. (1989), o uso do solo nada mais é que a forma de como o solo está sendo utilizada pelo homem. Esse uso pode provocar alguns danos ao meio ambiente, como erosão intensa, inundações, assoreamento dos reservatórios e cursos d'água.

A identificação e classificação do uso do solo são fundamentais no conhecimento do ambiente, assim como no desenvolvimento de técnicas voltadas para a obtenção e manutenção dessas informações; estudos em bacias hidrográficas podem utilizar as imagens orbitais de alta resolução espacial na obtenção de classes de uso e ocupação do solo. Essas imagens permitem a obtenção de resultados mais precisos na identificação dos mais diversificados elementos da composição urbana (VAEZA et al., 2010).

É essencial que a escolha da imagem e da metodologia de classificação do uso do solo deve ocorrer de acordo com as necessidades do usuário e com as características da região (SILVA et al., 2005).

O desenvolvimento de um sistema para classificar dados sobre o uso do solo, obtidos a partir da utilização de técnicas de sensoriamento remoto, tem sido muito discutido, entretanto o tipo e a quantidade de informações sobre o uso da terra dependem da resolução espacial, radiométrica, espectral e temporal dos diferentes sistemas de sensores utilizados; assim como o tamanho da área mínima capaz de ser descrita como pertencente a uma determinada categoria (classe) de uso do solo que depende da escala e resolução dos dados originais, além da escala de compilação e da escala final de apresentação (VAEZA et al.,2010).

Segundo Silva (2014), o algoritmo MAXVER se destaca como o modelo matemático de classificação mais utilizado no mapeamento temático. De modo geral, o computador vai calcular o valor de determinado pixel e avaliar suas características para determinar sua classe, com base na distribuição da mesma.

O resultado de uma classificação utilizando o método MAXVER consiste na obtenção das amostras obtidas nas chamadas áreas de treinamento, onde são utilizadas para o ajuste de uma função de densidade de probabilidade para cada classe baseada na suposição que a mesma é normal ou Gaussiana (OLIVEIRA, 2010).

Pilz e Strobl (2005) utilizaram ortofotografias aéreas digitais coloridas na escala 1:1000, para o estudo das superfícies impermeabilizadas em bacia hidrográfica e definiram as seguintes classes: telhados, terrenos impermeabilizados e não impermeabilizados.

Coelho et al. (2014) utilizando imagens Landsat 5, realizou uma análise espaço-temporal detalhada da dinâmica do uso e da cobertura do solo (UCS) da bacia hidrográfica do riacho São Paulo, localizada na região semiárida brasileira e constatou que as classes UCS da bacia passaram por uma grande transição entre os anos de 1991 e 2010, com a progressiva substituição das áreas de caatinga pelas de pastagem/agricultura.

Messias e Ferreira (2017) monitorando as áreas de expansão ou retração do uso agrícola do Parque Nacional da Serra da Canastra (PNSC), utilizando perfis espectro-temporais gerados por produtos NDVI MODIS, entre os anos de 2000 e 2015, mostraram o avanço das culturas temporárias, permanente (café) e silvicultura sobre as áreas de campo.

As técnicas de sensoriamento remoto e de geoprocessamento tornaram-se ferramentas úteis e indispensáveis no monitoramento da dinâmica de uso e

ocupação do solo, pelo fato de propiciar maior frequência na atualização de dados, agilidade no processamento e viabilidade econômica (Vaeza et al.,2010), e Collares (2000) ressalta que, com o advento de recursos de sensoriamento remoto mais aperfeiçoado, os levantamentos das informações tendem a ser mais precisos e rápidos.

#### **5.4. Índices de Vegetação**

O uso de índices de vegetação para caracterizar e quantificar determinado parâmetro biofísico de culturas agrícolas tem duas grandes vantagens: permite reduzir a dimensão das informações multiespectrais, através de um simples número, além de fornecer um dado altamente correlacionado aos parâmetros agronômicos (WIENGAND et al.,1991; TUCKER, 1979).

Diferentes métodos têm sido desenvolvidos para estimar produtividades de culturas por meio de dados de satélite. De acordo com Epiphanyo et al. (1996) e Jensen (2009) a utilização de índices de vegetação como o Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI), Índice de Vegetação Ajustado ao Solo (SAVI) e Índice de Área Foliar (IAF) facilita a obtenção e modelagem de parâmetros biofísicos das plantas, como a área foliar, biomassa e porcentagem de cobertura do solo, com destaque para a região do espectro eletromagnético do infravermelho, que pode fornecer importantes informações sobre a evapotranspiração das plantas.

O NDVI desenvolvido por Rouse (1973) e usado por Tucker (1979), com o objetivo de amenizar a interferência do solo, a influência atmosférica e as variações zenitais do Sol, apesar de sua característica de saturação em casos de vegetação com alta densidade e em multicamadas, nos é muito útil para a estimativa da quantidade de água na folha, e para o cálculo do índice de área foliar, além de outros parâmetros (BRANDÃO et al, 2005).

SILVA et al. (2011) e COSTA (2014) ressaltam que o NDVI pode ser utilizado como um parâmetro indicador da dinâmica espaço temporal de diferentes ocupações do solo, em virtude da sua elevada sensibilidade de detecção envolver radiação visível e infravermelha em superfície.

Dentre as variações desenvolvidas no NDVI, destaca-se ainda SAVI, proposto por Huete (1988). Esse índice otimizou a resposta da vegetação em relação às interferências do solo, em situações de cobertura vegetal baixa,

mantendo o valor dentro do intervalo que vai de -1 a +1 e, acrescido de um fator correspondente ao solo.

O fator L varia com a característica da reflectância do solo (calor e brilho) e vai variar dependendo da densidade da vegetação que se deseja analisar.

A fitomassa, principalmente arbórea, é informação indispensável em atividades econômicas e ambientais, como políticas de uso do recurso madeireiro, manejo florestal, estudos de ciclagem de nutrientes, sequestro de carbono, entre outros (Silva et al., 1993; Foody et al., 1996). Como sua obtenção, de forma destrutiva, constitui-se na etapa mais laboriosa de um inventário florestal, considerando-se ainda o dano ambiental, torna-se necessária a pesquisa de métodos não destrutivos para sua mensuração.

Um método que vem sendo estudado (Santos et al., 1998; Qi et al., 2000), baseia-se em relacionamentos empíricos entre a biomassa e a radiância, medida por sensores orbitais, podendo-se utilizar como variável intermediária o índice de área foliar (IAF).

Definido por Watson (1947) como a área foliar integrada do dossel por unidade de superfície projetada do solo ( $m^2/m^2$ ), o índice de área foliar (IAF), pode ser considerado uma variável importante na compreensão da dinâmica da vegetação em ecossistemas terrestres.

Esse índice é um componente importante de modelos destinado a estudo dos ciclos biogeoquímicos de um ecossistema, por determinar o microclima abaixo e acima do dossel, controlar a interceptação da água, extinção da radiação e as trocas gasosas de água e carbono (BIUDES et al., 2014; DANELICHEN et al. 2016).

## 5.5. Índices de Seca

A seca é um dos fenômenos naturais que afeta várias partes do mundo e provoca impactos sociais, econômicos e ambientais. Esse fenômeno corresponde à característica temporária do clima de uma região decorrente de precipitações abaixo da normal climatológica em certo período (MACEDO et al. 2010).

Nos últimos anos os estudos sobre as precipitações nas escalas regional e local tem sido responsável por uma significativa ampliação dos trabalhos científicos na área da meteorologia e climatologia (PAMPUCH e FERRAZ, 2012; SILVA et al. 2012; CHECHI e SANCHES, 2013).

Segundo Macedo et al. (2010), ao longo dos anos, buscando contornar os efeitos das estiagens, esforços tem sido concentrado no sentido de desenvolver índices de seca capazes de não apenas detectar longos períodos de estiagens, como também os classifica em termos de intensidade.

Os índices de seca são normalmente funções contínuas de chuva e/ou temperatura, descargas de rios ou outras variáveis mensuráveis. Os dados de chuvas são as observações mais largamente utilizadas para composição desses índices, devido ao registro histórico de longo prazo frequentemente disponível (NEVES, 2010; BATISTA JUNIOR, 2012).

De acordo com Azevedo e Silva (1994) o índice mais conhecido na literatura é o índice de severidade de seca de Palmer - ISSP (Palmer, 1965), muito embora existam vários outros, tais como: índice de Bhalme & Mooley - IBM (Bhalme & Mooley, 1980); índice de Anomalia de Chuva - IAC (Rooy, 1965); Classificação Anômala da Precipitação - CAP (JANOWIAK et al., 1986); etc.

Azevedo e Silva (1994) evidenciam que os índices IBM e CAP assumem que a precipitação é o fator mais importante na classificação do tempo. Já o ISSP inclui na sua determinação, as taxas de umidade no solo e na planta, medindo, portanto, o grau de severidade da seca e tem sido amplamente utilizado, principalmente durante a estação de cultivo dos Estados Unidos da América. Entretanto, o índice de Palmer apresenta várias limitações, particularmente por ser baseado no balanço hídrico, o qual assume que a capacidade de armazenamento de água no solo não depende da variação estacional ou anual da cobertura vegetal e do desenvolvimento radicular (ALLEY, 1984), o que é particularmente importante em áreas cultivadas.

Entre os índices capazes de detectar anomalias de precipitação para uma região está o método dos Quantis usado por XAVIER & XAVIER, (1984) para a classificação de anos secos e chuvosos para o estado do Ceará. A “técnica dos quantis” foi empregada no trabalho pioneiro de Pinkayan (1966) junto à “Colorado State University”, em Fort Collins-Colorado, destinado a avaliar a ocorrência de anos secos e chuvosos sobre extensas áreas continentais; em especial na área continental dos Estados Unidos. Este pesquisador procurava responder a duas perguntas básicas: 1. Se podiam ser identificados padrões para a distribuição de anos secos e úmidos sobre toda aquela área; 2. se esses padrões seriam sistemáticos e, principalmente, se apresentariam alguma regularidade (PINKAYAN, 1966; XAVIER et al., 2007).

A Agência Pernambucana de Águas e Clima responsável pelo monitoramento e previsão do tempo e clima em Pernambuco, diagnosticou e categorizou a ocorrência do evento de seca entre julho e dezembro de 2016, através do método dos quantis encontrando a categoria muito seca em todas as mesorregiões do Sertão, exceto no Alto Sertão em que dezembro registrou normalidade (APAC, 2017).

## **5.6. Sensoriamento Remoto**

Sensoriamento remoto é uma tecnologia que permite a obtenção de imagens e dados da superfície terrestre, por intermédio da captação e do registro da energia refletida e/ou emitida pelos objetos terrestres (MORAIS, 2002), sendo entendido como o conjunto de atividades que permite a obtenção de informações de objetos que compõem a superfície terrestre sem a necessidade de contato direto com os mesmos (RUBERT e MACIEL, 2015).

A energia eletromagnética refletida e emitida pelos objetos terrestres é a base de dados para todo o processo de sua identificação, pois ela permite quantificar a energia espectral refletida e/ou emitida pelos objetos, e assim avaliar suas principais características. Logo, os sensores remotos são ferramentas indispensáveis para a realização de inventários, de mapeamento e de monitoramento de recursos naturais (MORAIS, 2002).

Dessa forma, grandes avanços em estudos da agrometeorologia, bem como aplicação em superfícies com diferentes tipos de cobertura, podem ser

utilizados para estimativas do saldo de radiação e suas aplicações (GIONGO, 2008).

Segundo Conrad et al. (2007) as técnicas de sensoriamento remoto são altamente satisfatórias para classificar a cobertura do solo em escalas regional e global, e por delinear áreas irrigadas ou padrões de uso do solo em regiões agrícolas. Fortes (2003) evidencia que a estimativa da biomassa vegetal natural ou das culturas agrícolas é uma das mais promissoras aplicações do sensoriamento remoto.

No Brasil as técnicas de sensoriamento remoto têm sido utilizadas para o Mapeamento de Cobertura Vegetal dos Biomas Brasileiros, inserido no Projeto de Conservação e Utilização Sustentável da Diversidade Biológica Brasileira (PROBIO). Com base nesse projeto, o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais realizou o monitoramento do bioma da Caatinga através do uso de imagens de satélites para a identificação de áreas antrópicas entre os anos de 2002 a 2008 (MMA e IBAMA, 2010).

Bezerra et al. (2014) salientam que a necessidade de modelagens de parâmetros (hídricos, edáficos e vegetativos) da superfície e da atmosfera, aumentam devido as mudanças climáticas e a presença de ação antrópica, voltada ao uso e ocupação do solo.

Segundo Gómez et al. (2011) as técnicas de sensoriamento remoto têm sido utilizadas em estudos temporais de análise das mudanças da cobertura e uso do solo. No Brasil são utilizadas principalmente no monitoramento ambiental (SILVA et al., 2009). Carreiras et al. (2006) e Amiri et al. (2009) evidenciam que existem diversos sensores remotos com resoluções espaciais, temporais e espectrais diferentes, que vêm sendo utilizados para compreensão desses processos.

Cunha et al (2012) constataram que o principal interesse dessas aplicações é compreender as mudanças ocorridas na paisagem ao longo do tempo, e que as imagens do sensor Thematic Mapper (TM), do Satélite Landsat 5, podem subsidiar análises ambientais, uma vez que sua resolução espacial média (30 m) atende às necessidades de trabalhos desta natureza.

O SEBAL (Surface Energy Balance Algorithm for Land) é um modelo de processamento de imagem de satélites, que define o balanço de energia à superfície, pixel a pixel, para o momento do imageamento, por exigir poucos dados de superfície, o que o faz o mais utilizado na atualidade em diversas



regiões do mundo (BASTIAANSEN, 2000; SILVA e BEZERRA, 2006; UDA, 2012).

O balanço de energia consiste de etapas importantes que podem ser avaliadas de forma isolada ou agrupada com os demais componentes, visto que uma variável obtida pode ser de grande valia para um estudo ambiental, como é o caso da obtenção dos índices de vegetação ou da temperatura da superfície. Sendo de fato, o balanço de energia de fundamental importância para o acompanhamento das alterações ocorridas ao longo dos anos na superfície terrestre e sua interação com a atmosfera (GOMES et al., 2013).

Arraes et al. (2012), sinalizam que, torna-se possível quantificar as implicações da mudança do uso da terra por meio das variações temporais das componentes do balanço de energia, uma vez que, as alterações no padrão do uso do solo, promovem mudanças na partição de tais componentes.

De acordo com Gomes et al., (2013) o balanço de energia é um dos mecanismos do sistema solo-atmosfera mais afetado pela mudança do uso e cobertura do solo.

Nesse sentido, avaliar alterações nos componentes dos balanços de radiação e de energia ganha a cada dia mais importância em face às alterações climáticas em curso no nosso planeta (SILVA et al., 2010). Além disso, a substituição do uso e cobertura do solo têm implicações ambientais nos níveis locais e regionais (WENG, 2001). Arraes et al. (2012) enfatizam que, em uma escala global, sobretudo nos trópicos, as mudanças nos padrões de uso da terra e na cobertura vegetal estão ocorrendo em passos acelerados.

De acordo com Gomes et al. (2013), a modificação do uso e da cobertura do solo tem contribuído com oscilações importantes nos elementos meteorológicos referentes ao balanço de energia e, conseqüentemente, na temperatura da superfície. Arraes et al. (2012) e Armani et al. (2015), descreve o albedo da superfície como um elemento de controle na quantidade de energia que é absorvida pela superfície, de modo que alterações no mesmo afetam diretamente o balanço final de radiação e energia.

Arraes et al. (2012) e Gomes et al. (2013) salientam que a retirada da cobertura vegetal de uma área tem como consequência a redução de fluxo de calor latente e o aumento do fluxo de calor sensível, resultando em aumento nas temperaturas da superfície e do ar. Essas alterações no balanço de energia

resulta em mudanças nos valores de temperatura e umidade relativa do ar, que nada mais são do que respostas deste balanço (ARMANI et al., 2015).

No Brasil, o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), através da sua Divisão de Processamento de Imagens (DPI) desenvolveu um software livre e de código aberto denominado SPRING (Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas) que constitui um Sistema de Informações Geográficas (SIG) em seu estado-da-arte, com funções de um poderoso processador de imagens, oferecendo um ambiente para álgebra de mapas, conhecido como LEGAL (Linguagem Espacial de Geoprocessamento Algébrico), excelente para a elaboração de algoritmos para gerenciar processos.

### **5.6.1. Satélites LANDSAT**

A série de satélites LANDSAT (*Land Remote Sensing Satellite*) teve início na década de 60, como parte de um projeto da Administração Nacional de Aeronáutica e Espaço (NASA). O primeiro satélite foi lançado em 1972, o ERTS-1, sendo posteriormente chamado de LANDSAT 1. A série teve sequência com os LANDSAT 2, 3, 4, 5, 7 e 8. O principal objetivo do sistema LANDSAT foi o mapeamento multiespectral em alta resolução da superfície da Terra (USGS, 2018).

Carvalho et al. (2016) utilizaram imagens dos satélites LANDSAT 5 e 8, em uma escala temporal de 30 anos, para mapeamento da vegetação nativa e uso da terra em Diorama, Goiás, e constataram uma significativa perda da cobertura vegetação nativa, bem como uma provável diminuição no estoque de água da paisagem.

Guimarães e Silva (2015) realizaram o monitoramento da área urbana de Porto Velho - Rondônia ao longo de 27 anos, utilizando imagens do satélite LANDSAT 5 dos anos de 1985 a 2012 e por meio da interpretação das imagens foi possível realizar uma análise entre o avanço da degradação nas Áreas verdes e o crescimento populacional.

### 5.6.2. Sensor MODIS

O MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*) é o principal instrumento presente nos satélites *Terra* e *Aqua* lançados em 1999 e 2002, respectivamente. Ambos integram o sistema de observação da Terra da NASA (EOS). Desde fevereiro de 2000, o MODIS vem gerando uma série de produtos da superfície terrestre para atender as demandas da agência de Ciência da Terra da NASA (MODIS, 2017).

A órbita do satélite Terra é sincronizada com a órbita do satélite *Aqua* para que passe de norte a sul na linha do equador na parte da manhã, enquanto que o *Aqua* passe de sul para norte no período da tarde. O Terra MODIS e o *Aqua* MODIS percorrem a superfície terrestre entre 1 a 2 dias, gerando alta resolução temporal. Além da resolução temporal, este sensor possui uma série de características melhoradas em relação a outros sensores como, por exemplo, melhor resolução espectral e radiométrica (MODIS, 2017).

O lançamento dos satélites TERRA e AQUA marcou uma nova era do monitoramento da atmosfera, oceanos e continentes da Terra fornecendo observações globais e esclarecimentos científicos da mudança da cobertura do solo, produtividade global, variação e mudança do clima, riscos naturais e o ozônio da atmosfera (AQUINO et al., 2013).

O TERRA opera numa órbita polar e síncrona com o Sol, com uma inclinação de aproximadamente 98,2 graus, período orbital de 98,88 minutos e hora do cruzamento na descendente às 10:30 am. A altitude média é 705 km e a velocidade no solo é 6,7 km/seg. A distância entre órbitas adjacentes é 172 km e o ciclo de recorrência é de 16 dias no equador (233 órbitas). O AQUA opera numa órbita polar e síncrona com o Sol, com uma inclinação de aproximadamente 98,2 graus, período orbital de 98,8 minutos e hora do cruzamento na descendente às 13:30 pm. A altitude média é 705 km. Dentre os sensores destes satélites merecem destaque o ASTER e o MODIS (ROSA, 2011).

O sentido dos produtos gerados pelo sistema MODIS está, basicamente, na quantificação e detecção das mudanças da cobertura terrestre, e nos processos naturais e antrópicos, auxiliando assim, nos diversos modelos regionais e globais existentes (FERREIRA, 2016).

MOD11/MYD11 é uma das variáveis chaves necessárias para descrever os processos da superfície terrestre, sendo extremamente requisitados para diversos estudos climáticos, hidrológicos, ecológicos e biológicos (LATORRE et al., 2003). Cita-se, como exemplo de processos hidrológicos, a evapotranspiração, que é altamente sensível às flutuações da temperatura da superfície.

Esta variável utiliza os dados dos níveis 2 e 3 com o algoritmo Land Surface Temperature (LST) e a emissividade recuperados dos dados do a bordo do satélite AQUA, com resoluções espaciais de 1 Km e 5 Km da superfície terrestre em condições atmosféricas adequadas (céu limpo). O algoritmo LST é utilizado para recompor “pixels” com emissividades conhecidas (GUILLEVIC et al., 2017).

A precisão do produto MODIS LST diário na resolução de 1 km gerada pelo algoritmo de janela dividida generalizada foi validada em 11 casos de céu claro com dados de medição in situ coletados em campanhas de campo em 2000 e 2001 (WAN et al., 2002). A precisão do MODIS LST é melhor que 1K na faixa de 263K (-10 °C) a 322K (49°C) para coluna atmosférica de vapor d'água variando de 0,4 a 3,0 cm. (GUILLEVIC et al., 2017; WAN, 2014; WAN, 2013)

Dois métodos foram estabelecidos para validar os dados MODIS LST: um método convencional baseado em temperatura e um método baseado em radiância (WAN e LI, 2008).

O Método baseado na temperatura é o método preferido, no entanto, requer medições do solo em locais termicamente homogêneos concomitantes a hora de passagem do satélite (HULLEY et al., 2012; LOPES et al., 2004), muitos experimentos de campo dedicados foram realizados para avaliar a precisão de diferentes produtos LST em diferentes superfícies, incluindo lagos e terras agrícolas (GUILLEVIC et al., 2017; LI et al., 2014).

O método baseado em Radiância, é mais fácil de implementar dia e noite em um grande número de locais, no entanto, é suscetível a erros no correção atmosférica e incertezas de emissividade (HULLEY et al., 2012). Não requer medições in situ, mas exige estimativas precisas de valores de emissividade de superfície específicos do canal, bem como perfis de temperatura atmosférica e vapor de água coincidentes com a hora de passagem do satélite (COLL et al., 2009).

Os produtos MODIS MOD11 (Terra) e MYD11 (Aqua) Coleção 6 (C6) foram validados no Estágio 2 através de uma série de campanhas de campo realizadas em 2000-2007, em vários locais e períodos de tempo através de estudos de validação baseados em radiância.

O fato do sensor MODIS só apresentar imagens a partir do ano 2000, se caracteriza como uma desvantagem na pesquisa devido à ausência de dados de temperatura nos 5 primeiros anos analisados. No entanto, por fornecer dados de temperatura noturna da superfície, o mesmo se torna peça importante no desenvolver do estudo, uma vez que, nas imagens Landsat os dados de temperatura dizem respeito ao horário diurno.

Lopes e Moura (2013), utilizando os produtos MOD13 e MOD11, realizaram uma classificação supervisionada da cobertura vegetal e delimitaram áreas susceptíveis a desertificação avaliando o grau de degradação no município de Belém do São Francisco, PE. e concluíram que as áreas de solos exposto e de vegetação degradada são bastante expressivas e que as imagens do sensor MODIS podem ser utilizadas para produzir diferentes índices e contribuir na avaliação de áreas em processo de desertificação.

### **5.6.3. Sistema de Processamento de Informações Georeferenciadas**

O Sistema de Processamento de Informações Georeferenciadas (SPRING) é um SIG (Sistema de Informações Geográficas) no estado-da-arte com funções de processamento de imagens, análise espacial, modelagem numérica de terreno e consulta a bancos de dados espaciais (INPE, 2018). É um software de domínio público desenvolvido pelo INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) (GALO et al., 2002), baseado num modelo de dados orientados a objetos e opera com dados vetoriais e matriciais. Possui também uma linguagem de programação de dados espaciais, a LEGAL (Linguagem Espaço-Geográfica baseada em Álgebra). A base de dados, assim como a interface com o usuário é a mesma, independente do hardware utilizado (SALLES et al., 1998).

O SPRING é um projeto do INPE / DPI (Divisão de Processamento de Imagens) com a participação da EMBRAPA/CNPTIA (Centro Nacional de Pesquisa Tecnológica em Informática para Agricultura), do IBM Brasil (Centro Latino-Americano de Soluções para Ensino Superior e Pesquisa), TECGRAF PUC Rio (Grupo de Tecnologia em Computação Gráfica da PUC-Rio) e da

PETROBRÁS/CENPES (Centro de Pesquisas "Leopoldo Miguez"). Desenvolvido com os objetivos de construir um SIG de rápido aprendizado para aplicações na Agricultura, Gestão Ambiental, Geografia, Geologia, Planejamento Urbano e Regional amplamente acessível para a comunidade brasileira; de fornecer um ambiente unificado de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto para aplicações urbanas e ambientais e de ser um mecanismo de difusão do conhecimento desenvolvido pelo INPE e seus parceiros, sob forma de novos algoritmos e metodologias (INPE, 2018).

SALLES et al., (1998), utilizaram o software SPRING para realizar o monitoramento da cobertura vegetal e uso do solo da reserva indígena Caarapó, para dar subsídios a uma melhor utilização, recuperação e conservação do potencial de seus recursos naturais, e observaram que o software SPRING, obteve um bom desempenho nas atividades necessárias à execução do estudo.

Com base na interpretação dos dados analíticos de campo e da imagem de satélite Demattê et al. (2005), ajustaram os limites das unidades de mapeamento, e transformaram para o formato vetorial (digitalizado) no software SPRING que, juntamente com os talhões, estradas e composições coloridas geraram o mapa de solos em nível semi-detalhado. E concluíram que a metodologia empregada na coleta de dados espectrais de satélites mostrou-se eficiente, tornando possível discriminar os solos da região de Paraguaçu Paulista e, assim, agilizar a confecção de mapas de solos.

#### **5.6.4. Plataforma Series View**

O Laboratório de Sensoriamento Remoto Aplicado à Agricultura e Floresta (LAF) contém a plataforma Series View que disponibiliza uma ferramenta de visualização das séries temporais de imagens de sensoriamento remoto.

Segundo Freitas et al. (2011), esta ferramenta foi desenvolvida dentro do conceito de um Laboratório Virtual de Sensoriamento Remoto para dar suporte a estudos e análises de mudança de uso e cobertura da terra.

Estão disponíveis as séries temporais EVI2-MODIS, precipitação acumulada mensal do TRMM e dados de Temperatura da superfície do sensor MODIS (TERRA e AQUA), para quaisquer coordenadas geográficas da América do Sul, a partir do ano de 2000. As séries estão integradas às funcionalidades

do globo virtual do Google Maps, como a (Figura 2) demonstrando a interface da plataforma.



Figura 2. Plataforma Series View.

Fonte: Series View.

Na Figura 3 encontra-se demonstrada a representação gráfica das curvas de temperaturas diurnas e noturnas do sensor MODIS das plataformas Terra e Aqua no Series View.

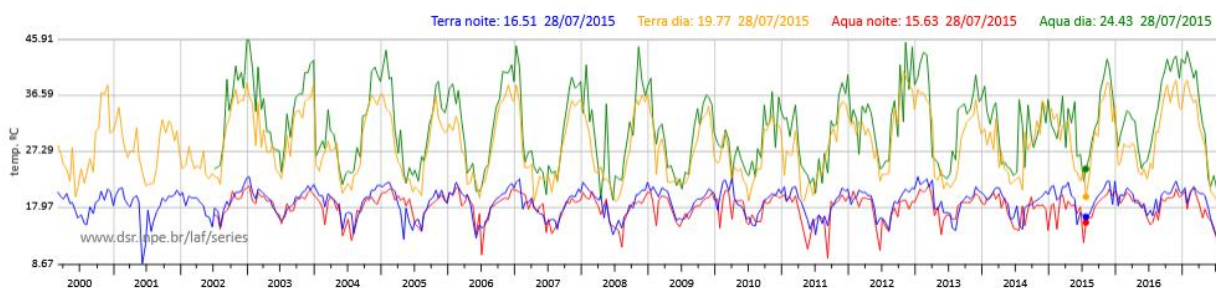


Figura 3. Gráfico das curvas de temperaturas da superfície terrestre (diurnas e noturnas do sensor MODIS) das plataformas Terra e Aqua no Series View no período entre 2000 e 2017.

Fonte: <http://www.dsr.inpe.br/laf/series/mapa.php>

## 5.7. Técnica dos Quantis

A técnica dos quantis é considerada uma técnica simples e eficiente (SOUZA et al., 2012). A vantagem desta técnica em relação ao tradicional uso da normalização pela média e desvio padrão é que este último é fortemente dependente da hipótese da normalidade da distribuição da precipitação, hipótese não necessariamente satisfeita. Portanto, os quantis são imunes a uma eventual assimetria na função densidade de probabilidades que descreve o fenômeno aleatório (XAVIER et al., 2002).

O método consiste em organizar a série de dados na ordem crescente e então é dividido em  $n$  partes, que consistem nos quantis. Os quantis são as medidas de separação para as distribuições da amostra. Um quantil de ordem  $p$  é um valor numérico que secciona a distribuição em duas partes permitindo separar uma amostra em duas massas de observações numéricas, com  $100 \times p\%$  dos elementos localizados à esquerda do quantil “amostral” e os demais  $100 \times (1-p)\%$ , à direita (MONTEIRO et al., 2012). A escolha dos quantis a serem calculados é realizada pelo próprio pesquisador, podendo variar de acordo com o objetivo da pesquisa.

Se a intenção é delimitar valores extremos de chuva para a região estudada, pode-se utilizar o quantil de ordem 5% (valores extremos inferiores para chuva acumulada em determinado ano) e o quantil de ordem 95% (valores extremos superiores para a chuva acumulada em determinado ano). De forma simples, isso significa que, de acordo com os totais acumulados em cada ano da série histórica (30 anos) e que foram ordenados do menor valor para o maior valor, 5% destes valores estarão abaixo do  $Q(0,05)$ , ou seja, representarão valores extremos de chuva (baixa pluviosidade) (MONTEIRO et al., 2012).



## 6. Metodologia

### 6.1. Área de Estudo

A região de estudo (Figura 4) foi o município de Arcoverde ( $8^{\circ}24'36''$  S e  $37^{\circ}04'48''$  W; 680,7m) e área de 323,369 km<sup>2</sup>, situado na microrregião do Sertão do Moxotó pernambucano, a 256 km da capital do Estado, Recife (IBGE, 2018). Limitando-se ao norte com o estado da Paraíba, ao sul com Buíque, a leste com Pesqueira e a oeste com Sertânia (MENDES, 2014).

Com população estimada em 73.667 pessoas e um IDH de 0,667, o município de Arcoverde em 2014, tinha um PIB de R\$ 870.063000,00 (0,96% agropecuária; 5,23% Indústria; 56,8% serviços; 37% outros). Em 2015, possuía 78,7% do seu orçamento proveniente de fontes externas (IBGE, 2018).

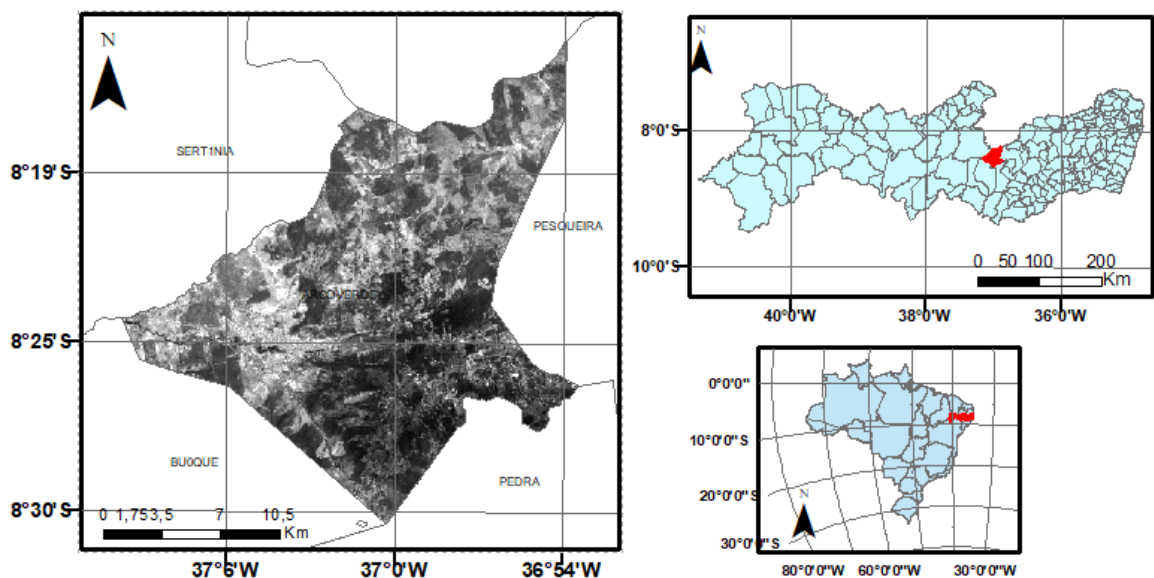


Figura 4. Localização do município de Arcoverde - PE.

O clima da região é caracterizado por apresentar temperatura média anual em torno de 22,9°C, com valores médios da temperatura máxima e mínima do ar atingindo 29,3°C e 18,2°C, respectivamente. O número de horas de radiação totaliza 2778 horas por ano, precipitação anual de 694 mm ocorrendo sobretudo nos meses mais frios (junho, julho e agosto), e a umidade relativa do ar média de 70% (Silva et al. 2014).

## 6.2. Precipitação Pluviométrica

Os dados de precipitação pluviométrica foram obtidos juntos a APAC (Agência Pernambucana de Águas e Clima) da estação meteorológica de Arcoverde (37° W 8,42° S 680,7m) (Figura 5) entre os anos de 1985 a 2015 de acordo com as recomendações da Organização Meteorológica Mundial, quanto ao intervalo de tempo mínimo necessário, 30 anos, para a caracterização climática de uma região. Dados de temperatura do ar, entre os anos de 1973 e 2017, foram adquiridos no BDMEP - Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa do Instituto Nacional de Meteorologia.



Figura 5. Estação meteorológica para aquisição de dados de Arcoverde-PE. Fonte: INMET (2018).

O balanço hídrico climatológico foi calculado em uma planilha elaborada por Rolim et al. (1998) baseada no método de Thornthwaite e Mather (1955), que exige como variável de entrada apenas a temperatura e a precipitação. Foi considerado o valor de 60 mm para a capacidade de água disponível no solo (CAD) devido os solos da Caatinga não possuírem uma grande capacidade de retenção hídrica. Assim, calculou-se o Balanço hídrico para o período normal, com base nos valores da série histórica de cada ano.

## 6.3. Temperatura da superfície

Na análise da temperatura da superfície, foram utilizados 30 pontos amostrais (Tabela 1) distribuídos na área do município (Figura 6), onde foram obtidos dados da série temporal de Temperatura da superfície do sensor MODIS (TERRA e AQUA) disposta na plataforma Series View.

Os dados pontuais de temperatura noturna da superfície foram analisados em relação à média da temperatura noturna dos produtos do sensor MODIS (MOD11C3 no período de 2000 a 2015; e MYD11C3 no período de 2002 – 2015).

Os dados observados foram organizados e tratados em planilhas do software Microsoft Office Excel. Usando esse mesmo software, os cálculos foram realizados aplicando testes estatísticos visando detectar a ocorrência de uma tendência e a variabilidade dos parâmetros climáticos de interesse, pela ferramenta (Análise de dados – Planilha de previsão) para obtenção da tendência dos dados no período 2019 - 2029.

Os métodos estatísticos de previsão por séries temporais baseiam-se na ideia de que as observações passadas da série contêm informações sobre o seu padrão de comportamento no futuro. Segundo Henning et al. (2010), a essência desses métodos consiste em identificar o padrão da série, separando-o do ruído contido nas observações individuais, e utilizá-lo para prever os valores futuros da série.

Tabela 1. Relação das coordenadas geográfica dos 30 pontos amostrados na área do município de Arcoverde-PE.

Ponto	Longitude	Latitude	Ponto	Longitude	Latitude
P1	-37° 03' 46,16"	-8° 25' 13,80"	P16	-37° 02' 05,76"	-8° 25' 40,10"
P2	-37° 02' 29,53"	-8° 23' 59,83"	P17	-37° 03' 22,01"	-8° 26' 20,60"
P3	-37° 01' 14,76"	-8° 22' 44,02"	P18	-37° 04' 06,51"	-8° 25' 46,06"
P4	-36° 59' 58,75"	-8° 21' 05,58"	P19	-37° 01' 59,82"	-8° 26' 31,30"
P5	-36° 59' 33,85"	-8° 19' 42,78"	P20	-37° 02' 45,22"	-8° 24' 58,13"
P6	-37° 04' 16,96"	-8° 23' 46,77"	P21	-36° 59' 05,69"	-8° 27' 02,21"
P7	-37° 06' 03,41"	-8° 24' 02,67"	P22	-36° 59' 26,55"	-8° 26' 12,00"
P8	-37° 08' 12,72"	-8° 24' 34,61"	P23	-36° 58' 34,07"	-8° 21' 20,82"
P9	-37° 05' 13,00"	-8° 24' 56,00"	P24	-37° 04' 03,82"	-8° 24' 29,35"
P10	-37° 04' 38,01"	-8° 26' 24,95"	P25	-37° 05' 10,29"	-8° 24' 09,40"
P11	-37° 00' 32,00"	-8° 26' 06,56"	P26	-36° 55' 35,19"	-8° 17' 33,41"
P12	-36° 58' 51,89"	-8° 26' 43,55"	P27	-36° 56' 40,70"	-8° 18' 59,02"
P13	-37° 00' 03,61"	-8° 24' 18,34"	P28	-36° 56' 44,41"	-8° 21' 11,09"
P14	-36° 58' 51,89"	-8° 22' 57,33"	P29	-36° 56' 15,98"	-8° 25' 19,31"
P15	-37° 04' 04,86"	-8° 22' 36,29"	P30	-37° 00' 59,32"	-8° 28' 31,55"

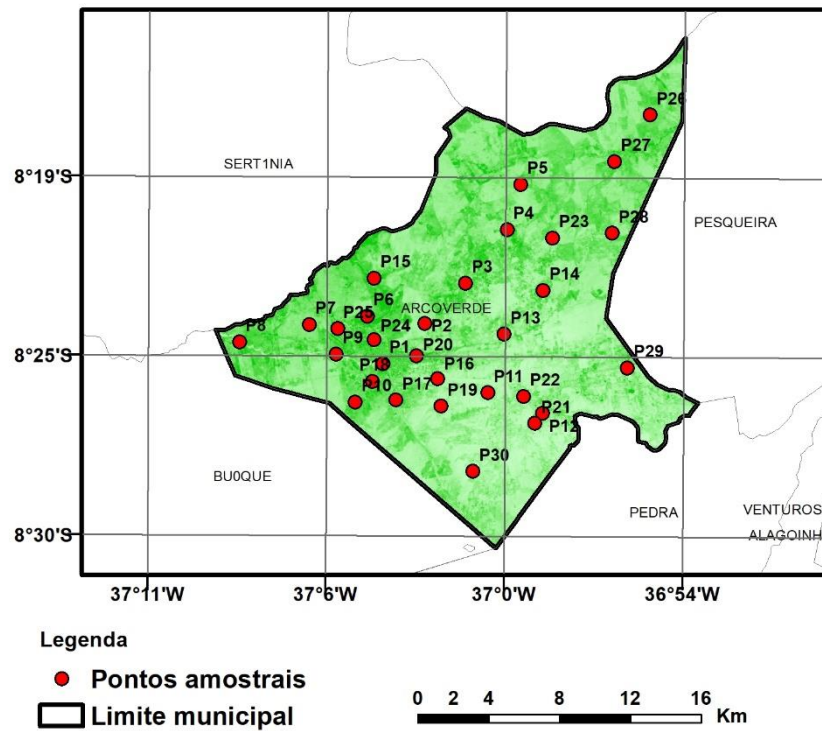


Figura 6. Localização dos pontos amostrais na área do município de Arcoverde - PE.

#### 6.4. Dados Orbitais

Foram utilizados dados de temperatura da superfície obtidos pelo sensor MODIS/Terra e Aqua (noite). Disponibilizados pelo Laboratório de Sensoriamento Remoto Aplicado à Agricultura e Floresta, com uma ferramenta para a visualização instantânea das séries temporais derivadas de imagens de sensoriamento remoto. O horário de passagem de ambos os satélites pela linha do Equador é diferenciado (22h30 para o TERRA e 1h30 para o AQUA).

As imagens dos produtos MODIS - MOD11C3 (2000 a 2015) e MYD11C3 (2002 – 2015) foram obtidas no portal “GIOVANNI” da Administração Nacional da Aeronáutica e Espaço (NASA).

As imagens utilizadas foram dos anos de 1985, 1993, 1995, 1998, 1999, 2003, 2004, 2005, 2007 e 2009 do sensor TM (Thematic Mapper) do Satélite Landsat 5, adquiridas junto à Divisão de Geração de Imagens (DGI) do Instituto

Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE, 2018), com distribuição gratuita. Diante da grande disponibilidade de imagens de diferentes datas, os critérios adotados para a escolha das imagens foram: (i) a menor cobertura de nuvens possível e (ii) pertencerem ao mesmo período do ano. Neste sentido foram selecionadas imagens compreendendo a órbita/ponto 215/66, que recobrem a área de estudo, para as datas apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2. Classificação chuvosa do ano e a correspondente datas das imagens.

Classe	Data
Muito Chuvoso	27-nov-85
Muito seco	29-ago-93
Normal	06-out-95
Muito seco	14-out-98
Seco	17-out-99
Seco	25-ago-03
Muito Chuvoso	01-ago-04
Normal	07-mar-05
Chuvoso	19-jul-07
Chuvoso	13-nov-09

Segundo CHAGAS et al. (2008), na bacia do rio Moxotó, onde se localiza o Município de Arcoverde, o período chuvoso compreende, geralmente, os meses entre março e julho, indicando que as imagens de satélite utilizadas para esta pesquisa foram obtidas, em sua maioria, no final do período chuvoso e durante o período de estiagem da região.

### 6.5. Índice de Aridez

A Organização das Nações Unidas (ONU), na década de 1980, definiu desertificação como sendo a diminuição ou destruição do potencial biológico das terras, podendo levá-las a condições semelhantes às dos desertos. Entretanto, em 1991 o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (UNEP) adotou, como conceito, a degradação das terras em áreas áridas, semiáridas e subúmida seca, devido principalmente aos efeitos antropogênicos (MARENGO et al, 2011).

O índice de aridez (IA) (UNEP, 1992) foi calculado usando a fórmula proposta pela UNEP em 1992, utilizado para a classificação de terras susceptíveis aos processos de desertificação (Equação 1).

$$IA = \frac{Pr}{ETP} \quad (1)$$

Onde:

$P_r$  - precipitação anual (mm.ano<sup>-1</sup>)

ETP - evapotranspiração potencial anual (mm.ano<sup>-1</sup>).

Assim, para determinação do índice de aridez no município de Arcoverde – PE nos 31 anos analisados, foi calculada a evapotranspiração potencial pelo método de Thornthwaite e Mather (1955), utilizando a planilha eletrônica desenvolvida por Rolim et al. (1998). A classificação dos anos, de acordo com os valores do IA, é mostrada na Tabela 3.

Tabela 3. Classificação climática de Thornthwaite (1948) conforme valores do índice de aridez (IA).

Tipos de clima	Índice de Aridez (IA)
Hiperárido	$IA \leq 0,03$
Árido	$0,03 < IA \leq 0,2$
Semiárido	$0,2 < IA \leq 0,5$
Subúmido seco	$0,5 < IA \leq 0,65$
Subúmido úmido	$0,65 < IA \leq 1,0$
úmido	$IA > 1,0$

Neste estudo foi considerada a classificação segundo o método de WISCHMEIER (1971). Na Tabela 4 está demonstrada a classificação, considerando o nível de susceptibilidade à desertificação, com o auxílio do uso do Índice de Aridez, adaptada de Matallo Júnior (2001).

Tabela 4. Classificação Wischmeier (1971), considerando o nível de susceptibilidade à desertificação, com o auxílio do uso do Índice de Aridez, adaptado de Matallo Júnior (2001).

Nível de susceptibilidade à desertificação	Índice de Aridez
Superior à moderada (SM)	$IA > 0,65$
Moderada (M)	$0,51 < IA < 0,65$
Alta (AL)	$0,21 < IA < 0,50$
Muito alta (MA)	$0,05 < IA < 0,20$
Inferior a muito alta (IMA)	$IA < 0,05$

#### 6.6. Classificação do Uso e Ocupação do Solo

No Spring 5.2.6, para a classificação da imagem quanto ao uso das terras, foram usadas as bandas 3, 4 e 5 (RGB - 543) para a classificação supervisionada através do classificador Maxver. Após o contraste e consequente melhoria da qualidade visual da imagem, esta foi salva na forma sintética.

Na classificação supervisionada foram usadas as classes de Vegetação espaçada, Mata ciliar (Brejo), Área urbana, Vegetação Natural densa, Solo exposto, Nuvem, Sombra e Corpos d'água.

Sendo adotada neste estudo a classificação MAXVER, que considera a ponderação das distâncias entre médias dos níveis digitais das classes, utilizando parâmetros estatísticos. Para que a classificação por máxima verossimilhança seja precisa o suficiente, é necessário um número razoavelmente elevado de "pixels", para cada conjunto de treinamento. Os conjuntos de treinamento definem o diagrama de dispersão das classes e suas distribuições de probabilidade, considerando a distribuição de probabilidade normal para cada classe do treinamento. (INPE, 2018).

Na etapa de Pós-Classificação foram adotados os valores de Peso (2) e Limiar (5). As sequências dos procedimentos executados na etapa de classificação por pixel são apresentadas na Figura 7:

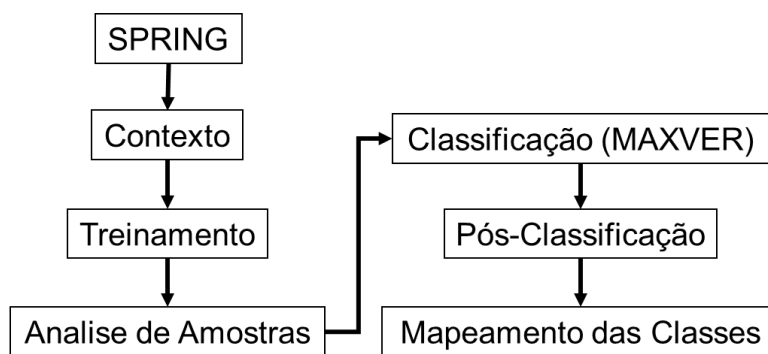


Figura 7. Fluxograma de Procedimentos metodológicos de classificação/MAXVER.

As alterações na cobertura vegetal foram analisadas com base no NDVI, mais especificamente, pode-se afirmar que a clorofila na faixa do vermelho absorve a radiação solar, resultando em baixa refletância. Por outro lado, na faixa do infravermelho próximo a morfologia interna das folhas e a estrutura da vegetação geram alta refletância da radiação solar incidente (LOURENÇO e LANDIM, 2004).

Para caracterizar a cobertura vegetal foram geradas cartas de NDVI, utilizando as imagens orbitais do sensor TM do Landsat 5, realizados no *Software* QGIS 3.4.4.

Para uma avaliação mais detalhada dos pontos que apresentaram significativas alterações, relacionadas com o uso e ocupação do solo e registro de temperaturas noturnas com alta variação comparadas a média histórica, foram utilizadas imagens da plataforma Google Earth Pro (7.3.2.).

### 6.7. Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI)

No menu Raster, foi utilizado a Calculadora Raster, para a aplicação do cálculo de NDVI, em seguida, também no menu Raster, Extração, os resultados foram cortados com base no shapefile da área de estudo.

O Índice de Vegetação da Diferença Normalizada é obtido através da razão entre a diferença das refletividades do IV-próximo ( $\rho_{IV}$ ) e do vermelho ( $\rho_V$ ), pela soma das mesmas (Equação 2).



$$NDVI = \frac{(\rho_{IV} - \rho_V)}{(\rho_{IV} + \rho_V)} \quad (2)$$

Onde,  $\rho_{IV}$  e  $\rho_V$  correspondem, respectivamente, as bandas 4 e 3 do Landsat 5 – TM.

Para diferenciação das áreas de vegetação a renderização aplicada foi a de falsa-cor, pois ela mostra a intensidade das variações ocorridas na área variando em valores de 0 a 1, ou seja, quando não houver vegetação será 0 e a máxima vegetação de acordo com o cálculo será 1.

### 6.8. Estimativa dos Quantis

Foram analisados os dados de precipitação pluviométrica de 30 anos (1985 – 2015) disponíveis nos bancos de dados da APAC e INMET referentes as estações meteorológicas de superfície da cidade de Arcoverde no estado de Pernambuco.

Para este estudo, foi realizada a mesma divisão que Pinkayan (1966) e Monteiro et al. (2012) utilizaram em seus trabalhos, resultando em 5 classes: Muito Seco, Seco, Normal, Chuvoso e Muito Chuvoso. Observa-se na Tabela 5, a classificação, probabilidade e intervalo médio de precipitação (mm) das ordens quantílicas adotadas.

Tabela 5. Classificação, Probabilidade e Intervalo Médio de Precipitação (mm) das ordens quantílicas do período de 1985 a 2015 no município de Arcoverde-PE.

Classe	Probabilidade	%	Intervalo Médio de Precipitação (mm)	
			Mínimo	Máximo
Muito seco [MS]	$X_i < Q_{0,15}$	0,15	290,8	356,2
Seco [S]	$Q_{0,15} < X_i < Q_{0,35}$	0,20	393,2	515,2
Normal [N]	$Q_{0,35} < X_i < Q_{0,65}$	0,30	540,9	732,4
Chuvoso [C]	$Q_{0,65} < X_i < Q_{0,85}$	0,20	804,2	971,5
Muito Chuvoso [MC]	$X_i > Q_{0,85}$	0,15	977,2	1182,7

Buscando facilitar a compreensão da distribuição normal utilizando o quantil para os anos estudados na série histórica, as classes extremas apresentam um intervalo relativamente menor (15%), enquanto que a classe Normal apresenta o maior intervalo (30%). Permitindo tratamento matemático mais coerente e confiável.

## 7. Resultados e Discussão

Nas Figuras 8 a 35 estão apresentados os Balanços Hídricos Climatológicos (BHC), as cartas de uso e ocupação do solo e as cartas de NDVI, que analisados conjuntamente com as tabelas (6 a 25) irão auxiliar a avaliar a dinâmica de mudança do uso do solo e da cobertura vegetal no período de 1985 a 2015, assim como a dinâmica espaço-temporal da temperatura da superfície, no município de Arcoverde, Sertão de Pernambuco.

### 7.1. Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI)

Na classificação para o coeficiente de variação (CV), os valores obtidos do NDVI (

Tabela 6) foram classificados segundo o método de Warrick (1998), Baixo para CV menor que 15%, médio para CV entre 15 e 50% e alto para CV acima de 50%. De modo que apresentaram média variabilidade (Mín. 26,3% e Máx. 49,2%). Com a maior média registrada no ano de 2007, com o valor de 0,486.

Tabela 6. Análise estatística descritiva das imagens de NDVI dos anos analisados.

Classe	Ano	Méd.	DP	Var.	CV	C. War.	Mín.	Máx.
MC	1985	0,318	0,084	0,007	26,3%	Média	-0,215	0,769
	2004	0,356	0,112	0,013	31,5%	Média	-0,567	0,831
C	2007	0,486	0,162	0,026	33,2%	Média	-1,000	0,806
	2009	0,228	0,112	0,013	49,2%	Média	-1,000	0,749
N	1995	0,305	0,100	0,010	32,8%	Média	-0,389	0,822
	2005	0,219	0,097	0,009	44,0%	Média	-0,188	0,609
S	1999	0,316	0,138	0,019	43,8%	Média	-0,326	0,813
	2003	0,344	0,130	0,017	38,0%	Média	-0,312	0,857
MS	1993	0,417	0,171	0,029	41,0%	Média	-0,264	0,856
	1998	0,296	0,112	0,013	37,9%	Média	-0,212	0,837

Legenda: MC= muito chuvoso; C= chuvoso; N= normal; S=seco; MS= muito seco; DP= desvio padrão; Var.=Variância; CV=coeficiente de variação; C. War. =Classificação de Warrick (1998).

Aquino et al (2012) e Santos & Negri (1997) afirmam a estreita correlação do NDVI com variáveis climáticas tais como a precipitação e a temperatura da superfície terrestre. As oscilações entre as estações seca e úmida durante o ano

e entre os diferentes anos, com condições de maior ou menor secura, influenciam de forma direta o comportamento fenológico das plantas.

## 7.2. Índice de aridez

O grau da desertificação está associado à susceptibilidade de acordo com o índice IA, acrescentado do rigor do período de estiagens, pressão demográfica e tipo de uso dos recursos naturais e, ainda, o nível de desenvolvimento do país e qualidade de medidas preventivas (FAO, 2000).

A Tabela 7 apresenta a classificação climática de Thornthwaite (1948) e de Wischmeier (1971) com o auxílio do Índice de Aridez.

Tabela 7. Classificação climática de Thornthwaite (1948) e de Wischmeier (1971) no período de 1985 a 2015, de acordo com os Índices de Aridez (Ia).

Classe	Ano	Ia	Ia (Thorn.1948)	Ia (Wis.1971)	Classe	Ano	Ia	Ia (Thorn.1948)	Ia (Wis.1971)
<b>MC</b>	1985	0,873	Subúmido	SM	<b>N</b>	2001	0,447	Semiárido	AL
<b>C</b>	1986	0,787	Subúmido	SM	<b>N</b>	2002	0,448	Semiárido	AL
<b>S</b>	1987	0,382	Semiárido	AL	<b>S</b>	2003	0,359	Semiárido	AL
<b>MC</b>	1988	0,879	Subúmido	SM	<b>MC</b>	2004	0,805	Subúmido	SM
<b>MC</b>	1989	0,972	Subúmido	SM	<b>N</b>	2005	0,58	Subúmido seco	M
<b>S</b>	1990	0,403	Semiárido	AL	<b>S</b>	2006	0,308	Semiárido	AL
<b>S</b>	1991	0,361	Semiárido	AL	<b>C</b>	2007	0,689	Subúmido	SM
<b>C</b>	1992	0,661	Subúmido	SM	<b>C</b>	2008	0,667	Subúmido	SM
<b>MS</b>	1993	0,189	Árido	MA	<b>C</b>	2009	0,77	Subúmido	SM
<b>N</b>	1994	0,527	Subúmido seco	M	<b>C</b>	2010	0,713	Subúmido	SM
<b>N</b>	1995	0,501	Subúmido seco	M	<b>N</b>	2011	0,551	Subúmido seco	M
<b>N</b>	1996	0,478	Semiárido	AL	<b>MS</b>	2012	0,266	Semiárido	AL
<b>N</b>	1997	0,577	Subúmido seco	M	<b>S</b>	2013	0,373	Semiárido	AL
<b>MS</b>	1998	0,243	Semiárido	AL	<b>N</b>	2014	0,527	Subúmido seco	M
<b>S</b>	1999	0,364	Semiárido	AL	<b>MS</b>	2015	0,256	Semiárido	AL
<b>C</b>	2000	0,719	Subúmido	SM					

Em que: MC= muito chuvoso; C= chuvoso; N= normal; S=seco; MS= muito seco; SM= superior à moderado; M= Moderada; AL= Alta; MA= Muito alta;

Considerando os níveis de Susceptibilidade, registraram-se quatro tipos: superior à moderada, moderada, alta e muito alta. Com destaque para o ano de 1993, classificado como muito seco e de alta susceptibilidade a desertificação.

Silva et al (2019), estudando as oscilações do índice de aridez interanual e sua vulnerabilidade à desertificação para a área da bacia do rio Ipojuca, ao longo do período de 1962-2015, e classificou o município de Arcoverde com Moderada suscetibilidade a desertificação com um índice de aridez de 0,358.

Santos e Galvêncio (2013), mapeando a suscetibilidade ambiental ao processo de desertificação em 30 municípios do estado de Pernambuco. Concluiu que o Município de Arcoverde apresenta alta susceptibilidade ambiental a desertificação num cenário para 2050.

### 7.3. Técnica dos Quantis

Os valores dos trinta e um anos (Soma das média mensais dos valores acumulados nos postos pluviométricos) foram ordenados de forma crescente, conforme Tabela 8, para posterior aplicação da técnica dos quantis, identificando os quantis Q(0,15), Q(0,35), Q(0,65) e Q(0,85) corroborando com a metodologia adotada por Pinkayan (1966).

A localidade estudada apresentou uma precipitação anual variando entre 290,8 e 1182,7 mm, com uma média de 677,5 mm. Os anos muito secos apresentaram uma média de 334,7 mm/ano, enquanto que, os muito chuvosos cerca de 1084,8 mm/ano. Os anos classificados como normais apresentam uma precipitação média de 654,1 mm, valor este próximo a Normal Climatológica de Arcoverde no período de 1961-1990, que é de 798,1mm/ano de acordo com INMET (2018).

Tabela 8. Valores ordenados para aplicação da técnica dos quantis.

ANO	ORDEM (J)	P (J/(n+1))	PREC (mm)	Qp (mm)	ANO	ORDEM (J)	P (J/(n+1))	PREC (mm)	Qp (mm)
<b>1993</b>	1	0,031	290,8		<b>1994</b>	17	0,531	678,8	
<b>1998</b>	2	0,063	338,8		<b>2011</b>	18	0,563	691,2	
<b>2012</b>	3	0,094	353,2		<b>2005</b>	19	0,594	719,5	
<b>2015</b>	4	0,125	356,2		<b>1997</b>	20	0,625	732,4	
<b>2006</b>	5	0,156	393,2	Q15 385,8	<b>1992</b>	21	0,656	804,2	Q65 789,84
<b>1991</b>	6	0,188	456,9		<b>2008</b>	22	0,688	811,8	
<b>1999</b>	7	0,219	463,6		<b>2007</b>	23	0,719	835,7	
<b>2003</b>	8	0,250	474,4		<b>2000</b>	24	0,750	869,7	
<b>1987</b>	9	0,281	499		<b>2010</b>	25	0,781	892,7	

<b>2013</b>	10	0,313	506,9			<b>1986</b>	26	0,813	944,1		
<b>1990</b>	11	0,344	515,2			<b>2009</b>	27	0,844	971,5		
<b>2002</b>	12	0,375	540,9	Q35	520,34	<b>2004</b>	28	0,875	977,2	Q85	972,64
<b>2001</b>	13	0,406	583			<b>1985</b>	29	0,906	1058,7		
<b>1996</b>	14	0,438	616,8			<b>1988</b>	30	0,938	1120,5		
<b>1995</b>	15	0,469	657,6			<b>1989</b>	31	0,969	1182,7		
<b>2014</b>	16	0,500	666,9								

Na Tabela 9, observa-se os valores estimados (mm) para os quantis Q(0,15), Q(0,35), Q(0,65) e Q(0,85), estes que foram dispostos em cinco classes, de forma que 15% e 85% representaram as classes extremas muito seco e muito chuvoso, respectivamente.

Tabela 9. Classificação dos anos, da série histórica, de acordo com os valores estabelecidos para cada classe quantílicas.

Classes Quantílicas									
Muito Seco		Seco		Normal		Chuvoso		Muito Chuvoso	
Ano	P (mm)	Ano	P (mm)	Ano	P (mm)	Ano	P (mm)	Ano	P (mm)
<b>1993</b>	290,8	<b>2006</b>	393,2	<b>2002</b>	540,9	<b>1992</b>	804,2	<b>2004</b>	977,2
<b>1998</b>	338,8	<b>1991</b>	456,9	<b>2001</b>	583	<b>2008</b>	811,8	<b>1985</b>	1058,7
<b>2012</b>	353,2	<b>1999</b>	463,6	<b>1996</b>	616,8	<b>2007</b>	835,7	<b>1988</b>	1120,5
<b>2015</b>	356,2	<b>2003</b>	474,4	<b>1995</b>	657,6	<b>2000</b>	869,7	<b>1989</b>	1182,7
		<b>1987</b>	499	<b>2014</b>	666,9	<b>2010</b>	892,7		
		<b>2013</b>	506,9	<b>1994</b>	678,8	<b>1986</b>	944,1		
		<b>1990</b>	515,2	<b>2011</b>	691,2	<b>2009</b>	971,5		
				<b>2005</b>	719,5				
				<b>1997</b>	732,4				

Legenda: P – Precipitação

Na Figura 8 estão apresentados os regimes de precipitação pluviométrica (mm), referente aos anos de 1985 a 2017.

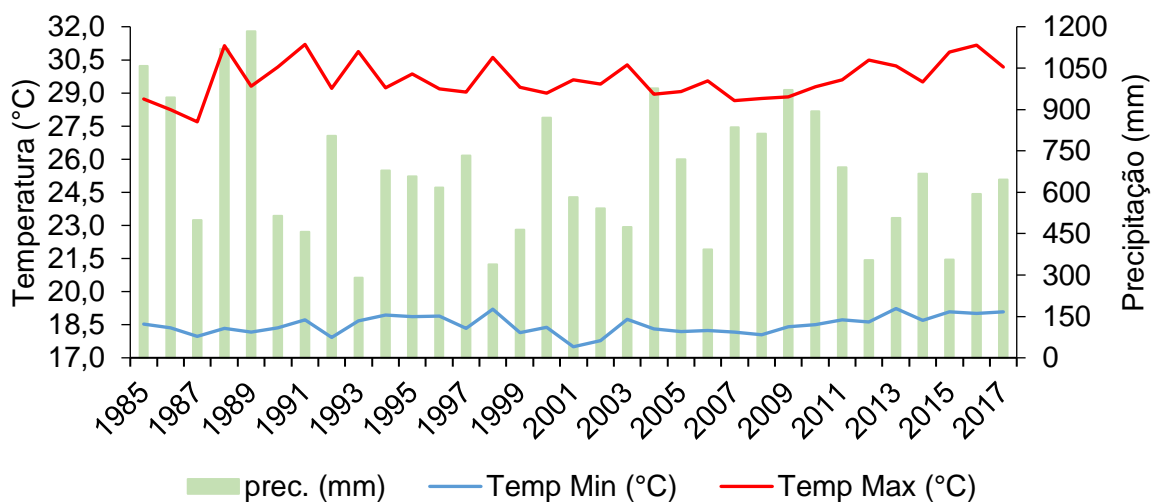


Figura 8. Temperatura mínima do ar (°C) e precipitação pluviométrica (mm) do município de Arcoverde-PE do ano 1985 a 2017.

De acordo com Sampaio (2003) e Costa (2014), o fator de maior influência no comportamento da vegetação, principalmente em regiões semiáridas, é representado pela precipitação, uma vez que esta exerce importante papel na distribuição das espécies, produção de biomassa, configuração do relevo e condições edáficas.

Observa-se nas Figuras 9 a 25, o Balanço Hídrico Climatológico (BHC), as cartas de uso e ocupação do solo e cartas de NDVI, em que se verifica o comportamento da precipitação pluviométrica do município de Arcoverde-PE ao longo dos anos de estudo, sendo possível analisar as condições atmosféricas e oceânicas, que definem a distribuição e os totais anuais das precipitações.

### 7.3.1. Anos muito chuvosos (1985 e 2004)

Observa-se a seguir os anos classificados como muito chuvoso de 1985 (Figura 9A) e 2004 (Figura 9B). No ano de 1985 as chuvas se concentraram entre os meses de março a agosto (Figura 9A), este que foi um ano marcado pela ocorrência de uma La Ninã de intensidade fraca, que atuou no Nordeste do Brasil entre os anos de 1984 e 1985 (CPTEC, 2018), que, apesar de se classificar como um fenômeno fraco, de baixa magnitude, contribuiu para o aumento da precipitação nessa região.

Moura et al (1998) e Lira et al. (2006) salientam que as chuvas acima da média histórica no ano de 1985 ocorreram devido ao evento La Ninã e ao

aquecimento acima do normal da temperatura da superfície no Atlântico tropical Sul, fazendo com que os sistemas responsáveis pelas chuvas atuassem de forma significativa.

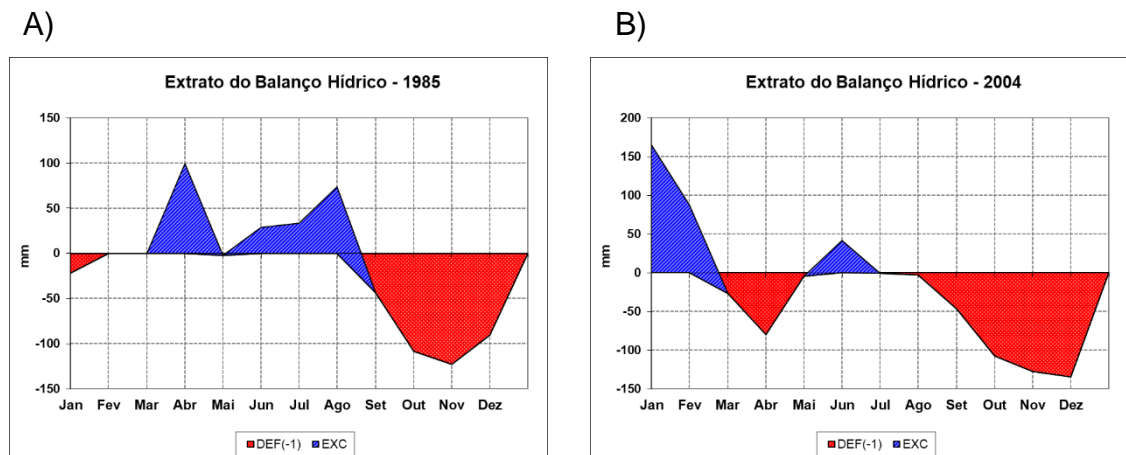


Figura 9. Balanço hídrico climatológico do município de Arcoverde-PE, nos anos classificados como muito chuvoso, (A) 1985 e (B) 2004.

O ano de 2004 (Figura 9B) não apresentou uma distribuição uniforme das chuvas, porém, ficou classificado como muito chuvoso devido ao mês de janeiro, este que foi marcado pela ocorrência de chuvas intensas em grande parte do Brasil. Tendo a Região Nordeste, em particular, uma precipitação pluviométrica acima da média histórica, com registro de 343,8mm na área estudada. Segundo o (INFOCLIMA 2004) as precipitações foram ocasionadas pelo deslocamento de frentes frias para o norte, à atuação da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), banda de nuvens densas que se localizaram ao longo do Equador e que se apresentou ao sul da sua posição normal, e à presença de Vórtices Ciclônicos em Altos Níveis (VCAN) sobre o Oceano Atlântico.

A análise do uso e ocupação do solo na imagem de 27 de novembro 1985 e 01 de dezembro de 2004 (Figura 10) constatou uma redução de 45% na área da classe Água (Tabela 10), condizente com o balanço hídrico desses anos (Figura 9), onde as chuvas em 1985 foram mais distribuídas no ano. A análise também mostrou um aumento nas classes de vegetação nativa densa e matas ciliares (Brejos) (Tabela 10), confirmado pelos resultados obtidos no NDVI (

Tabela 6) onde é possível verificar um acréscimo de 11,83% na média. Os maiores valores de NDVI (0,4 – 1,0) foram registrados nas áreas montanhosas



do município, de acordo com a Carta Hipsométrica de Arcoverde (Figura 11), e a (Figura 12) traz as imagens de NDVI nas datas analisadas.

Tabela 10 - Área das classes de uso e ocupação do solo, no município de Arcoverde –PE, nos anos 1985 e 2004.

Ano	Categ.	Data	Área das classes (hectares)							
			Água	S. Exp.	V. Esp.	V.N.D.	M. ciliar/Brejo	Urb.	Nuvem	Sombra
1985	MC	27-nov	47,7	10314,2	15934,2	4197,2	564,3	5829,1	14,9	-
2004	MC	1-dez	26,3	5626,6	15088,8	10157,0	2486,8	3516,4	-	-

Legenda: MC – Muito chuvoso; Água - Corpos d'Água Continentais; S.Exp. –Solo exposto; V.Esp.- Vegetação Espaçada; V.N.D – Vegetação Nativa; Densa; Urb. – Urbanização.

CHAGAS et al. (2008) utilizando o NDVI, através de imagens de satélite, para mapear a vegetação do município de Arcoverde, observou um IVDN maior que 0,7 na vegetação classificada como densa. Sugerindo que região sudeste de Arcoverde, onde foram observados os maiores valores de IVDN, trata-se de um Brejo de Altitude, haja vista sua semelhança com vegetações mais densas.

Camacho e Baptista (2005) observaram que a vegetação de Caatinga arbórea apresenta IVDN entre 0,450 e 0,649.

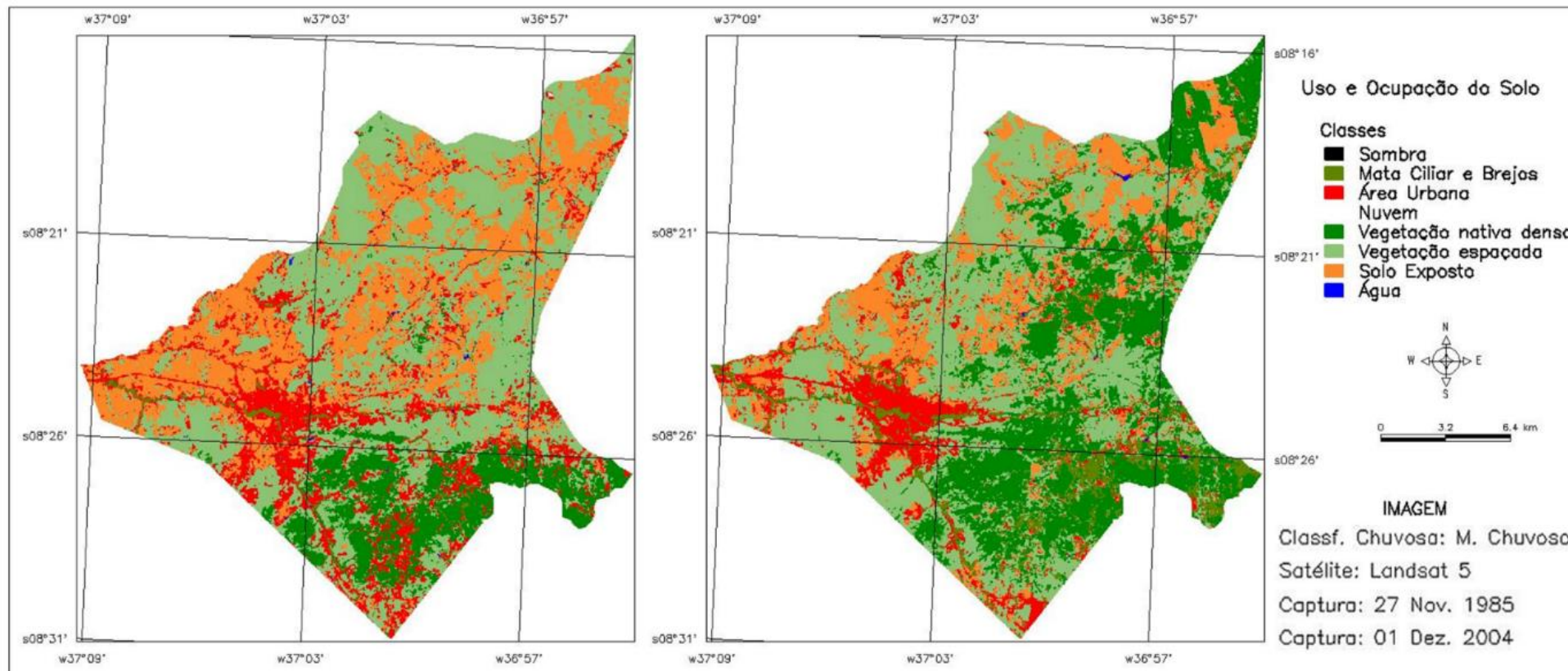


Figura 10. Carta de uso e ocupação do solo do município Arcoverde-PE no ano de 1985 e 2004.

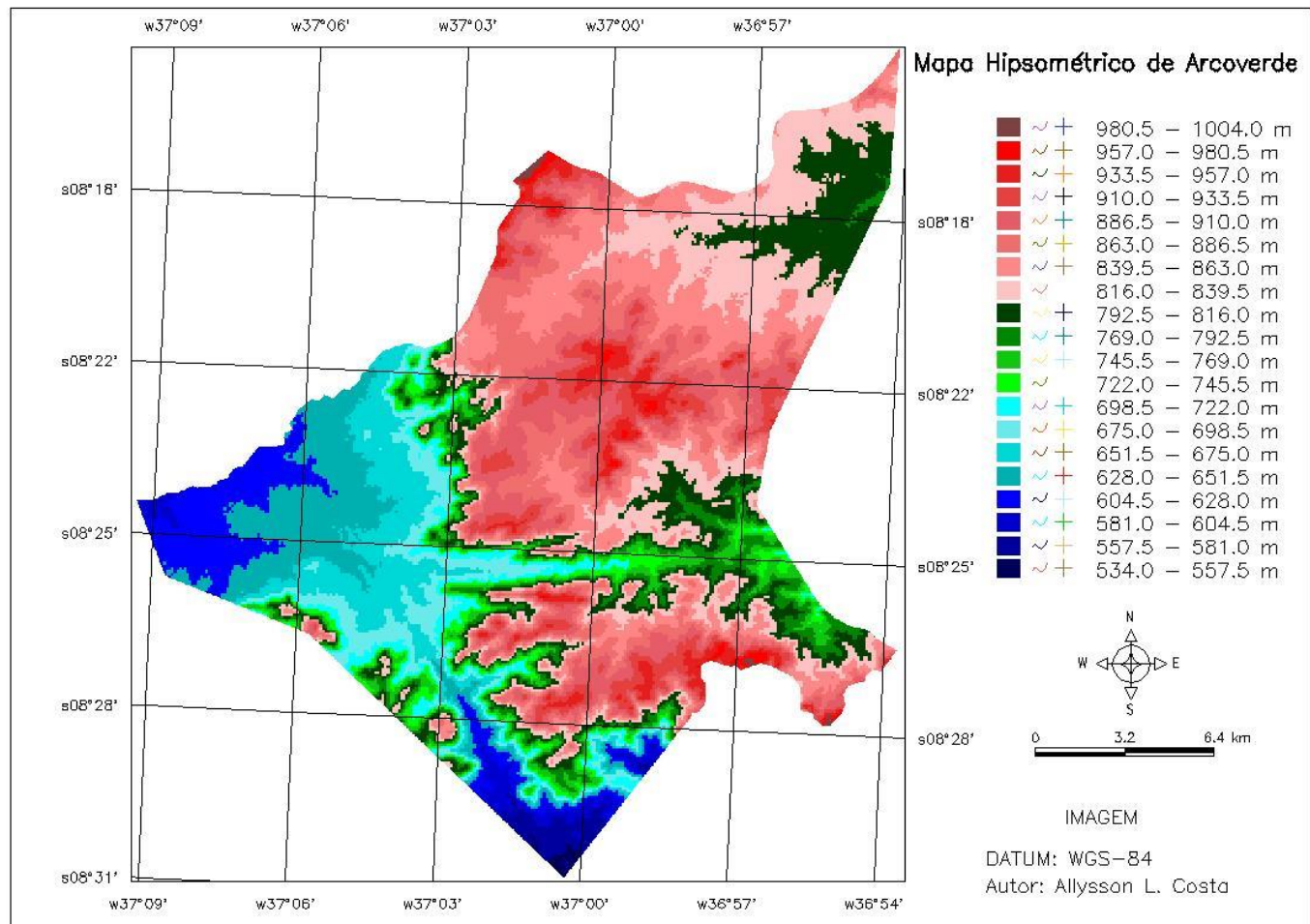


Figura 11. Carta hipsométrico do município de Arcoverde-PE.

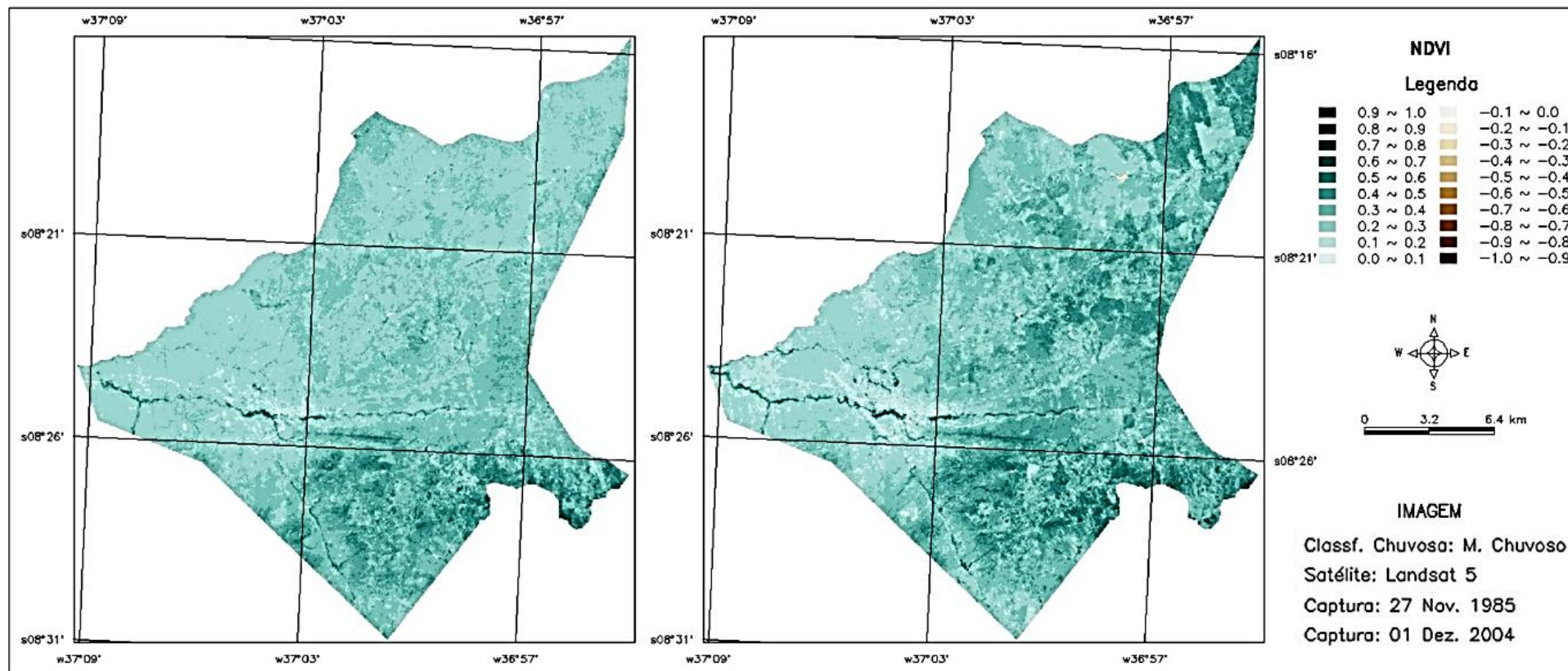


Figura 12. Carta do Índice de Vegetação da Diferença Normalizada do município Arcoverde-PE no ano de 1985 e 2004.

### 7.3.2. Anos chuvosos (2007 e 2009)

Nota-se na Figura 13, o BHC dos anos classificados como chuvoso de 2007 e 2009. Onde se percebe que em 2007 as chuvas se distribuíram em dois períodos: fevereiro a abril; e junho a agosto (Figura 13A).

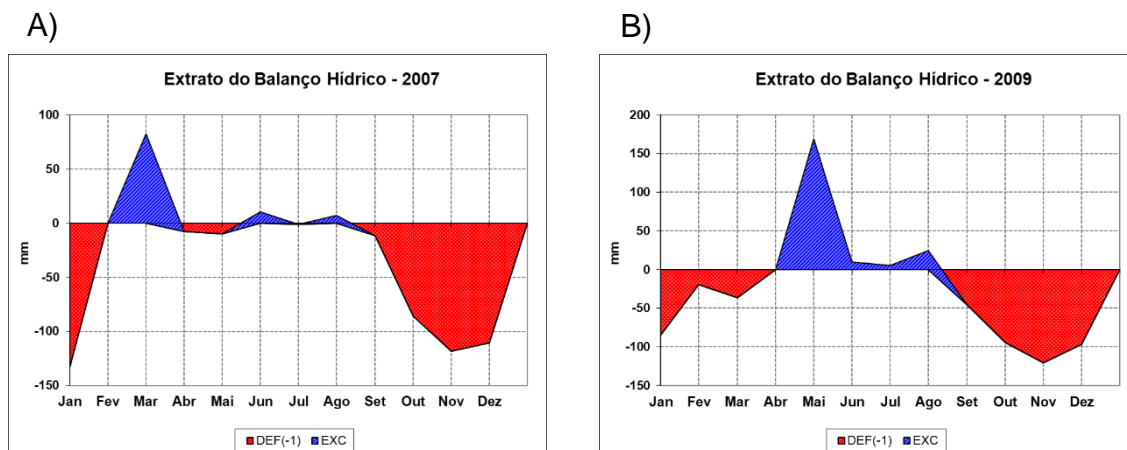


Figura 13. Balanço hídrico climatológico do município de Arcoverde-PE, nos anos classificados como chuvosos, (A) 2007e (B) 2009.

De acordo com o INFOCLIMA (2007), as características atmosféricas observadas em fevereiro, sobre o Brasil, mostraram a ocorrência de três frentes frias. Estas frentes deslocaram-se pelo litoral do Brasil, mas também provocaram chuvas sobre o continente. De modo geral, as chuvas ficaram acima da média histórica em praticamente toda a Região Nordeste do Brasil.

No ano de 2009 (Figura 13B), segundo CLIMANÁLISE (2009), durante o mês de maio, os sistemas que mais favoreceram a ocorrência destas chuvas na Região Nordeste do Brasil, foram a atividade convectiva associada à Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) que continuou intensa e atuando ao sul de sua posição climatológica, juntamente com a formação de Distúrbios Ondulatórios de Leste (DOL).

As imagens de 19 de julho de 2007 e 13 de novembro 2009, do uso e ocupação do solo (Figura 14), apresentou uma redução de 38,3% na vegetação densa (Tabela 11), sendo substituídas por vegetação típica dos brejos de altitude da região, principalmente na porção sudeste do município, com um aumento de 1896,5 hectares e pela expansão da área de solo exposto em 38,2% (Tabela 11). Essas alterações na paisagem influenciaram a queda de 53,15% na média do NDVI (

Tabela 6) registrados nessas datas. As imagens de NDVI nas datas analisadas mostram a distribuição na área (Figura 15).

Segundo Almeida et al. (2017), os valores de NDVI para os solos expostos são, geralmente, na faixa de 0,05 a 0,30, embora que as propriedades óticas do solo, não permite definir um intervalo rigoroso de valores de NDVI para solos com pouca ou nenhuma vegetação.

Tabela 11 - Área das classes de uso e ocupação do solo, no município de Arcoverde –PE, nos anos 2007 e 2009.

Ano	Categ.	Data	Área das classes (hectares)							
			Água	S. Exp.	V. Esp.	V.N.D.	M. ciliar/Brejo	Urb.	Nuvem	Sombra
2007	C	19-jul	146,8	2723,8	20780,6	7587,2	121,1	5493,4	18,5	30,6
2009	C	13-nov	176,9	3764,1	21076,8	4680,7	2017,5	5184,7	-	-

Legenda: C – Chuvoso; Água - Corpos d'Água Continentais; S.Exp. –Solo exposto; V.Esp.- Vegetação Espaçada; V.N.D – Vegetação Nativa; Densa; Urb. – Urbanização.

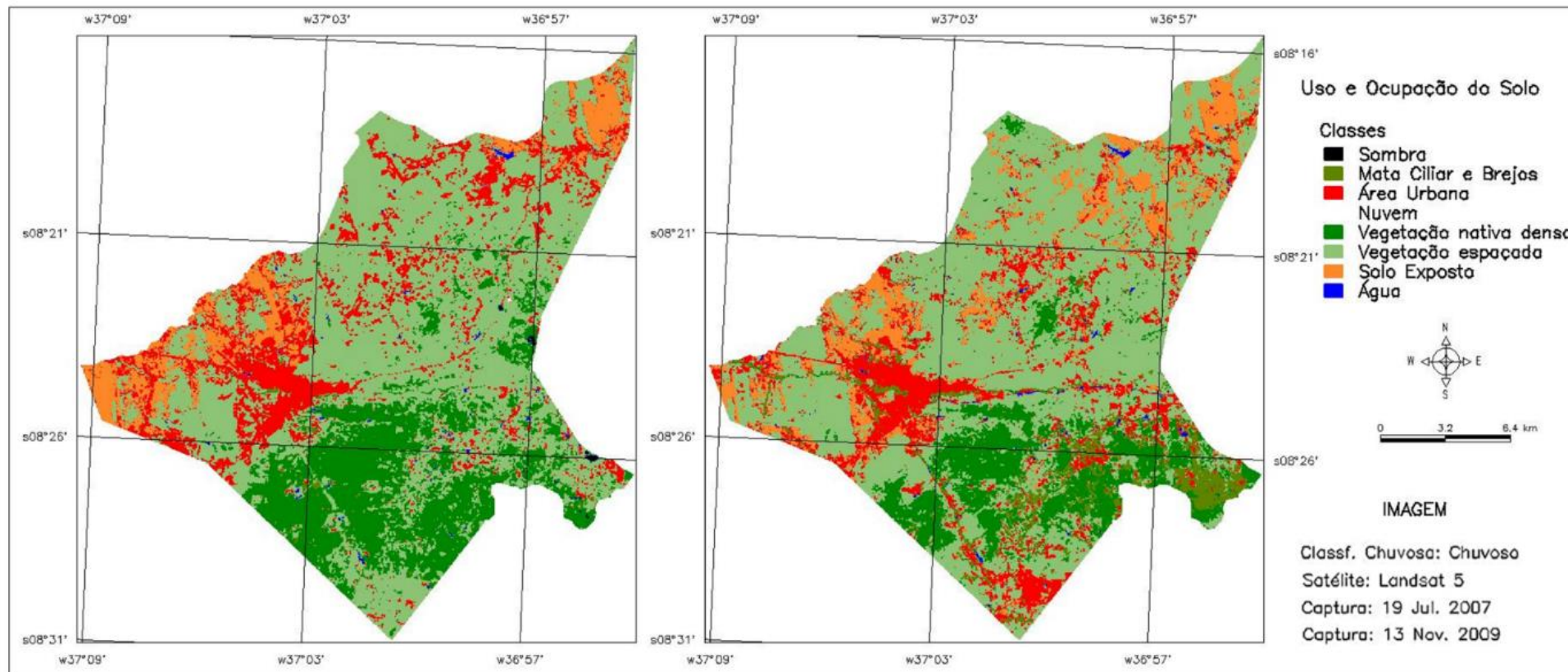


Figura 14. Carta de uso e ocupação do solo do município Arcoverde-PE no ano de 2007 e 2009.

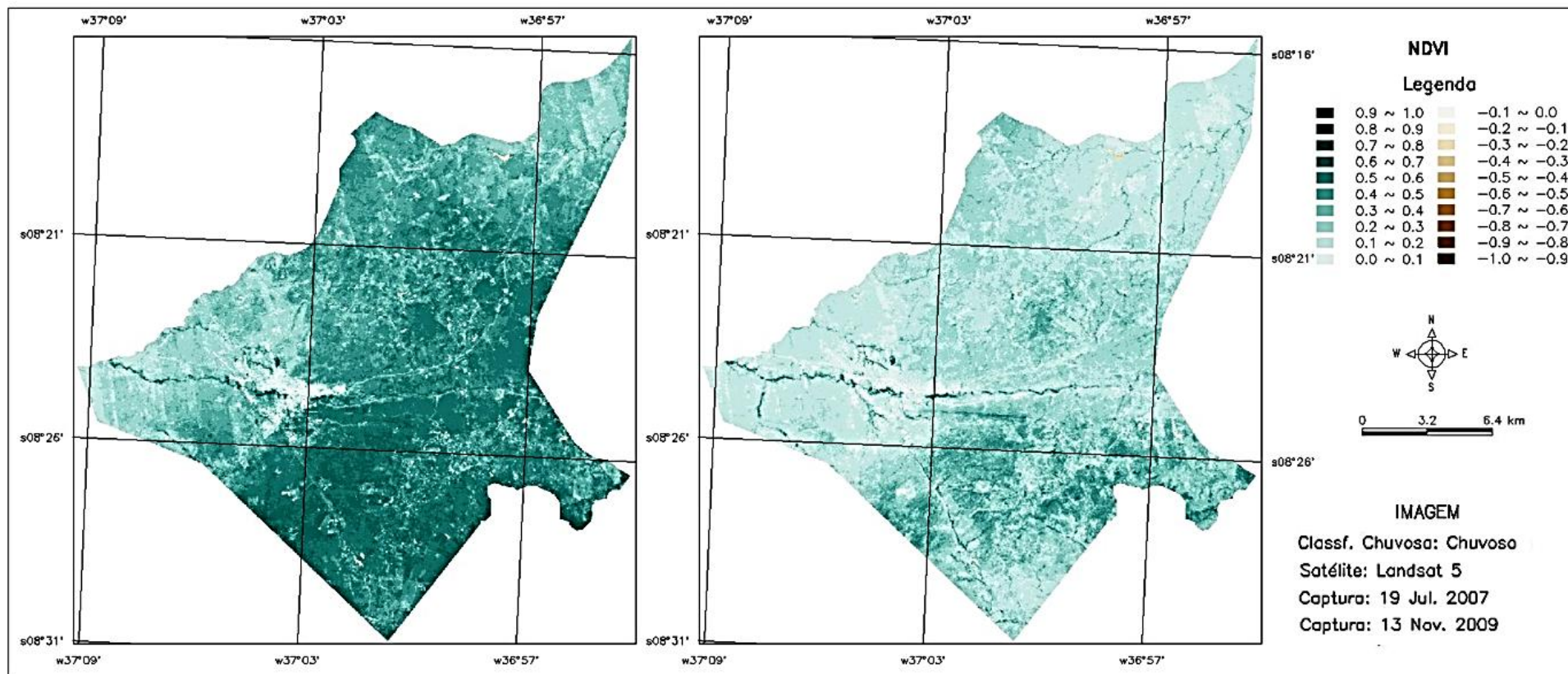


Figura 15. Carta do Índice de Vegetação da Diferença Normalizada do município Arcoverde-PE no ano de 2007 e 2009.



### 7.3.3. Anos Normais (1995 e 2005)

A análise do BHC, dos anos classificados como normais, de 1995 e 2005 evidencia que no ano de 1995 (Figura 16A) o BHC manteve-se dentro das características da região quando comparado ao balanço hídrico do período entre 1973 a 1990 (Figura 17).

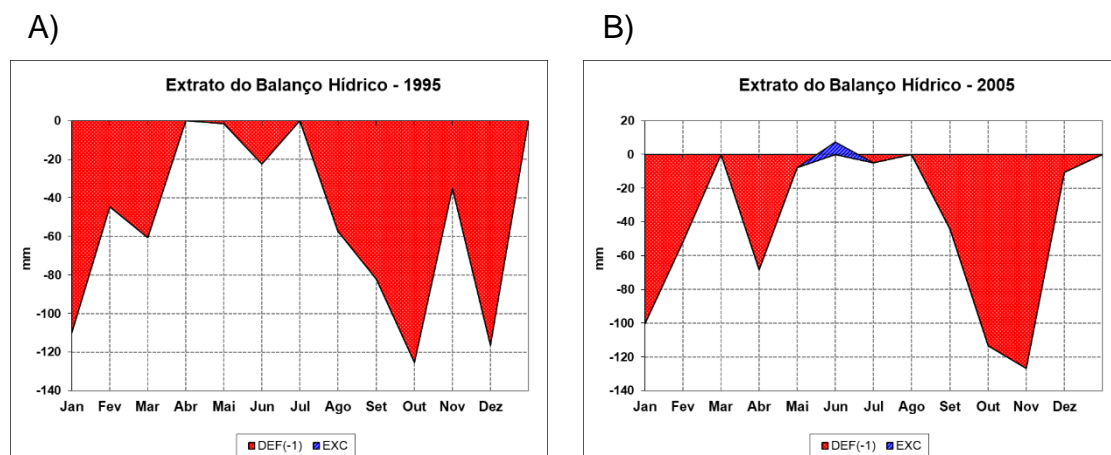


Figura 16. Balanço hídrico climatológico do município de Arcoverde-PE, nos anos classificados como normais chuvoso, (A) 1995 e (B) 2005.

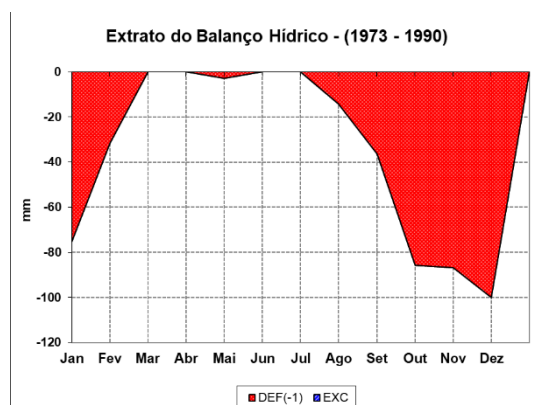


Figura 17. Balanço hídrico climatológico do município de Arcoverde-PE, do período de 1973 a 1990.

Nota-se no BHC do ano de 2005 (Figura 16B), que o mês de maio foi o que apresentou maior precipitação pluviométrica durante o ano. De acordo com o INFOCLIMA (2005) a região leste do Nordeste Brasileiro encontrava-se no segundo mês da estação chuvosa, assim os totais acumulados foram superiores à média histórica em até 100 mm. Em quase todo o interior da Região, as chuvas

também superaram a média histórica. Além dos vórtices ciclônicos e distúrbios de leste, comuns para esta época do ano, as chuvas do leste do Nordeste também estiveram associadas à atuação da frente fria em abril que se posicionou nesta faixa do Nordeste na primeira semana de maio. Os primeiros dias de junho foram críticos para o leste do Nordeste. Houve chuva intensa na Paraíba e em Pernambuco, com registro de “sangria” de reservatórios (INFOCLIMA, 2005).

A análises dos dados, nas cartas de uso e ocupação do solo (Figura 18) e NDVI (Figura 19), das imagens dos dias 06 de outubro de 1995 e 07 de março de 2005, apresentaram aumento de 54,3 hectares na área dos Corpos d’Água Continentais (Reservatórios e rios) (Tabela 12), principalmente na região da bacia do Rio Ipojuca (Nordeste de Arcoverde). A área urbana apresentou expansão de 22,5% no período entre as imagens (Tabela 12). Secundo dados da Companhia Energética de Pernambuco (CELPE), Tabela 13 disponível na Base de Dados do Estado (BDE, 2019), o número de Consumidores de energia elétrica no município aumentou 40,2%. A vegetação natural cresceu 151,2% em 2005 (Tabela 12), porem o NDVI médio reduziu 28,16% entre os anos ( Tabela 6).

Tabela 12 - Área das classes de uso e ocupação do solo, no município de Arcoverde –PE, nos anos 1995 e 2005.

Ano	Categ.	Data	Área das classes (hectares)							
			Água	S. Exp.	V. Esp.	V.N.D.	M. ciliar/Brejo	Urb.	Nuvem	Sombra
1995	N	6-out	20,7	3667,9	20950,5	2872,6	215,8	9174,4	-	-
2005	N	7-mar	64,5	9153,6	17495,0	5739,8	527,3	3837,6	47,0	37,1

Legenda: N – Normal; Água - Corpos d’Água Continentais; S.Exp. –Solo exposto; V.Esp.- Vegetação Espaçada; V.N.D – Vegetação Nativa; Densa; Urb. – Urbanização.

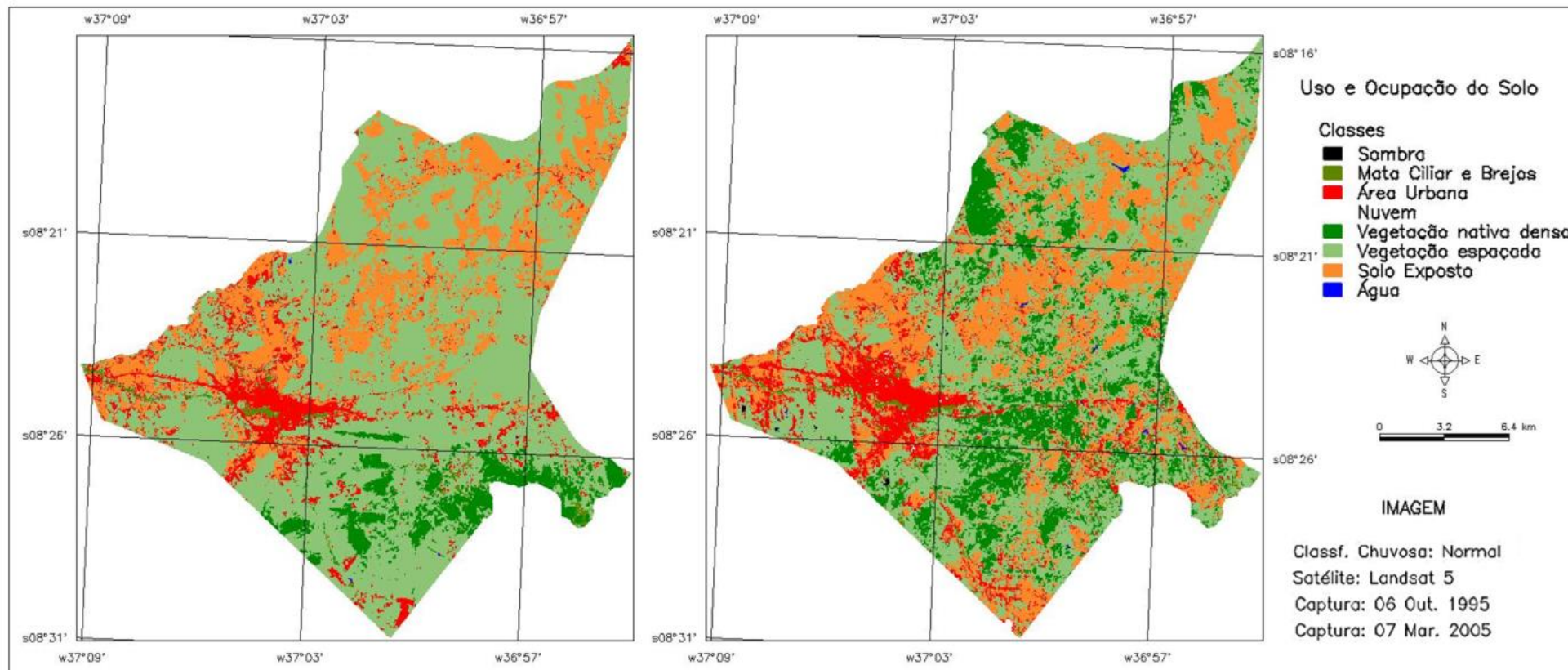


Figura 18. Carta de uso e ocupação do solo do município Arcoverde-PE no ano de 1995 e 2005.

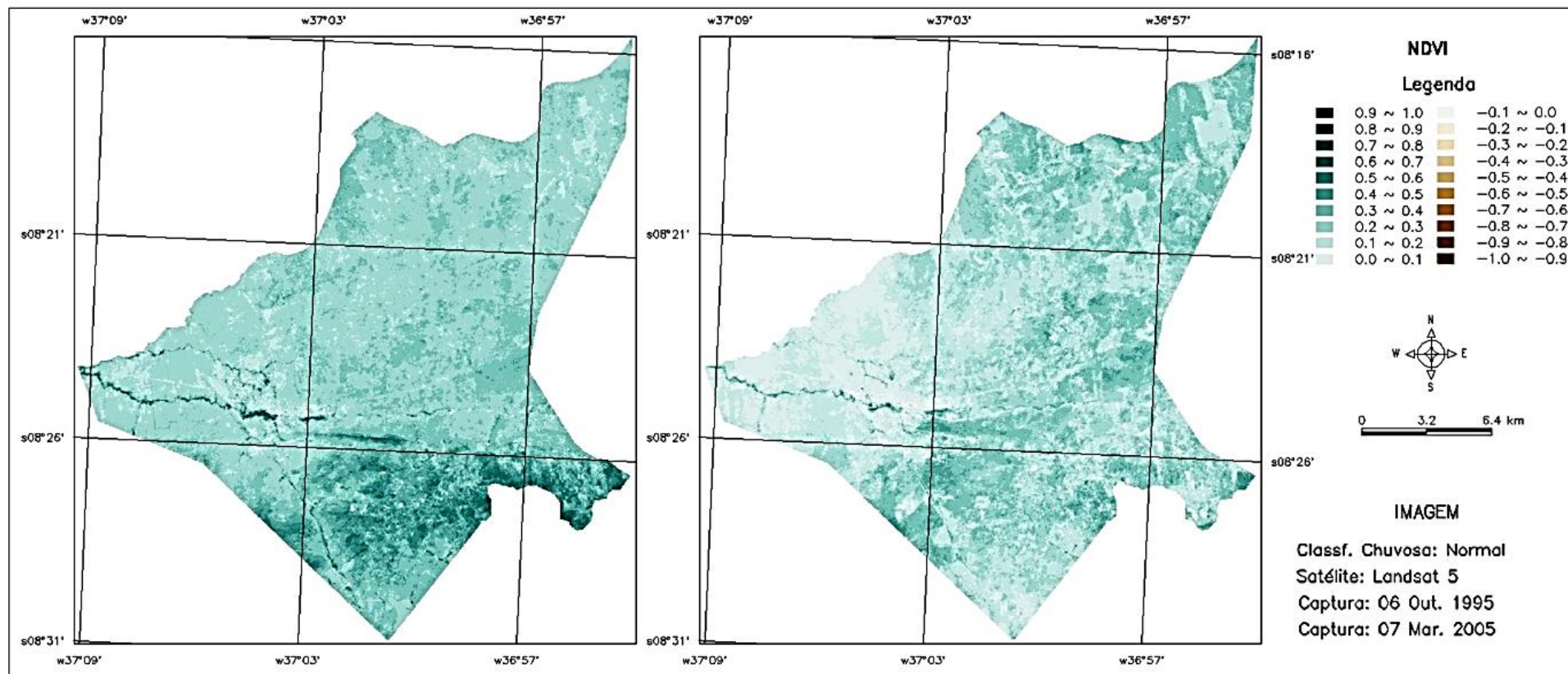


Figura 19. Carta do Índice de Vegetação da Diferença Normalizada do município Arcoverde-PE no ano de 1995 e 2005.

Tabela 13. Total de consumidores de energia elétrica do município de Arcoverde-PE durante o período de 1985 a 2017.

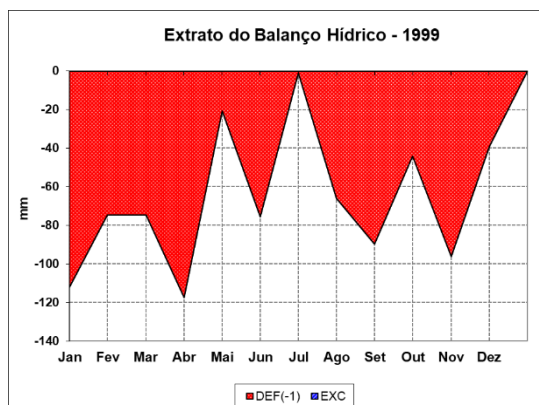
Ano	Consumidores de energia elétrica							
	Total	Residencial	Industrial	Comercial	Rural	Poderes públicos	Iluminação pública	Outros
1985	10.191	8.889	43	972	167	110	3	7
1993	14.041	11.968	87	1.391	462	122	4	7
1995	15.392	13.088	95	1.489	580	129	4	7
1998	17.176	14.354	106	1.533	1.027	143	4	9
1999	17.839	14.891	26	1.674	1.092	143	4	9
2003	20.690	17.195	36	1.796	1.485	162	4	12
2004	21.313	17.716	35	1.861	1.505	171	14	11
2005	21.580	18.001	35	1.795	1.554	170	14	11
2007	23.296	19.632	40	1.926	1.490	187	10	11
2009	24.615	20.874	38	1.988	1.489	198	17	11
2017	31.921	27.781	42	2.211	1.594	228	44	21

Fonte: Companhia Energética de Pernambuco, 2019. Nota: Outros - Composto pelas classes Serviço público e Consumo próprio.

#### 7.3.4. Anos Secos (1999 e 2003)

Pode-se verificar na Figura 20, o balanço hídrico climatológico de Arcoverde - PE, durante os anos classificados como secos. No ano de 1999 (Figura 20A), no campo de anomalias foram observados três grandes núcleos com desvios positivos de precipitação no trimestre maio/junho/julho de 1999: no centro-sul e nordeste da Bahia, sudeste de Sergipe e no noroeste do Estado do Ceará. Estas que influenciaram na precipitação da região de estudo (INFOCLIMA, 1999).

A)



B)

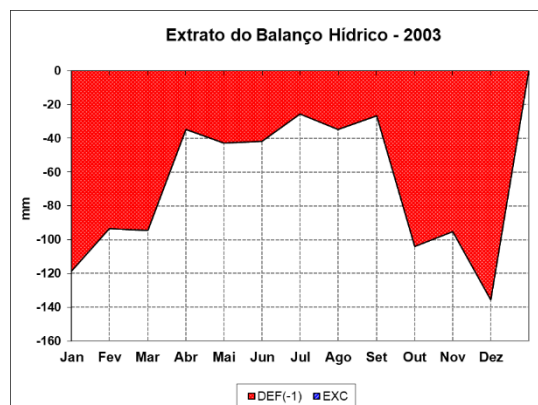


Figura 20. Balanço hídrico climatológico do município de Arcoverde-PE, nos anos classificados como secos (A) 1999 e (B) 2003.

No restante da Região continuou a irregularidade e o déficit na precipitação, destacando-se o setor leste da Região (Zona da Mata), pois o mesmo se encontrava no seu período chuvoso, foram registradas chuvas pouco significativas na primeira e segunda semana de maio. A Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) atuou apenas no início do mês de junho no extremo norte do Maranhão, migrando a seguir, para latitudes mais ao norte e determinando o término da atuação direta da ZCIT no norte da Região Nordeste. (INFOCLIMA, 1999).

No ano de 2003 (Figura 20B), durante o mês de abril, foram observadas chuvas ligeiramente abaixo da média em praticamente toda a Região Nordeste. Nos Estados do Ceará, Piauí e Rio Grande do Norte, as chuvas ocorreram nas áreas costeiras, devido principalmente à atuação da brisa marítima. Nas demais áreas do Nordeste, as chuvas ficaram abaixo da média histórica. No último mês da estação chuvosa (julho), o setor leste do Nordeste apresentou chuvas até 100 mm abaixo da média desde o Rio Grande do Norte até Pernambuco (INFOCLIMA, 2003).

Nas imagens dos dias 17 de outubro de 1999 e 25 de agosto de 2003, a análise dos dados, nas cartas de uso e ocupação do solo (Figura 21) e NDVI (Figura 22), apresentaram um crescimento de 156,3% e 47,3%, nos Corpos d'Água Continentais (Reservatórios e rios) e na área urbana respectivamente (Tabela 14). Por outro lado, a expansão urbana é resultante do crescimento de 5,32% da população local no período de 4 anos (Tabela 15). A vegetação nativa e a mata ciliar apresentaram, juntas, uma redução de 40,1% na área, característica não apresentada pela vegetação mais baixa e espaçada, com

leve aumento de 7,2% da área (Tabela 14). A média do NDVI no período da imagem de 2003 foi de 0,344; 8,8% maior que 1999 que teve média de 0,316 (

Tabela 6). As imagens de NDVI nas datas analisadas mostram a distribuição na área (Figura 22).

Tabela 14 - Área das classes de uso e ocupação do solo, no município de Arcoverde – PE, nos anos 1999 e 2003.

Ano	Categ.	Data	Área das classes (hectares)							
			Água	S. Exp.	V. Esp.	V.N.D.	M. ciliar/Brejo	Urb.	Nuvem	Sombra
1999	S	17-out	12,8	7141,7	19074,9	6473,4	2045,1	2154,1	-	-
2003	S	25-ago	32,8	6187,1	20457,6	5528,1	1523,7	3172,7	-	-

Legenda: S – Seco; Água - Corpos d'Água Continentais; S.Exp. –Solo exposto; V.Esp.- Vegetação Espaçada; V.N.D – Vegetação Nativa; Densa; Urb. – Urbanização.

Tabela 15. População residente no Município de Arcoverde – PE no período de 1985 a 2012.

População residente no Município de Arcoverde - Pernambuco											
Ano	1985	1993	1995	1998	1999	2003	2004	2005	2007	2009	2012
Nº de Hab.	51.099	58.416	59.618	59.731	60.190	63.394	63.962	65.249	66.553	67.999	69.880

Fonte: DATASUS (2019).

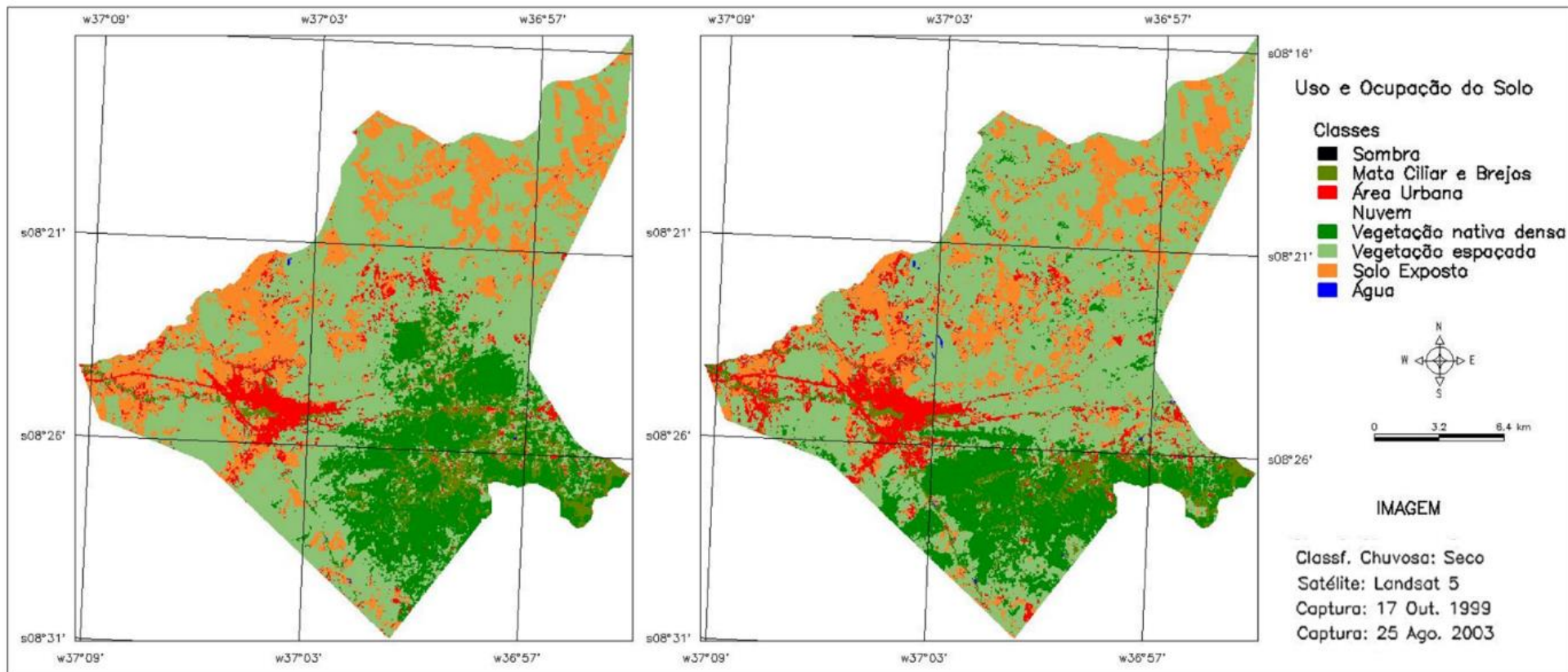


Figura 21. Carta do uso e ocupação do solo do município Arcoverde-PE no ano de 1999 e 2003.



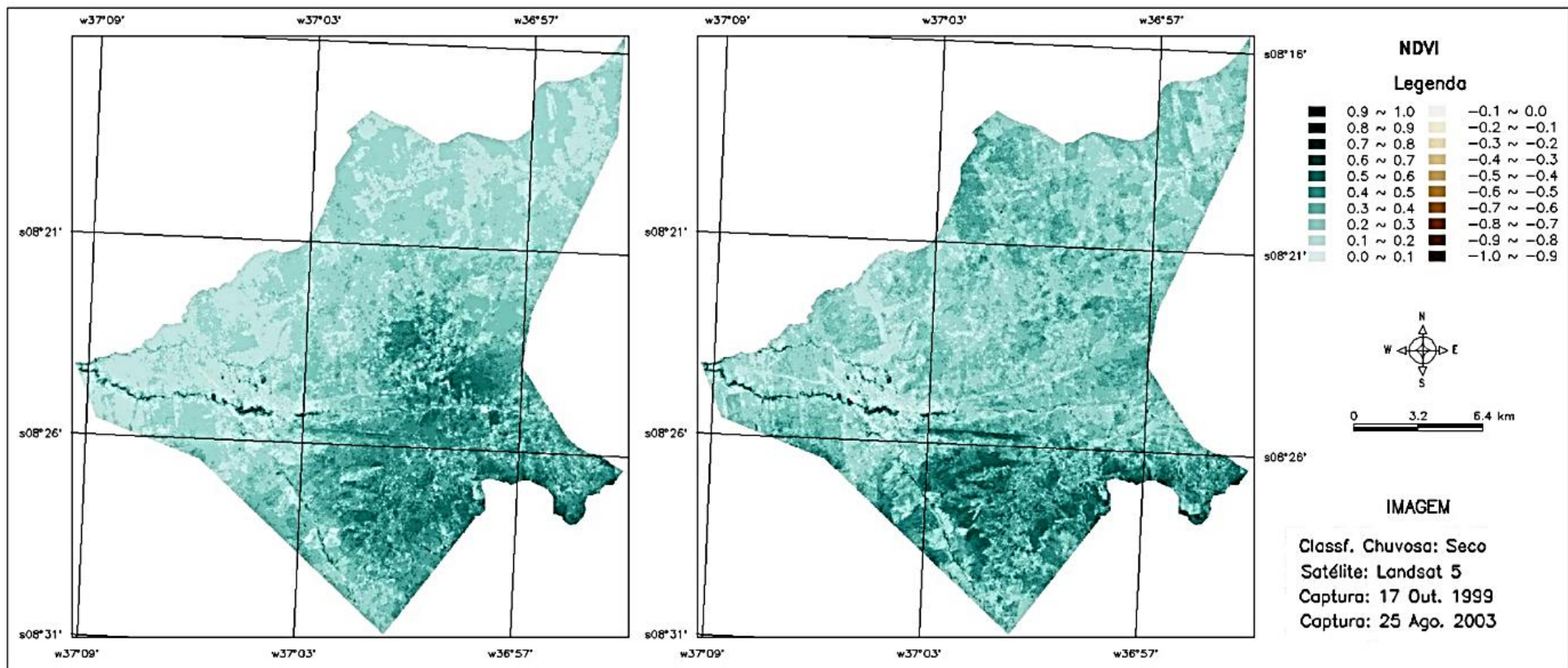


Figura 22. Carta do Índice de Vegetação da Diferença Normalizada do município Arcoverde-PE no ano de 1999 e 2003.

### 7.3.5. Anos muito secos (1993 e 1998)

No ano classificado como muito seco de 1993 (Figura 23A) as precipitações na estação chuvosa ficaram 63% abaixo da média (Climanálise, 1993). Segundo Cavalcanti (1996), durante os anos de 1991 a 1993, dentro do período do episódio El Niño estendido de 1990 a 1994, os sistemas que atuam sobre o Brasil tiveram comportamento anômalo. A ZCIT estava muito fraca e não se deslocou para sul de fevereiro a abril, como é o normal. Os vórtices ciclônicos em altos níveis que atuam no verão na região NE também não causaram precipitação. Combinações de fatores que resultaram em uma seca severa em todo o setor do Nordeste naquele ano (SOUZA et al., 1999).

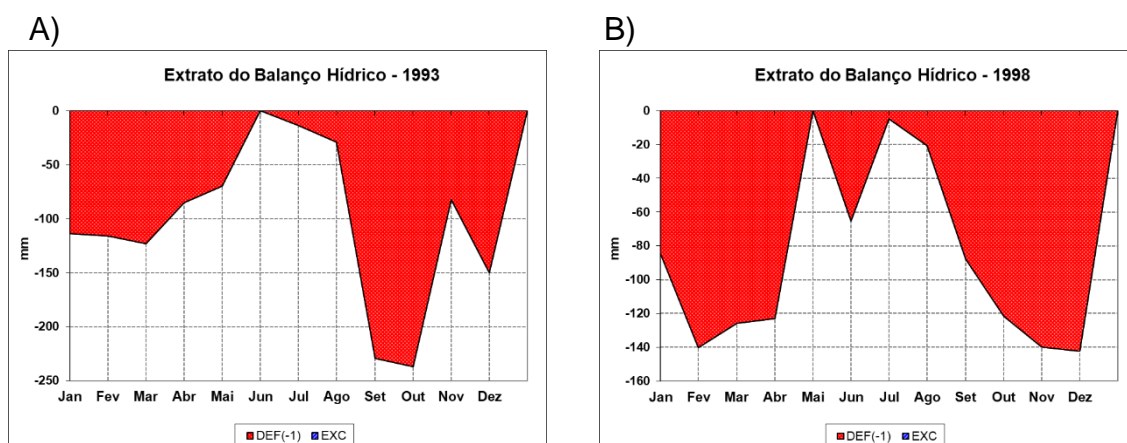


Figura 23. Balanço hídrico climatológico do município de Arcoverde-PE, nos anos classificados como muito secos (A) 1993 e (B) 1998.

Oliveira et al., (2006) salientam que as chuvas foram reduzidas em torno de 70%, no estado de Pernambuco no ano de 1998, causando grandes problemas de abastecimento humano e animal. O que pode ser observado na Figura 23B, na região estudada, esta que apresentou no ano de 1998 precipitação média de 338,8mm. De acordo com Oliveira et al., (2006) essa redução foi resultante do fenômeno El Niño que iniciou em 1997, intensificando-se no ano seguinte.

A análise do NDVI (Figura 24) e dos mapas de uso e ocupação do solo nos anos muito secos (Figura 25), representados pelas imagens dos dias 29 de agosto 1993 e 14 de outubro 1998, mostrou uma grande redução na vegetação, que refletiu na classe de solo exposto com um aumento de 162,3%

(Tabela 16). Com as classes de vegetação espaçada, Vegetação nativa densa e Mata ciliar (Brejos) apresentando valores de -23,5%, -60,2% e -86,4% respectivamente. Desse modo o NDVI médio em 1998 foi 29,2% menor que em 1993, variando entre -0,212 e 0,837 (

Tabela 6).

De acordo com Almeida et al. (2017), a mata ciliar é evidenciada com valores de NDVI mais elevados que os solos expostos ou área urbana, pois apresenta a característica de ser fotossinteticamente ativa como também de representar alta taxa de umidade devido situar-se nas imediações dos corpos hídricos.

Tabela 16 - Área das classes de uso e ocupação do solo, no município de Arcoverde –PE, nos anos 1993 e 1998.

Ano	Categ.	Data	Área das classes (hectares)							
			Água	S. Exp.	V. Esp.	V.N.D.	M. ciliar/Brejo	Urb.	Nuvem	Sombra
1993	MS	29-ago	6,0	6517,7	19569,5	6875,2	2205,4	1445,4	159,8	122,9
1998	MS	14-out	25,2	17156,0	14965,9	2735,5	299,1	1720,3	-	-

Legenda: MS – Muito seco; Água - Corpos d'Água Continentais; S.Exp. –Solo exposto; V.Esp.- Vegetação Espaçada; V.N.D – Vegetação Nativa; Densa; Urb. – Urbanização.

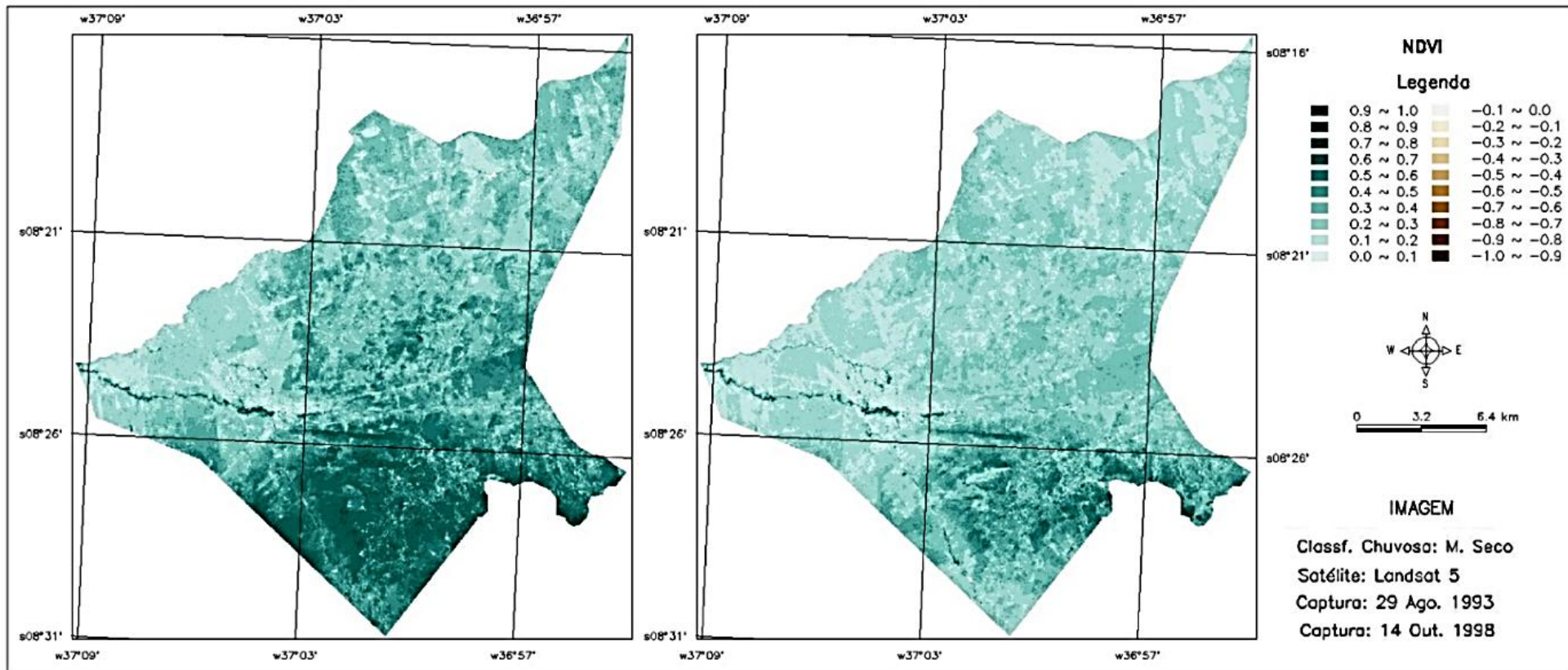


Figura 24. Carta do Índice de Vegetação da Diferença Normalizada do município Arcoverde-PE no ano de 1999 e 2003.

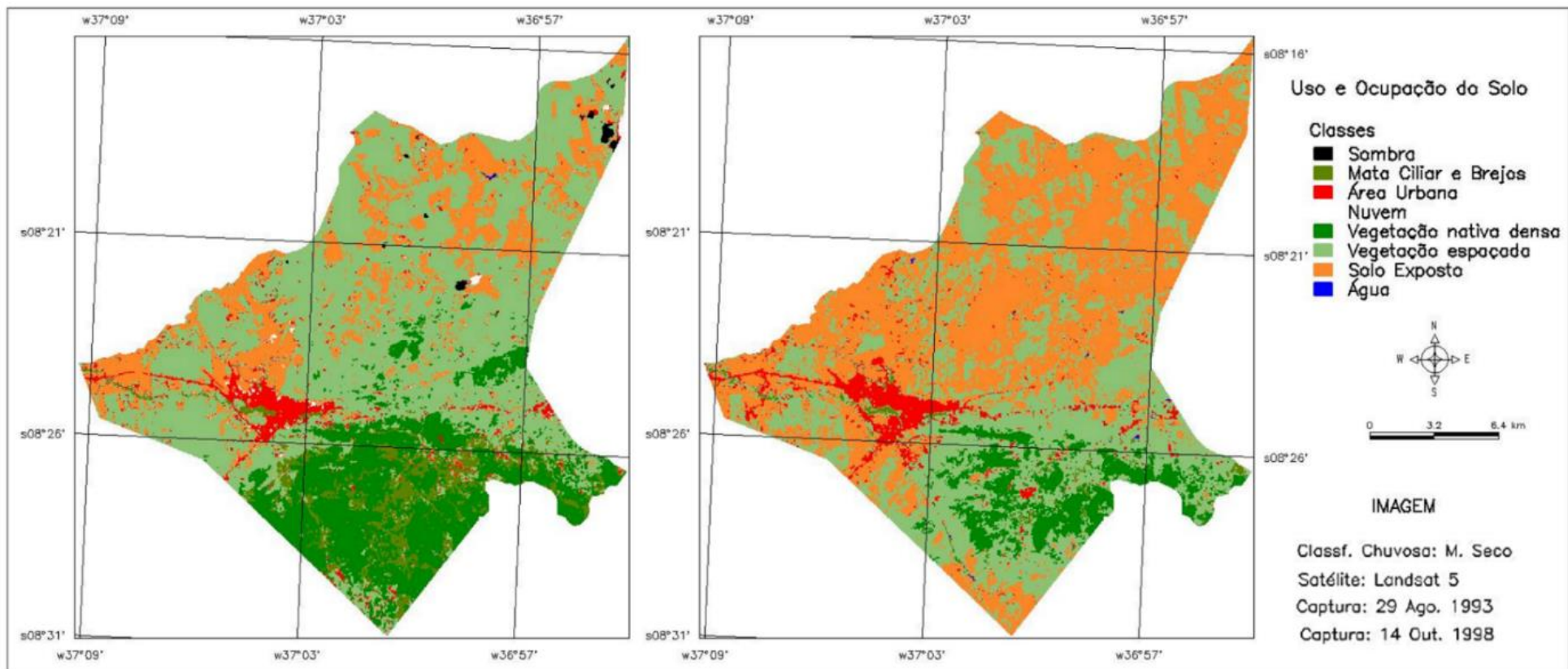


Figura 25. Carta de uso e ocupação do solo do município Arcoverde-PE no ano de 1993 e 1998.

## 7.4. Temperatura noturna da superfície

Na análise das imagens de temperatura noturna da superfície terrestre do produto MODIS (MOD11C3) no período de 2000 a 2015 (Figura 26A) e do produto MODIS (MYD11C3) no período de 2002 a 2015 (Figura 26B), dos satélites Terra e Aqua, respectivamente, foi verificado uma temperatura média de 18,7°C (MOD11C3) e 17,7°C (MYD11C3).

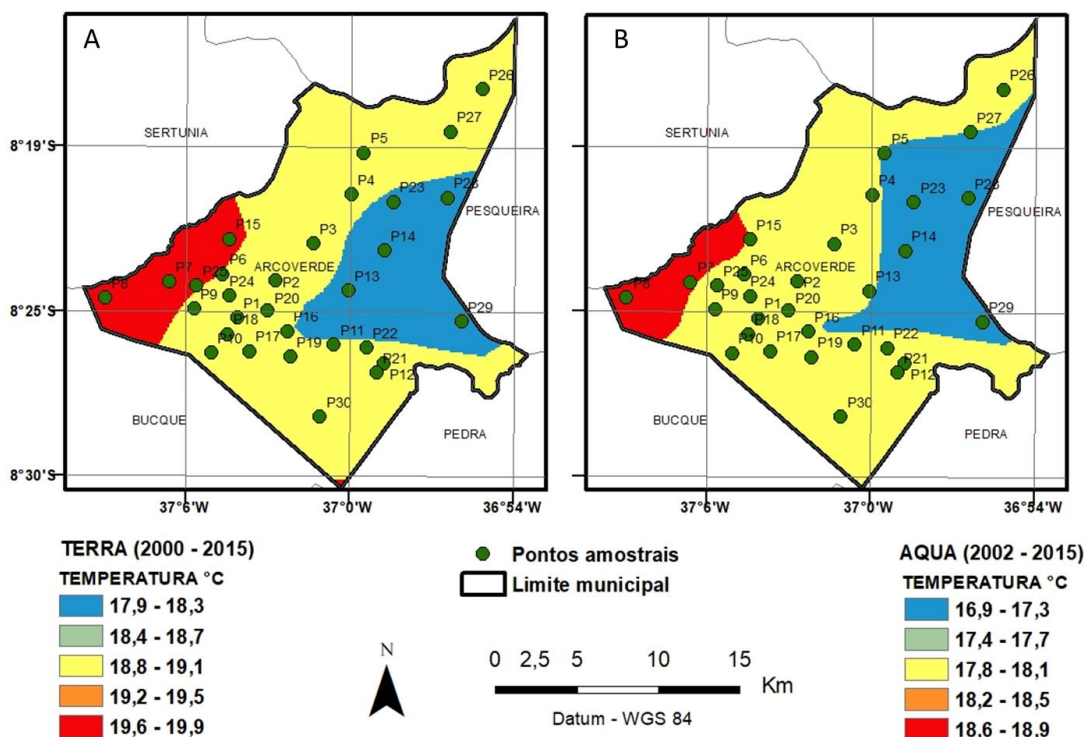


Figura 26. Carta da temperatura noturna média da superfície no município de Arcoverde - PE, satélite Terra (A) e Aqua (B).

A média da temperatura mínima do ar registrada na estação meteorológica de Arcoverde nos meses de obtenção das imagens Landsat são apresentadas na Tabela 17.

Tabela 17. Variação da temperatura mínima do ar no mês de obtenção da imagem Landsat 5, em relação a temperatura noturna registrada nas imagens MODIS dos produtos MOD11C3 e MYD11C3.

Mês de registro da Imagem Landsat 5.	Temp. Mín. Mensal (°C)	Variação da temperatura (°C)	
		MOD11C3	MYD11C3
Novembro, 1985	19,13	0,43	1,43
Agosto, 1993	16,38	-2,32	-1,32
Outubro, 1995	18,37	-0,33	0,67
Outubro, 1998	18,79	0,09	1,09
Outubro, 1999	18,21	-0,49	0,51
Agosto, 2003	17,00	-1,70	-0,70
Dezembro, 2004	18,98	0,28	1,28
Março, 2005	19,85	1,15	2,15
Julho, 2007	16,64	-2,06	-1,06
Novembro, 2009	18,84	0,14	1,14

Os APÊNDECE A e B apresentam as temperaturas na série temporal das amostras, nos diferentes horários de acordo com a passagem noturna dos satélites TERRA e AQUA pela linha do equador, onde Terra-noite correspondem à observação do primeiro às 22h30min e Aqua-noite são a observação do segundo a 1h30min.

As amostras do Terra-noite variaram entre 21,23°C (P6) e 16,73°C (P23). Enquanto que, os dados do AQUA noite ficaram entre 19,98°C (P6) e 15,51°C (P23).

Os APÊNDECE C e D apresentam as previsões das temperaturas para os próximos 10 anos.

A análise individual do ponto indicou grandes alterações da superfície (Figura 27), com a substituição gradual da vegetação por área construída nos últimos anos, de modo que, na amostra do Terra-noite as temperaturas noturnas tiveram variação máxima de 2,53°C acima da média registrada no período de 2000 – 2015 no produto MOD11C3 (18,7°C). As amostras do Aqua-noite, neste ponto, registraram uma variação de 2,40°C sobre a média no período de 2002 –

2015 do produto MYD11C3 (17,7°C). Na análise dos dados com previsão para 2029, o ponto mostra tendência de aumento de 1,73°C e 1,18°C nas amostras do TERRA-noite e AQUA-noite, respectivamente.

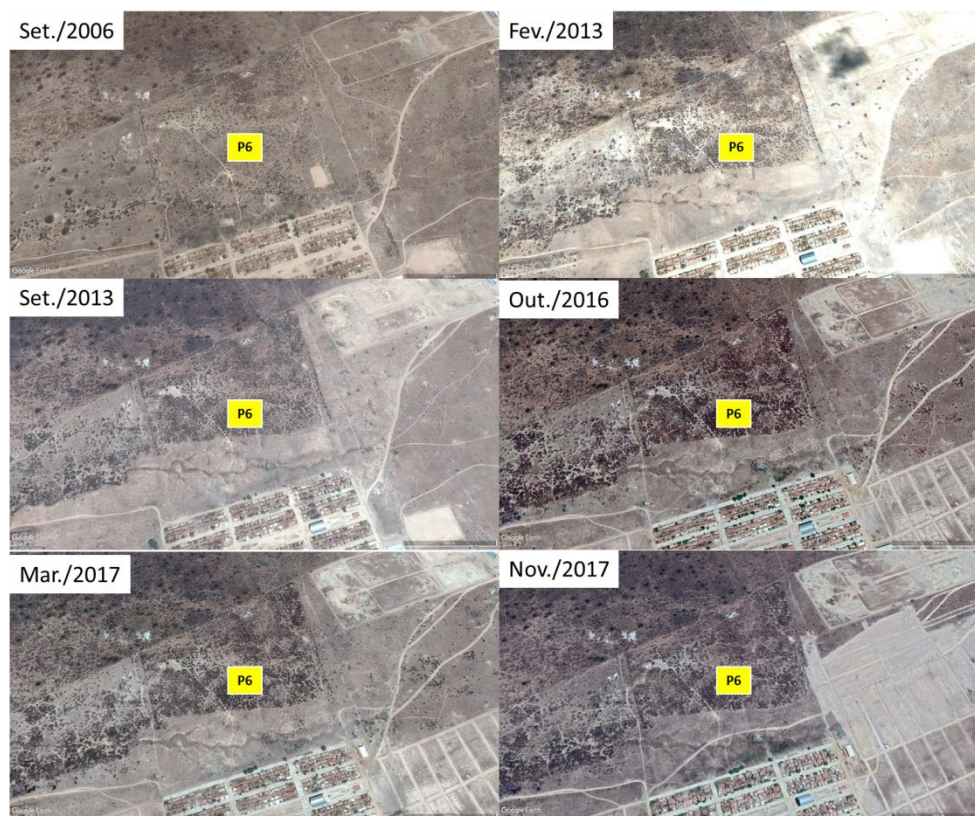


Figura 27. Imagens do Google Earth mostrando as alterações no ponto 6, entre os anos de 2006 e 2017.

A análise individual do ponto apresentou aumento da cobertura do vegetal nos últimos anos (Figura 28), que possivelmente foi o indutor da diminuição das temperaturas noturnas mais baixa dentre os pontos analisados. A variação máxima da temperatura em relação à média ficou em -0,11°C na amostra do Terra-noite e -0,12°C nas amostras do Aqua-noite. Na previsão para 2029, a temperatura noturna no ponto mostra tendência de permanecer abaixo da média. Desde que, mantidas as características da cobertura do solo existentes.



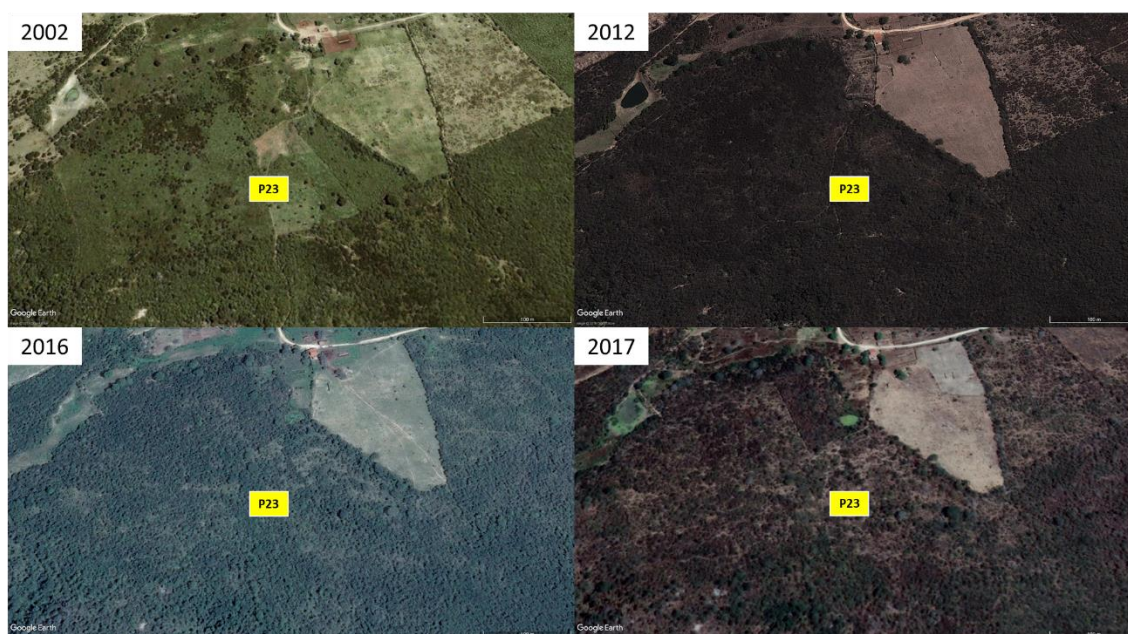


Figura 28. Imagens do Google Earth mostrando as alterações no ponto 23, entre os anos de 2002 e 2017.

Entre os pontos analisados, alguns apresentaram significativas alterações, relacionadas com o uso e ocupação do solo e registro de temperaturas noturnas com alta variação comparadas a média histórica, com destaque para os descritos na (Tabela 18).

Tabela 18. Localização geográfica dos pontos que apresentaram mudanças significativas na cobertura da superfície.

Ponto	Longitude	Latitude
P1	-37° 03' 46,16"	-8° 25' 13,8"
P7	-37° 06' 03,41"	-8° 24' 02,67"
P9	-37° 05' 13,00"	-8° 24' 56,00"
P10	-37° 04' 38,01"	-8° 26' 24,95"
P20	-37° 02' 45,22"	-8° 24' 58,13"
P24	-37° 04' 03,82"	-8° 24' 29,35"
P25	-37° 05' 10,29"	-8° 24' 09,4"

A seguir foi feita uma análise das amostras individuais dos pontos destacados, de modo a verificar a relação das características da superfície com a temperatura noturna.

### 7.4.1. Ponto 1

O ponto 1 registrou um aumento médio de temperatura da superfície no valor de 1,3°C e 1,42°C nos dados do terra-noite e Aqua-noite, respectivamente. Com tendência de aumento de 0,22°C/ano, nos próximos 10 anos. Na análise do uso e ocupação do solo (Tabela 19), o ponto apresentou durante os anos uma cobertura de mata ciliar, posteriormente substituída por obras de urbanização (Figura 29).

Tabela 19. Classes de uso e ocupação do solo identificadas no ponto 1 nos anos analisados.

PONTO 1					
Classif. Chuvosa	Ano	Classe de uso e ocupação do solo	Classif. Chuvosa	Ano	Classe de uso e ocupação do solo
Muito Chuvoso	1985	Mata Ciliar (Brejo)	Seco	2003	Mata Ciliar (Brejo)
Muito Seco	1993	Mata Ciliar (Brejo)	Muito Chuvoso	2004	Mata Ciliar (Brejo)
Normal	1995	Mata Ciliar (Brejo)	Normal	2005	Urbanismo
Muito Seco	1998	Mata Ciliar (Brejo)	Chuvoso	2007	Urbanismo
Seco	1999	Mata Ciliar (Brejo)	Chuvoso	2009	Urbanismo



Figura 29. Imagens do Google Earth mostrando as alterações no ponto 1, entre os anos de 2006 e 2017.

### 7.4.2. Ponto 7

O ponto 7 (Figura 30), durante os anos analisados com base na classificação chuvosa, apresentou cobertura do solo de vegetação baixa e espaçada (Tabela 20), vindo a ser substituída por solo exposto a partir do ano de 2012. Apresentando a maior variação em 2016, com 2,47°C e 2,15°C, na amostra Terra-noite e Aqua-noite, respectivamente. Com tendência de aumento de 1,83°C em 2029.



Figura 30. Imagens do Google Earth mostrando as alterações no ponto 7, entre os anos de 2006 e 2017.

Tabela 20. Classes de uso e ocupação do solo identificadas no ponto 7 nos anos analisados.

PONTO 7					
Classif. Chuvosa	Ano	Classe de uso e ocupação do solo	Classif. Chuvosa	Ano	Classe de uso e ocupação do solo
Muito Chuvoso	1985	Vegetação espaçada	Seco	2003	Vegetação espaçada
Muito Seco	1993	Vegetação espaçada	Muito Chuvoso	2004	Vegetação espaçada
Normal	1995	Vegetação espaçada	Normal	2005	Vegetação espaçada
Muito Seco	1998	Vegetação espaçada	Chuvoso	2007	Vegetação espaçada
Seco	1999	Vegetação espaçada	Chuvoso	2009	Vegetação espaçada

### 7.4.3. Ponto 9

O ponto 9, durante os anos analisados com base na classificação chuvosa, possuía cobertura do solo de Mata ciliar (Brejo) (Tabela 21) e vegetação rasteira nas proximidades (Figura 31), com temperaturas variando entre 18,73°C e 20,71°C nos dados terra-noite e 17,6°C e 19,5°C nos dados aqua-noite. A tendência da temperatura noturna na amostra Terra-noite foi de aumentar 1,96°C, em 2029.

Tabela 21. Classes de uso e ocupação do solo identificadas no ponto 9 nos anos analisados.

PONTO 9					
Classif. Chuvosa	Ano	Classe de uso e ocupação do solo	Classif. Chuvosa	Ano	Classe de uso e ocupação do solo
Muito Chuvoso	1985	Mata ciliar (Brejo)	Seco	2003	Mata ciliar (Brejo)
Muito Seco	1993	Mata ciliar (Brejo)	Muito Chuvoso	2004	Mata ciliar (Brejo)
Normal	1995	Mata ciliar (Brejo)	Normal	2005	Mata ciliar (Brejo)
Muito Seco	1998	Mata ciliar (Brejo)	Chuvoso	2007	Vegetação espaçada
Seco	1999	Mata ciliar (Brejo)	Chuvoso	2009	Vegetação espaçada



Figura 31. Imagens do Google Earth mostrando as alterações no ponto 9, entre os anos de 2006 e 2017.

#### 7.4.4. Ponto 10

As características naturais de cobertura da superfície no ponto 10 foram de solo expostos com a presença de vegetação rasteira no período das chuvas (Tabela 22). Sendo substituídas pela urbanização da área em 2016 (Figura 32). A temperatura noturna média no ponto variou entre 18,5 e 20,0°C na amostra Terra-noite e 17,4 e 19,0°C na amostra Aqua-noite. Na tendência dos próximos 10 anos os dados apontam, para Terra-noite, um acréscimo de 1,0°C na média registrada nos dados do produto MOD11C3 entre os anos de 2000 e 2015.

Tabela 22. Classes de uso e ocupação do solo identificado no ponto 10 nos anos analisados.

PONTO 10					
Classif. Chuvosa	Ano	Classe de uso e ocupação do solo	Classif. Chuvosa	Ano	Classe de uso e ocupação do solo
Muito Chuvoso	1985	Solo exposto	Seco	2003	Vegetação espaçada
Muito Seco	1993	Solo exposto	Muito Chuvoso	2004	Vegetação espaçada
Normal	1995	Solo exposto	Normal	2005	Solo exposto
Muito Seco	1998	Solo exposto	Chuvoso	2007	Vegetação espaçada
Seco	1999	Solo exposto	Chuvoso	2009	Vegetação espaçada



Figura 32. Imagens do Google Earth mostrando as alterações no ponto 10, entre os anos de 2006 e 2017.

### 7.4.5. Ponto 20

Dos pontos analisados, o ponto 20 (Figura 33), foi o que apresentou a classificação de Urbanização no estudo de uso e ocupação do solo, em todos os anos analisados (Tabela 23). A temperatura noturna na amostra terra-noite registrou média de 19,5°C e a amostra aqua-noite apresentou média de 18,7°C. A tendência, de acordo com os dados, é que as temperaturas noturnas em 2029 atinjam até 1,41°C acima da média registrada nos dados do produto MOD11C3.



Figura 33. Imagens do Google Earth mostrando as alterações no ponto 20, entre os anos de 2006 e 2017.

Tabela 23. Classes de uso e ocupação do solo identificado no ponto 20 nos anos analisados.

PONTO 20					
Classif. Chuvosa	Ano	Classe de uso e ocupação do solo	Classif. Chuvosa	Ano	Classe de uso e ocupação do solo
Muito Chuvoso	1985	Urbanização	Seco	2003	Urbanização
Muito Seco	1993	Urbanização	Muito Chuvoso	2004	Urbanização
Normal	1995	Urbanização	Normal	2005	Urbanização
Muito Seco	1998	Urbanização	Chuvoso	2007	Urbanização
Seco	1999	Urbanização	Chuvoso	2009	Urbanização

#### 7.4.6. Ponto 24

A região do ponto 24 foi caracterizada, na classificação de uso e ocupação do solo, por possuir a superfície recoberta por vegetação espaçada e pela substituição por solo exposto em 2005 (Tabela 24), vindo a se torna área de urbanização (Figura 34). A temperatura noturna neste ponto esteve até 2,4°C e 2,08°C acima da média registradas nas imagens MODIS entre os anos de (2000 – 2015) no Terra-noite e (2002 - 2015) no Aqua-noite, respectivamente. A análise da tendência dos dados, mostrou com 95% de certeza que as temperaturas podem atingir 2,1°C e 1,7°C acima da média no Aqua-noite e Terra-noite, respectivamente, nos próximos 10 anos.

Tabela 24. Classes de uso e ocupação do solo identificado no ponto 24 nos anos analisados.

PONTO 24					
Classif.	Ano	Classe de uso e ocupação do solo	Classif.	Ano	Classe de uso e ocupação do solo
Muito Chuvoso	1985	Solo exposto	Seco	2003	Vegetação espaçada
Muito Seco	1993	Vegetação espaçada	Muito Chuvoso	2004	Vegetação espaçada
Normal	1995	Vegetação espaçada	Normal	2005	Solo exposto
Muito Seco	1998	Vegetação espaçada	Chuvoso	2007	Solo exposto
Seco	1999	Vegetação espaçada	Chuvoso	2009	Solo exposto



Figura 34. Imagens do Google Earth mostrando as alterações no ponto 24, entre os anos de 2006 e 2017.

### 7.4.7. Ponto 25

O último ponto em destaque, o ponto 25, apresentou alternância na classificação de uso e ocupação do solo, por possuir a superfície recoberta por vegetação espaçada e pela substituição por solo exposto durante os anos (Tabela 25), vindo a se torna área de urbanização (Figura 35). Dentre os pontos analisados o ponto 25 obteve duas maiores variações da temperatura noturna no Aqua-noite, com 2,28°C e 2,26°C nos anos de 2016 e 2005, respectivamente. A variação da temperatura noturna da amostra Terra-noite em relação a média das imagens MOD11C3 ficou entre 0,4°C e 2,52°C. A análise de tendência dos dados para 2029, mostrou o aumento de até 1,78°C na amostras terra-noite e 1,3°C na amostra aqua-noite, quando comparados a média registradas nas imagens dos produtos MODIS – MOD11C3 e MYD11C3, respectivamente.

Tabela 25. Classes de uso e ocupação do solo identificadas no ponto 25 nos anos analisados.

PONTO 25					
Classif. Chuvosa	Ano	Classe de uso e ocupação do solo	Classif. Chuvosa	Ano	Classe de uso e ocupação do solo
Muito Chuvoso	1985	Solo exposto	Seco	2003	Solo exposto
Muito Seco	1993	Vegetação espaçada	Muito Chuvoso	2004	Solo exposto
Normal	1995	Vegetação espaçada	Normal	2005	Solo exposto
Muito Seco	1998	Solo exposto	Chuvoso	2007	Vegetação espaçada
Seco	1999	Vegetação espaçada	Chuvoso	2009	Vegetação espaçada



Figura 35. Imagens do Google Earth mostrando as alterações no ponto 25, entre os anos de 2006 e 2017.



O uso das Normais Climatológicas (valor padrão reconhecido de um elemento meteorológico, considerando a média de sua ocorrência em um determinado local, por um número determinado de anos) permite dentro da análise climatológica clássica o acompanhamento e classificação climática de determinada região.

Segundo a Organização Mundial de Meteorologia (OMM) para estudos de caracterização climática pode-se utilizar dados meteorológicos de estações localizadas até um raio de 150 km.

De acordo com Marengo et al. (2011), no Brasil, a temperatura média aumentou aproximadamente 0,75°C até o final do Século XX, considerando a normal climatológica (1961-1990) de 24,9°C.

As amostras analisadas apresentaram tendência de aumento da temperatura noturna local em 0,22°C e 0,23°C ao ano, nos próximos 10 anos. Corroborando com o 4º Relatório do IPCC – 2007 (SOLOMON, 2007) que projeta um aquecimento de cerca de 0,2°C por década para uma faixa de cenários de emissões do RECE (Relatório Especial sobre Cenários de Emissões).

Resultados semelhantes encontrados por Ferreira e Alves (2015) averiguando a existência de uma tendência de mudanças climática com as temperaturas máximas e mínimas, e a precipitação no período de 1974 a 2011, na cidade de Arcoverde. Onde encontraram para temperatura mínima a tendência com um aumento anual de 2,0 °C no período estudado.

Ainda, de acordo com o IPCC - 2007, no Brasil, dependendo do cenário de emissão de gases na atmosfera os aumentos de temperatura são estimados em torno de 1°C a 6°C, o que deverá aumentar a evaporação à superfície e, por sua vez alterações no balanço hídrico da vegetação natural e das culturas agrícolas.

A amostra terra-noite apresentou temperaturas variando entre 16,7°C e 21,2°C com tendência de aquecimento de até 2,53°C. Enquanto que a amostra aqua-noite, registrou temperaturas variando entre 15,5°C e 20°C com tendência de aumento de 2,3°C, usando como referência a média da temperatura dos produtos MODIS - MOD11C3 (2000 – 2015) e MYD11C3 (2002 a 2015).

## 8. Conclusões

A utilização de técnicas de classificação MAXVER e confecção das cartas temáticas de uso e ocupação do solo para a região, demonstrou-se bastante satisfatória. Apresentou, no entanto, pequenas distorções da área real em estudo, resultante da similaridade de assinaturas espectrais em determinados alvos ser erroneamente classificada por apresentarem o número digital próximos aos de outras classes.

No município, a distribuição temporal da precipitação pluviométrica ocorreu de forma irregular e com alta variabilidade mensal e anual, fazendo predominar os climas Semiárido e Subúmido na maioria dos anos.

Observou-se o aumento da temperatura noturna da superfície em toda a área de estudo, independente da classe de uso e ocupação do solo. As amostras de área urbana e solo exposto são responsáveis pelos maiores aumentos térmicos à atmosfera local.

Nas análises das séries históricas de temperatura noturna, observou-se que ao longo da série a temperatura da superfície apresentou aumento, enquanto os índices de vegetação apresentaram diminuição.

Na análise da previsão para 2029, a variação da temperatura noturna mostrou-se diferente para cada tipo de cobertura, com acentuado aumento nas áreas sobre interferência antrópica.

Não foram correlacionadas as variações com outras regiões no mesmo período de tempo para diferenciar os impactos internos e externos ao município, devido à ausência de uma base de dados climáticos sem falhas, como pela indisponibilidade de dados socioeconômicos atualizados para outras regiões no mesmo período de tempo.

## 9. Referências

ALLEY, W.M., The Palmer drought severity index: limitations and assumptions. *Journal of Climate and Applied Meteorology*, v.23, p.1100-1109, 1984.

AGÊNCIA PERNAMBUCANA DE ÁGUAS E CLIMA (APAC). B. Clima: sínt. Climática Dez/2016. Recife. v.4, n.12. p. 36, 2017.

ALMEIDA, D. N. O., OLIVEIRA, L. M. M., SILVA, C. B., BEZERRA, U. A., FARIAS, M.O., CANDEIAS, A.L.B. Análise das Bacias Hidrográficas do Rio Brígida, Rio Terra Nova e Grupo de Bacias de Pequenos Rios Interiores 9 (Gi9) de Pernambuco Usando Índices de Vegetação e de Umidade. In: Anais do XXVII Congresso Brasileiro de Cartografia. Rio de Janeiro – RJ: INPE, 2017.

AMIRI, R.; WENG, Q.; ALIMOHAMMADI, A.; ALAVIPANAH, S. K. Spatial-temporal dynamics of land surface temperature in relation to fractional vegetation cover and land use/cover in the Tabriz urban area, Iran. *Remote Sensing of Environment*, v.113, p.2606-2617, 2009.

AQUINO, C. M. S.; ALMEIDA, J. A. P.; OLIVEIRA, J. G. B. de. Análise da desertificação do núcleo de São Raimundo Nonato - Piauí. RBC. *Revista Brasileira de Cartografia (on-line)*, RJ, v. 64/3, jun. 2012.

AQUINO, C. M. S; DIAS, A. A; SANTOS, F. A. Análise Temporal do Ndvi da Bacia Hidrográfica do Rio Longá - Piauí – Brasil. *Revista Formação (ONLINE)*, v. 3, p.248-263, 2016.

AQUINO, C. S. E VALLADARES, G. S. V. S. Geografia, geotecnologias e planejamento ambiental. *Geografia*, v.22, p.117-138, 2013.

ARMANI, G.; PEREIRA, C. L.; CHRISTOFOLETTI, S. R. 2015. Padrões de cobertura e uso da terra e sua influência na temperatura do ar em Rio Claro, SP. *Revista do Instituto Geológico*, v. 36, n. 1, p. 1-19, 2015.

ARRAES, F. D. D., ANDRADE, E. M. DE; SILVA, B. B. Dinâmica do balanço de energia sobre o açude de Orós e suas adjacências. *Revista Caatinga*, v. 25, p.119-127, 2012.

ASSIS, J. M. O.; SOBRAL, M. C. M.; SOUZA, W. M. Análise de Detecção de Variabilidades Climáticas com Base na Precipitação nas Bacias Hidrográficas do Sertão de Pernambuco. *Revista Brasileira de Geografia Física*. v.3, p.630-645, 2012.

AZEVEDO, P.V., SILVA, V.P.R. Índice de seca de Bhalme & Mooley: uma adaptação regional. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 8; 1994, Belo Horizonte. Anais.... Belo Horizonte: SBMET, v. 2. p.696-699. 1994.

BASTIAANSEN, W.G.M. SEBAL-based sensible and latent heat fluxes in the irrigated Gediz Basin, Turkey. *Journal of Hydrology*, v.229. p. 87-100, 2000.

BATISTA JUNIOR, W. Identificação e avaliação dos fatores de ocorrência de secas na bacia do Rio Guandu – Espírito Santo. Minas Gerais: Universidade Federal de Viçosa, 2012. 147p. Tese de Doutorado.

BDE - Base de Dados do Estado de Pernambuco. Consumidores de energia elétrica 1985 – 2017. Disponível em: <<http://www.bde.pe.gov.br>> Acesso em: 10 de janeiro de 2019.

BEZERRA, J. M.; MOURA, G.B.A.; SILVA, B.B.; LOPES, P. O.; SILVA, E. F. F. Parâmetros biofísicos obtidos por sensoriamento remoto em região semiárida do estado do Rio Grande do Norte, Brasil. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. v.18, n.1, p.73-84, 2014.

BHALME, H. N.; MOOLEY, D. A. Large-scale droughts/floods and monsoon circulation. *Monthly Weather Review*, v. 108, n. 8, p. 1197-1211, 1980.

BIUDES, M. S., MACHADO, N. G., DANELICHEN, V. H. M., SOUZA, M. C., V OURLITIS, G. L., NOGUEIRA, J. S. (2014). Ground and remote sensingbased measurements of leaf area index in a transitional forest and seasonal flooded forest in Brazil. *International Journal of Biometeorology*, 58, 1181–1193.

BRANDÃO, Z. N.; BEZERRA, M. V. C.; FREIRE, E. C.; SILVA, B. B. - Determinação de índices de vegetação usando imagens de satélite para Agricultura de precisão – 5º Congresso Brasileiro de Algodão, Salvador – BA, 2005.

BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, DOS RECURSOS HÍDRICOS E DA AMAZÔNIA LEGAL (MMA). Convenção das Nações Unidas de combate à

desertificação: Nos países afetados por seca grave e/ou desertificação, particularmente na África. 2. ed. Brasília, DF: MMA: Plano Nacional de Combate à Desertificação, 95 p. 1998.

CAMACHO, R. G. V.; BAPTISTA, G. M. M. Análise geográfica computadorizada aplicada à vegetação da caatinga em unidades de conservação do Nordeste: a) Estação Ecológica do Seridó–ESEC. RN/Brasil. In: JCN Epiphany & GJF Banon (eds.). Anais do XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia. INPE, São José dos Campos, v. 1, p. 2611-2618, 2005.

CARREIRAS, J. M. B.; PEREIRA, J. M. C.; CAMPAGNOLO, M. L.; SHIMABUKURO, Y. E. Assessing the extent of agriculture/ pasture and secondary succession forest in the Brazilian Legal Amazon using Spot Vegetation data. *Remote Sensing of Environment*, v.101, p.283-298, 2006.

CARVALHO, D. A.; BRITO, G. H. M.; BLAMIRE, D. Mapeamento da vegetação nativa e uso da terra em Diorama, Estado de Goiás. In: Anais do Congresso de Ensino, Pesquisa e Extensão da UEG (CEPE) (ISSN 2447-8687). 2016.

CAVALCANTI, I. F.A. Episódios El Niño/Oscilação Sul durante a década de 1986 a 1996 e suas influências sobre o Brasil. *Boletim de Monitoramento e Análise Climática-Climanálise*. Edição especial comemorativa de, v. 10, 1996.

CAVALCANTI, R. C.; ARAÚJO, N. C. F. DE. O uso de energia de biomassa no Bioma Caatinga. *Semana do meio ambiente*. Recife: Fundação Joaquim Nabuco. Recife. 2008.

CHAGAS, M. das G. S. das; GALVÍNCIO, J. D.; PIMENTEL, R. M. de M., 2008. Avaliação da dinâmica espectral da vegetação da caatinga em Arcoverde, PE. *Revista de Geografia*, v. 25, nº 2, pp. 45-60.

CHECHI, L.; SANCHES, F.O. O Uso do Índice de Anomalia de Chuva (IAC) na avaliação do Fenômeno do El Niño Oscilação Sul (ENOS) no Alto Uruguai Gaúcho entre 1957-2012. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 6, 2013.

CLIMANÁLISE: *Boletim de Monitoramento e Análise Climática*, v.8, n.5, 1993.

CLIMANÁLISE: Boletim de Monitoramento e Análise Climática, v. 24, n.1-6, 2009.

COELHO, V. H.; MONTENEGRO, S. M.; ALMEIDA, C. D. N.; LIMA, E. R.; NETO, A. R.; MOURA, G. S. Dinâmica do uso e ocupação do solo em uma bacia hidrográfica do semiárido brasileiro. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.18, p.64-72, 2014.

COLL, C.; WAN, Z.; GALVE, J. M. Temperature-based and radiance-based validations of the V5 MODIS land surface temperature product. Journal of Geophysical Research, v.114, 2009.

COLLARES, E. G. Avaliação de alterações em redes de drenagem de microbacias como subsídio ao zoneamento geoambiental de bacias hidrográficas: aplicação na bacia hidrográfica do Rio Capivari – SP. São Carlos – SP: Escola de Engenharia de São Carlos (USP), 2000, 211p. Tese de Doutorado.

COLLINS, J. M.; CHAVES, R.; MARQUES, V. S. Temperature variability over South America. Journal of Climate, Boston, v.22, p.5854-5868, 2009.

CONRAD, C., DECH, S. W., HAFEEZ, M., LAMERS, J., MARTIUS, C., STRUNZ, G. Mapping and assessing water use in a Central Asian irrigation system by utilizing MODIS remote sensing products. Irrigation and Drainage Systems, v. 21, p. 197-218, 2007.

COSTA, A. L. Determinação de parâmetros biofísicos na região de Araripina - Pernambuco com técnicas de sensoriamento remoto. Recife –PE: Universidade Federal Rural de Pernambuco, 2014. Dissertação de Mestrado.

CPTEC - CENTRO DE PREVISÃO DE TEMPO E ESTUDOS CLIMÁTICOS, 2018. Disponível em: <<http://enos.cptec.inpe.br/>> Acesso em: 26 de novembro de 2018.

CUNHA, J. E. B. L.; RUFINO, I. A. A.; SILVA, B. B.; CHAVES, I. B. Dinâmica da cobertura vegetal para a Bacia de São João do Rio do Peixe, PB, utilizando-se sensoriamento remoto. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.16, p.539-548, 2012.

DANELICHEN, V. H. de M., BIUDES, M. S., Machado, N. G., VELASQUE, M. C. S., SILVA, B. B., NOGUEIRA, J. S. (2016). Uso do sensoriamento remoto na estimativa do índice de área foliar em floresta tropical. *Ciência e Natura*, v. 38, n. 3, 2016.

DATASUS. Tecnologia da Informação a serviço do SUS. População residente no Município de Arcoverde (2018). Disponível em: <http://tabnet.datasus.gov.br>. Acesso em 10 de janeiro de 2019.

DEMATTÊ, J. A. M.; MORETI, D.; VASCONCELOS, A. C. F.; GENÚ, A. M. Uso de imagens de satélite na discriminação de solos desenvolvidos de basalto e arenito na região de Paraguaçu Paulista. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. v.40, p.697-706, 2005.

EPIPHANIO, J. C. N.; GLERIANI, J. M.; FORMAGGIO, A. R.; RUDORFF, B. F. T. Índices de vegetação no sensoriamento remoto da cultura do feijão. *Pesquisa agropecuária brasileira*, v. 31, p. 445-454, 1996.

FAO - Agriculture Organization of the United Nations. Fisheries Department. The State of World Fisheries and Aquaculture, 2000. Food & Agriculture Org., 2000

FELTRAN-FILHO, A. F.; LIMA, S. C.; ROSA R. Mapeamento do uso do solo no município de Uberlândia – MG, através de imagens TM/LANDSAT. *Sociedade & Natureza*. v.1, p.122-141, 1989.

FERREIRA, F. F. ALVES, J. M. B. Avaliação de mudanças climáticas no semi-árido do nordeste do Brasil. *Engenharia Ambiental*, v. 12, p. 53 -72, 2015.

FERREIRA, Gustavo Henrique Soares. Aplicação do algoritmo para detecção de mudanças em dados contínuos do sensor MODIS na bacia hidrográfica do Alto Xingu-MT como auxílio à gestão territorial. 2016.

FOODY, G.M.; PALUBINSKAS, G.; LUCAS, R.M.; CURRAN, P. J.; HONZAK, M. Identifying terrestrial carbon sinks: classification of successional stages in regenerating tropical forest from Landsat TM data. *Remote Sensing of Environment*, v.55, p.205-216, 1996.

FORTES, C. Discriminação varietal e estimativa de produtividade agroindustrial de cana-de-açúcar pelo sensor orbital ETM+/Landsat 7.

Piracicaba: Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" - ESALQ-USP, 2003, 131p. Dissertação de Mestrado.

FRANÇA, L. M. A. Impactos das ações antrópicas e do clima no uso e ocupação do solo na Bacia Hidrográfica do Rio Pajeú. Recife: UFPE, 2017, 78p. Dissertação de Mestrado.

FREITAS, R. M.; ARAI, E.; ADAMI, M.; SOUZA, A. F.; SATO, F. Y.; SHIMABUKURO, Y. E.; ROSA, R. R.; ANDERSON, L. O.; RUDORFF, B. F. T. Virtual laboratory of remote sensing time series: visualization of MODIS EVI2 data set over South America. *Journal of Computational Interdisciplinary Sciences*, v.2, p.57-68. 2011.

GALO, M.L.B.T.; VELINI, E.D.; TRINDADE, M.L.B.; SANTOS, S.C.A. Uso do sensoriamento remoto orbital no monitoramento da dispersão de macrófitas nos reservatórios do complexo Tietê. *Planta Daninha, Viçosa-MG*, v.20, p.7-20, Edição Especial, 2002.

GIONGO, P. R. Estimativa do balanço de radiação com técnicas de sensoriamento remoto e dados de superfície. Recife: Universidade Federal Rural de Pernambuco. 2008, 92 p. Dissertação de Mestrado.

GOMES, L. C. F.; SANTOS, C. A. C.; ALMEIDA, H. A. Balanço de energia à superfície para a cidade de Patos-PB usando técnicas de sensoriamento remoto. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 6, p. 15-28, 2013.

GÓMEZ, C.; WHITE, J. C.; WULDER, M. A. Characterizing the state and processes of change in a dynamic forest environment using hierarchical spatio-temporal segmentation. *Remote Sensing of Environment*, v.115, p.1665-1679, 2011.

GUILLEVIC, P.; GÖTTSCHE, F, NICKESON J.; HULLEY, G.; GHENT, D.; YU, Y.; TRIGO, I.; HOOK, S.; SOBRINO, J. A.; REMEDIOS, J.; ROMÁN, M. Land Surface Temperature Product Validation Best Practice Protocol. Version 1.0. Best Practice for Satellite-Derived Land Product Validation. v.60, 2017.

GUIMARÃES, S. C. P.; SILVA, H. R. O. Monitoramento da área urbana de Porto Velho-RO ao longo de 27 anos, utilizando imagens de satélite. *Terr@ Plural*, v. 9, p.140-156, 2015.



HAYLOCK, M. R.; PETERSON, T. C.; ALVES, L. M. Trends in total and extreme South American rainfall in 1960-2000 and links with sea surface temperature. *Journal of Climate*, v.19, p.1490-1512, 2006.

HENNING E.; ALVES C.C.; KONRATH, A.C. Previsão de vendas de rodízios para móveis em uma empresa de médio porte. In: ICPR AMERICAS - 5th Americas International Conference on Production Research, Bogotá, Colômbia, 2010. Proceedings... Bogotá: 2010.

HUETE, A. R. - A soil-adjusted vegetation index (SAVI) - Remote Sensing of Environment. v.25, p.295-309, 1988.

HULLEY, G. C.; HUGHES, C. G.; HOOK, S. J. Quantifying uncertainties in land surface temperature and emissivity retrievals from ASTER and MODIS thermal infrared data. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, v.117, 2012.

INFOCLIMA - Boletim de Informações Climáticas. Ano 10, n. 1-12, 2003.

INFOCLIMA - Boletim de Informações Climáticas. Ano 14, n. 1 -12, 2007.

INFOCLIMA - Boletim de Informações Climáticas. Ano 11, n. 1-12, 2004.

INFOCLIMA - Boletim de Informações Climáticas. Ano 12, n. 1-12, 2005.

INFOCLIMA - Boletim de Informações Climáticas. Ano 6, n.1-12, 1999.

INSTITUTO AGRONÔMICO DE PERNAMBUCO (IPA). Disponível em: [www.ipa.br/novo/pdf/patipa20162019vi.pdf](http://www.ipa.br/novo/pdf/patipa20162019vi.pdf). Acesso em: 15 de março de 2018.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Biomas. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/21052004biomashtml.shtm> Acesso em 10 de maio de 2018.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). BDMEP–Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa. 2018.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE) – SPRING. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/index.html>. Acesso em: 22 de outubro de 2018.

JANOWIAK, J.E.; ROPELEWSKI, C.F.; HALPERT, M.S. The precipitation anomaly classification: a method for monitoring regional precipitation deficiency and excess on a global scale. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, v.25, p.565-574. 1986.

JENSEN, J. R. Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres / tradução José Carlos Neves Epiphany et al. São José dos Campos. SP. 2009.

LATORRE, M. L.; ANDERSON, L. O.; SHIMABUKURO, Y. E.; CARVALHO JÚNIOR, O. A. de. Sensor MODIS: Características gerais e aplicações. *Revista Espaço e Geografia*, v.6, p.91-121, 2003.

LEAL, I.R.; SILVA, J.M.da; TABARELLI, M.; LACHER JR, T.E. Mudando o curso da conservação da biodiversidade na Caatinga do Nordeste do Brasil. *Megadiversidade*, v.1, p. 139-146. 2005.

LI, H.; SUN, D.; YU, Y.; WANG, H.; LIU, Y.; LIU, Q.; DU, Y.; WANG, H.; CAO, B. Evaluation of the VIIRS and MODIS LST products in an arid area of Northwest China. *Remote Sensing of Environment*, v.142, p.111-121, 2014.

LIRA, V. M. DE; OLIVEIRA, F. M. DE; DANTAS, R. T.; SOUZA, W. M. DE. Alterações da precipitação em municípios do Estado de Pernambuco. *Engenharia Ambiental*, v. 3, n. 1, p. 52-61, jan/jun 2006.

LOPES, P. M. O.; MOURA, G. S. S. Estudo de caso: índice de umidade do solo utilizando imagens do sensor MODIS para o município de Belém do São Francisco, PE. In: I Workshop Internacional Sobre Água no Semiárido Brasileiro, 2013, Campina Grande. I Workshop Internacional Sobre Água no Semiárido Brasileiro, 2013.

LOPES, P. M. O.; VALERIANO, D. M.; SOARES, J. V. Temperatura de brilho recuperada de dados de satélite. In: XIII Congresso Brasileiro de Meteorologia, 2004, Fortaleza. XIII Congresso Brasileiro de Meteorologia, 2004. v. Único.

LOURENÇO, R. W.; LANDIM, P. M. B. 2004. Estudo da variabilidade do índice de vegetação por diferença normalizada/NDVI utilizando krigagem indicativa. *Holos Environment*, v. 4, n. 1, p. 38-55.

MACEDO, M.J.H.; GUEDES, R.V.S.; SOUZA, F.A.S.; DANTAS, F.R.C. Análise do índice padronizado de precipitação para o estado da Paraíba, Brasil. *Ambi-Agua*, v. 5, p. 204-214, 2010.

MARENGO, J. A. Vulnerabilidade, impactos e adaptação à mudança do clima no semi-árido do Brasil. *Parcerias estratégicas*, v. 13, p. 149-176, 2010.

MARENGO, J. A.; ALVES, L. M.; BESERRA, E. A.; LACERDA, F. F. Variabilidade e mudanças climáticas no semiárido brasileiro. Recursos hídricos em regiões áridas e semiáridas. Instituto Nacional do Semiárido Campina Grande – PB. cap.13. p. 382-422, 2011.

MATALLO JÚNIOR, H. Indicadores de desertificação: histórico e perspectivas. Brasília: UNESCO. 2001. 126 p.

MELO, J. B. Caracterização biométrica do remanescente da raça equina Nordestina nos estados de Pernambuco e Piauí. Recife: Universidade Federal Rural de Pernambuco, 2011, 118p. Tese de Doutorado.

MENDES, A. M. P. Índice de conforto térmico e zoneamento bioclimático para ovinos da raça Dorper no Estado de Pernambuco. 2014. 161p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife.

MESSIAS, C. G.; FERREIRA, M. C. (2017). Dinâmica espacial do uso do solo e da expansão agrícola no Parque Nacional da Serra da Canastra (MG) entre 2000 e 2015, utilizando perfis espectro-temporais do sensor MODIS. Ebook: Os Desafios da Geografia Física na Fronteira do Conhecimento: XVII SGBFA e I CNGF, p. 7126-7139, 2017.

MMA e IBAMA - Ministério do Meio Ambiente e Instituto Brasileiro do Meio Ambiente (MMA) e Recursos Naturais Renováveis (IBAMA). Monitoramento do Desmatamento nos Biomas Brasileiros por Satélite. Centro de Sensoriamento Remoto – CSR/IBAMA Brasília, 2010.

MODIS - Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer. Disponível em: <https://modis.gsfc.nasa.gov/>. Acesso em: 22 de outubro de 2017.

MONTEIRO, J. B.; ROCHA, A. B.; ZANELLA, M. A. Técnica dos quantis para caracterização de anos secos e chuvosos (1980-2009): Baixo Curso do Apodi-

Mossoró/Rn. Revista do Departamento de Geografia – USP, v.23, p. 232-249, 2012.

MORAIS, E. C. Fundamentos de Sensoriamento Remoto. São José dos Campos, SP: DSR/INPE, 2002.

MOREIRA, M.A. Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação. 2ªed., Viçosa, UFV. 2003.

MOURA, G., SOUZA, I., ARAGÃO, J., PASSAVANTE, J., LACERDA, F., RODRIGUES, R.; LACERDA, F. Estudo preliminar da variabilidade pluviométrica do setor leste do Nordeste do Brasil: parte I. In X CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA. (1998)

NEVES, J. A. Um índice de susceptibilidade ao fenômeno da seca para o semiárido nordestino. Recife: Universidade Federal de Pernambuco, UFPE, 2010, 181p. Tese de Doutorado.

OLIVEIRA, F. M., LIRA, V. M., DANTAS, R. T., SOUZA, W. M. Variabilidade temporal da precipitação em municípios localizados em diferentes sub-regiões do estado de Pernambuco. Caminhos de Geografia Uberlândia v. 6, n. 19 out/2006 p. 175-184

OLIVEIRA, Fernando. Detecção de depressões cársticas a partir de classificação espectral e morfológica de imagens de sensoriamento remoto na região do Alto rio Paracatu (MG). Curso de Especialização em Geoprocessamento. Departamento de Cartografia. Instituto de Geociências. UFMG. 2010.

PALMER, W.C. Meteorological drought. Res. Paper Nº.45. U. S. Weather Bureau, 58p. [NOAA Library and Information Services] Division, Washington, D.C. 20852. 1965.

PAMPUCH, L. A.; FERRAZ, S. E. T. Investigação do modo sul em dados de precipitação no período de 1982 a 2006 no estado do Rio Grande do Sul. Revista Brasileira de Meteorologia. v.27, p.107-116, 2012.

PENEREIRO, J. C; MESCHIATTI, M. C. VARIABILIDADES E TENDÊNCIAS CLIMÁTICAS NOS MÁXIMOS DO INVERNO E VERÃO NO BRASIL. Revista Brasileira de Climatologia, v. 21, 2017.

PERNAMBUCO. Secretaria de Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente. Atlas de bacias hidrográficas de Pernambuco. Simone Rosa da Silva (Org.), Recife: Ed. A secretaria. 2006.

PILZ, H. e STROBL, J. Análise de impermeabilização com base em ortofotografias aéreas coloridas digitais através de processamento de imagens orientadas a objetos. In: Kux H, Blaschke T. Sensoriamento remoto e SIG avançados. São Paulo: Oficina de Textos; 2005.

PINKAYAN, S. Conditional probabilities of occurrence of wet and dry years over a large continental area. Fort Collins, Colorado-USA: Hydrology Colorado State University, 1966.

QI, J.; KERRY, H.; MORAN, M.S.; WELTZ, M.; HUETE, A. R. SOROOSHIAN; S., BRYANT, R. Leaf area index estimates using remotely sensed data and BRDF model in a semiarid region. Remote Sensing of Environment, v.73, p.18-30, 2000.

ROLIM, G.S., SENTELHAS, P.C., BARBIERI, V. Planilhas no ambiente EXCEL TM para os cálculos de balanços hídricos: normal, sequencial, de cultura e de produtividade real e potencial. Revista Brasileira de Agrometeorologia, Santa Maria, v. 6, n.1, p133-137,1998.

ROOY, M.P. van. A rainfall anomaly index independent of time and space. Notos, v.14, 43p. 1965.

ROSA R. Geotecnologias na geografia aplicada. Revista do Departamento de Geografia. v.16, p.81-90, 2011.

ROUSE, J. W. et al. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. In: NASA ERTS SYMPOSIUM. v. 3, p. 309-17, 1973.

RUBERT, C.e MACIEL, E. A. P. Uso de sistemas de informações geográficas na análise dos programas de controle do desmatamento da Amazônia. Revista de Ciências Exatas e Tecnologia, v. 4, p. 75-89, 2015.

SÁ, I. I. S.; GALVÍNIO, J. D.; MOURA, M. S. B.; SÁ, I. B. Avaliação da Degradação Ambiental na Região do Araripe Pernambucano Utilizando Técnicas de Sensoriamento Remoto. Revista Brasileira de Geografia Física, v.6, p.1292-1314, 2011.

SALLES, A. T.; VALÉRIO FILHO, M.; FLORENZANO, T. G. Monitoramento da cobertura vegetal e do uso do solo da reserva indígena Caarapó-MS, através de técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento. *Multitemas*, p.100-132, 1998.

SAMPAIO, E. V. S. B. Caracterização da caatinga e fatores ambientais que afetam a ecologia das plantas lenhosas. p. 129-142. In: V.C. Sales (ed.). *Ecosistemas brasileiros: manejo e conservação*. Fortaleza, Expressão Gráfica e Editora. 2003.

SANTOS, A. M.; GALVÍNCIO, J. D. Mudanças climáticas e cenários de susceptibilidade ambiental à desertificação em municípios do estado de Pernambuco. *OBSERVATORIUM: Revista Eletrônica de Geografia*, v. 5, 2013.

SANTOS, J.R.; LACRUZ, M.S.P.; KEIL, M.; KUX, H.J.H.; XAUD, M.R. Análise da imagem JERS-1 para estimativa da biomassa aérea de florestas tropicais no sudoeste da Amazônia. In: *Anais IX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, INPE. p.1517-1523, 1998.

SANTOS, P.; NEGRI, A. J. A comparasion of the normalized difference vegetation index and rainfall for the Amazon and northeastern Brazil. *Journal of applied meteorology*, v. 36, p. 958-965, 1997.

SANTOS, W. S.; HENRIQUES, I. G. N.; SANTOS, W. S.; RAMOS, G. G.; VASCONCELOS, G. S.; VASCONCELO, A. D. M. Análise florística-fitosociológica e potencial madeireiro em área de caatinga submetida a manejo florestal. *Agropecuária Científica no Semiárido - Centro de Saúde e Tecnologia Rural*, v.13, p.203-211, 2017.

SHIMABUKURO, Y. E.; MAEDA, E. E.; FORMAGGIO, A.R. Sensoriamento Remoto e Sistemas de Informações Geográficas aplicados ao estudo dos recursos agrônômicos e florestais. *Revista Ceres*, v.56, p.399-409, 2009.

SILVA, A. P. N.; MOURA, G. B. A.; GIONGO, P. R.; SILVA, A. O. Dinâmica Espaço Temporal da Vegetação no Semiárido de Pernambuco. *Revista Caatinga*, v.22, p.195-205, 2009.

SILVA, B. B. DA; LOPES, G. M.; AZEVEDO, P. V. Determinação do albedo de áreas irrigadas com base em imagens Landsat 5 TM. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, v.13, p.201- 211, 2005.

SILVA, B. B.; BEZERRA, M. V. C. Determinação dos fluxos de calor sensível e latente na superfície utilizando imagens TM - LANDSAT 5. Revista Brasileira de Agrometeorologia, Sete Lagoas, v. 14, p. 1-10, 2006.

SILVA, B. B.; BRAGA, A. C.; BRAGA, C. C. Balanço de radiação no perímetro irrigado São Gonçalo, PB mediante imagens orbitais. Revista Caatinga, v.24, p.145-152, 2011.

SILVA, B. B.; SILVA, S. T. A.; GOMES, H. B. Alterações Climáticas Decorrentes de Mudanças no Uso da Terra Mediante Sensoriamento Remoto. Mercator, v. 9, p.91-106, 2010.

SILVA, C. J., DE FRANÇA, M. V., DE MEDEIROS, R. M.; HOLANDA, R. M. O índice de aridez e sua tendência a desertificação na bacia do rio Ipojuca-PE. Journal of Environmental Analysis and Progress, v. 4, p. 021-030, 2019.

SILVA, D.F.S.; SOUSA, A.B.; MAIA, L.M.; RUFINO, L.L. Efeitos da associação de eventos de ENOS e ODP sobre o Estado do Ceará. Revista de Geografia, v.29, p.114-135, 2012.

SILVA, J. A. A.; MELO, M. R. C. S.; BORDERS, B. E. A volume equation for mangrove trees in northeast Brazil. Forest Ecology and Management, v.58, p.129-136, 1993.

SILVA, J. M. C.; TABARELLI, M.; FONSECA, M. V. Biodiversidade da Caatinga: Áreas e ações prioritárias para a conservação. Ministério do Meio Ambiente, Brasília, 2002.

SILVA, J.M.C.; TABARELLI, M.; FONSECA, M. T.; LINS, L.V. Biodiversidade da Caatinga: áreas e ações prioritárias para a conservação. Ministério do Meio Ambiente. Brasília, 41p. 2003.

SILVA, T. G. F., MIRANDA, K. R., SANTOS, D. C., QUEIROZ, M. G., SILVA, M. C., NETO, J. F. C., E ARAÚJO, J. E. M. Área do cladódio de clones de palma forrageira: modelagem, análise e aplicabilidade. Revista Brasileira de Ciências Agrárias, v.9, p.633-641, 2014.

SILVA, V. M. Classificação de imagens por sensoriamento remoto: análise comparativa das metodologias pixel-a-pixel e segmentação por região. Universidade Federal de Minas Gerais – 2014, 41f. Monografia (especialização).

SOLOMON, S. (Ed.). IPCC 2007: climate change 2007: the physical science basis. Cambridge: Cambridge University Press, 2007. 996 p. Contributions of Working Group I to the Climate Change. Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. 2007.

SOUZA, I. A., LACERDA, F. F., ARAGÃO, J. O. R., MOURA, G. B. D. A., FERREIRA, M. A. F., FERREIRA, F., & SILVA, C. Influência do El Niño no comportamento pluviométrico do Estado de Pernambuco durante o ano de 1998. in: Anais do XI Congresso Brasileiro de Agrometeorologia e II Reunião Latino-Americana de Agrometeorologia CD ROM, Florianópolis - SC, 1999.

SOUZA, W. M.; AZEVEDO, P. V.; ARAÚJO, L. E. Classificação da Precipitação Diária e Impactos Decorrentes dos Desastres Associados às Chuvas na Cidade do Recife-PE. Revista Brasileira de Geografia Física. v.02, p.250-268. 2012.

THORNTHWAITE, C. W. An approach towards a rational classification of climate. Geographical Review, London, v. 38, n. 1, p. 55-94, 1948.

THORNTHWAITE, C.W.; MATHER, J.R. The water balance. Centerton, NJ: Drexel Institute of Technology - Laboratory of Climatology, 1955. 104p. (Publications in Climatology, vol. VIII, n.1)

TUCKER, C.J., Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. Remote Sensing of Environment, v. 8, p. 127-150, 1979.

UDA, P. K. E. Avaliação da evapotranspiração real da bacia do alto Rio Negro, região sul brasileira, por meio do modelo SEBAL. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina. 2012, 163p. Dissertação de Mestrado.

UNEP. United Nations Environment Programme. Word Atlas off Desertification. Londres: UNEP/Edward Arnold, 1992. 69p.

USGS - United States Geological Survey. MYD11C3. Disponível em: [https://lpdaac.usgs.gov/dataset\\_discovery/modis/modis\\_products\\_table/myd11c3\\_v006](https://lpdaac.usgs.gov/dataset_discovery/modis/modis_products_table/myd11c3_v006). Acesso em: 10 de setembro de 2018.

VAEZA, R.F. Uso e Ocupação do Solo em Bacia Hidrográfica Urbana a Partir de Imagens Orbitais de Alta Resolução. Revista da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, v.17, p.23-29, 2010.



VICENTE, L. A.; PETERSON, T. C.; BARROS, V. R.; MARINO, M. B.; RUSTICUCCI, M.; CARRASCO, G.; RAMIREZ, E.; ALVES, L. M.; AMBRIZZI, T.; BERLATO, M. A.; GRIM, A. M.; MARENGO, J. A.; MOLION, L.; MONCUNILL, D. F.; REBELLO, E.; ANUNCIAÇÃO, Y. M. T.; QUINTANA, J.; SANTOS, J. L.; BAEZ, J.; CORONEL, G.; GARCIA, J.; TREBEJO, I.; BIDEGAIN, M.; HAYLOCK, M. R.; KAROLY, D. Observed trends in indices of daily temperature extremes in South America 1960 - 2000. *Journal of Climate*, v.18, p.5011-5023. 2005.

WAN, Z. Collection-6 MODIS Land Surface Temperature Products Users' Guide. ERI, University of California, Santa Barbara, 2013.

WAN, Z. e LI, Z. L. Radiance-based validation of the V5 MODIS land-surface temperature product. *International Journal of Remote Sensing*. v.17-18, p.5373-5395, 2008.

WAN, Z. New refinements and validation of the collection-6 MODIS land-surface temperature/emissivity product. *Remote Sensing of Environment*, v. 140, p. 36-45, 2014.

WAN, Z., HOOK, S., HULLEY, G. MOD11C3 MODIS/Terra Land Surface Temperature/Emissivity Monthly L3 Global 0.05Deg CMG V006 [Data set]. NASA EOSDIS LP DAAC. doi: 10.5067/MODIS/MOD11C3.006. (2015)

WAN, Z., ZHANG, Y., ZHANG, Q.; LI, Z. L. Validation of the land-surface temperature products retrieved from Terra Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer data. *Remote sensing of Environment*, v. 83, n. 1-2, p. 163-180, 2002.

WARRICK, A. W. Spatial variability. In: HILLEL, D. *Environmental soil physics*. San Diego: Academic Press, 1998. P.655-675.

WATSON, D. J. Comparative physiological studies on growth of field crops: I. Variation in net assimilation rate and leaf area between species and varieties, and within and between years. *Annals of Botany*, v. 11, p. 41-76, 1947.

WENG, Q. A remote sensing-GIS evaluation of urban expansion and its impact on surface temperature in the Zhujiang Delta, China. *International Journal Remote Sensing, Bethesda*, v.22, n.10, p.1999-2014, 2001.

WIENGAND, C. L.; RICHARDSON, A. J.; ESCOBAR, D. E. Vegetation indices in crop assessment. *Remote Sensing of Environment*, v. 35, p.105-109, 1991.

WISCHMEIER, W. H.; JOHNSON, C. B.; CROSS, B. V. A. 1971. Soil erodibility nomograph for farmaland and construction sites. *Journal of Soil and Water Conservation*, n. 26, p. 189-193.

XAVIER, T. M. B. S.; SILVA, J. F.; REBELLO, E. R. G. *A Técnica do Quantis*. Editora Thesaurus LTDA, Brasília - DF. 140 p, 2002.

XAVIER, T.M.B.S.; XAVIER, A.F.S. Classificação de anos secos e chuvosos na Região Nordeste do Brasil e sua distribuição espacial. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, 3; Belo Horizonte. Anais... Minas Gerais, Sociedade Brasileira de Meteorologia, v.1, p. 267-275, 1984.

XAVIER, T.M.B.S; XAVIER, A.F.S; ALVES, J.M.B. *Quantis e eventos extremos: aplicações em ciências da terra e ambientais*. Fortaleza: RDS, 278 p. 2007.

## 10. APÊNDICES

### APÊNDECE A - Média anual da temperatura noturna nos 30 pontos da amostra Terra-noite (2000-2017).

MODIS - Terra noite																														
Ano	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15	P16	P17	P18	P19	P20	P21	P22	P23	P24	P25	P26	P27	P28	P29	P30
2000	19,2	17,5	17,8	17,7	17,8	19,6	19,7	19,6	19,1	18,5	17,7	17,6	17,9	18,1	18,9	18,4	18,7	19,0	18,4	19,1	17,8	17,9	17,4	19,5	19,8	18,0	17,8	17,4	17,9	18,7
2001	20,2	18,7	18,3	17,8	18,3	20,3	20,4	20,4	19,9	19,3	17,9	17,5	18,4	17,9	19,8	18,7	19,2	19,8	18,1	19,5	17,3	18,0	17,8	20,1	20,4	18,4	18,5	17,8	17,7	18,2
2002	19,9	18,3	18,1	17,8	18,4	20,3	20,1	20,2	19,7	19,1	17,8	17,8	18,3	18,2	19,7	18,7	19,0	19,4	18,5	19,4	17,9	18,0	17,9	20,0	20,4	18,3	18,4	17,7	18,1	18,8
2003	20,8	19,2	18,7	18,5	19,0	21,0	21,0	21,0	20,7	20,0	18,6	18,3	19,2	18,7	20,4	19,4	19,7	20,5	19,2	20,1	18,3	18,5	18,5	20,8	20,9	19,1	18,9	18,4	18,7	19,6
2004	19,7	18,4	17,8	17,7	18,0	20,1	20,0	20,1	19,6	19,1	17,9	17,7	18,2	17,9	19,6	18,7	18,9	19,5	18,4	19,3	17,8	18,1	17,2	19,9	20,1	18,5	18,3	17,1	18,1	18,7
2005	20,1	18,5	18,1	18,1	18,1	20,4	20,2	20,3	19,9	19,3	18,2	18,1	18,6	18,2	19,7	19,0	19,0	19,7	18,5	19,8	17,7	18,2	18,0	20,5	20,5	18,4	18,5	17,8	18,1	18,6
2006	20,2	18,4	18,1	17,5	18,2	20,5	20,3	20,4	19,8	19,3	18,1	17,8	18,4	18,3	20,0	19,0	18,8	19,5	18,4	19,2	17,8	18,0	17,2	20,4	20,5	18,8	18,3	17,6	18,1	18,9
2007	19,8	18,4	18,0	17,7	18,2	20,0	20,1	20,2	19,6	18,9	17,9	17,8	18,0	17,9	19,5	18,6	18,8	19,5	18,3	19,3	17,9	18,1	17,7	19,7	20,1	18,6	18,5	17,8	17,9	18,4
2008	19,2	18,3	18,0	17,6	17,6	19,4	19,6	19,4	19,0	18,5	17,6	17,8	18,2	17,8	19,0	18,4	18,4	18,8	17,9	19,0	17,5	17,9	17,5	19,6	19,6	18,0	17,7	17,3	17,7	18,5
2009	20,0	18,8	18,3	18,2	17,9	20,2	20,0	19,8	19,8	19,5	18,2	18,0	18,6	18,4	19,6	18,8	19,2	19,6	18,3	19,8	18,0	18,2	18,1	20,1	20,3	18,9	18,2	18,1	18,2	19,3
2010	20,2	18,7	18,5	18,2	18,2	20,4	20,3	20,4	20,0	19,2	18,2	18,1	18,6	18,3	19,9	18,9	19,1	19,6	18,6	19,6	18,2	18,3	17,7	20,3	20,5	18,8	18,5	17,9	18,5	19,1
2011	18,8	17,9	17,8	17,0	17,4	18,8	19,2	19,4	18,7	18,5	17,3	17,5	17,8	17,9	18,5	18,1	18,1	18,7	17,8	18,6	17,4	17,7	16,7	18,9	19,1	17,7	17,5	16,9	17,8	18,4
2012	20,4	18,7	18,3	18,0	18,4	20,5	20,6	20,6	20,2	19,4	18,2	18,0	18,9	18,6	20,0	19,0	19,2	20,0	18,6	19,7	18,0	18,3	18,1	20,4	20,6	18,7	18,7	18,0	18,4	18,9
2013	20,5	19,0	18,7	18,2	18,8	20,7	20,7	20,9	20,3	19,7	18,4	18,4	18,9	18,7	20,0	19,2	19,6	20,2	19,0	19,9	18,5	18,8	18,2	20,7	20,8	19,1	19,0	18,4	19,1	19,4
2014	20,1	18,3	18,2	17,9	18,2	20,0	20,1	20,1	19,5	18,9	18,1	18,0	18,6	18,5	19,6	18,7	18,9	19,6	18,4	19,4	18,0	18,2	17,8	20,3	20,0	18,5	18,1	18,0	18,0	18,9
2015	20,8	19,1	18,9	18,1	18,6	20,9	20,4	20,8	20,5	19,9	18,6	18,3	19,3	19,0	20,3	19,4	19,7	20,4	19,0	20,1	18,3	18,7	18,4	20,7	21,0	19,2	19,0	18,5	19,1	19,6
2016	20,8	19,1	18,8	18,4	19,1	21,2	21,2	21,2	20,6	20,0	18,9	18,8	19,2	19,0	20,8	19,4	19,9	20,6	19,2	20,3	18,8	18,9	18,6	21,1	21,2	19,7	19,4	18,9	19,4	19,7
2017	20,3	18,7	18,2	17,8	18,4	19,6	19,8	19,8	20,1	19,2	17,9	18,1	18,6	18,4	19,4	18,6	19,1	19,8	18,6	19,5	17,7	18,2	17,7	20,0	19,7	18,4	18,7	17,8	18,4	18,6

**APÊNDECE B - Média anual da temperatura noturna nos 30 pontos da amostra Aqua-noite (2002-2017).**

MODIS – Aqua noite

Ano	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15	P16	P17	P18	P19	P20	P21	P22	P23	P24	P25	P26	P27	P28	P29	P30
2002	18,9	18,1	17,1	17,0	17,4	19,2	19,4	19,1	19,1	18,3	17,6	17,1	17,7	16,9	18,5	18,2	18,5	18,9	18,1	18,9	17,3	17,4	17,1	19,3	19,3	18,1	18,1	17,4	16,9	18,3
2003	19,7	18,4	17,9	17,6	17,3	19,8	19,5	19,6	19,5	19,0	17,9	17,6	18,4	17,9	18,9	18,7	18,9	19,4	18,5	19,4	17,7	17,7	17,6	19,8	19,8	17,9	17,6	17,6	17,7	19,1
2004	18,8	17,7	17,4	17,1	16,8	19,0	18,5	18,1	18,2	17,8	16,9	17,2	17,6	17,5	18,4	17,8	18,4	18,4	17,6	18,6	17,4	17,6	16,6	18,9	19,0	17,2	17,2	16,3	17,3	17,7
2005	19,7	17,9	18,1	17,5	17,5	19,7	19,2	19,3	19,1	18,1	17,9	17,8	18,3	18,0	19,0	18,4	18,9	19,0	18,3	19,0	17,9	17,9	17,2	19,7	20,0	17,9	17,8	17,3	18,1	18,8
2006	19,1	18,6	17,5	16,8	17,0	19,2	19,2	19,0	18,7	18,3	17,4	17,6	18,0	17,8	18,5	18,5	18,7	18,8	18,2	18,8	17,3	17,7	17,3	19,3	19,1	17,6	17,4	17,4	17,4	18,4
2007	19,2	17,9	17,4	17,0	16,9	19,0	18,5	19,1	18,3	18,3	17,1	17,0	17,6	17,2	18,7	17,8	17,7	18,4	17,8	18,2	17,1	17,3	16,8	19,2	19,0	17,5	17,2	17,1	17,1	18,2
2008	18,6	18,1	17,6	16,8	16,2	18,5	18,3	18,3	17,8	17,9	17,2	17,3	17,9	17,4	18,2	18,4	17,7	18,6	17,9	18,5	17,4	17,3	16,5	18,7	18,4	17,1	16,9	17,3	17,5	18,1
2009	19,0	18,1	18,3	17,7	17,7	19,4	19,1	19,2	18,7	18,6	17,9	17,7	18,3	18,0	19,5	18,7	18,8	18,9	17,9	18,9	17,7	17,9	17,5	19,5	19,6	18,1	17,9	17,5	17,9	18,2
2010	18,9	17,9	17,8	17,4	17,3	19,2	18,6	18,8	18,4	18,2	17,6	17,3	17,9	17,5	18,8	18,5	18,4	18,8	17,8	18,6	17,4	17,5	17,2	19,3	19,2	17,9	17,5	17,2	17,3	18,2
2011	18,2	17,4	17,2	16,7	16,3	18,3	17,7	17,8	17,6	17,4	16,9	16,7	17,3	17,1	17,8	17,8	17,9	17,9	17,6	17,9	16,7	16,7	15,5	18,4	18,1	16,8	16,4	15,8	16,3	17,6
2012	19,0	17,9	17,2	16,9	17,1	18,8	18,8	18,4	18,7	18,3	17,3	17,0	17,6	17,4	18,4	18,0	18,2	18,7	17,9	18,5	17,1	17,2	17,0	19,1	19,0	17,5	17,5	17,0	17,5	17,9
2013	19,3	18,6	18,0	17,2	17,5	19,7	19,4	19,1	18,9	18,7	18,0	17,8	18,2	18,1	19,0	18,9	18,8	18,9	18,5	19,1	17,8	17,7	17,1	19,2	19,8	17,7	17,6	17,3	17,8	18,6
2014	18,9	18,3	17,9	17,5	17,8	19,4	19,5	18,9	18,8	18,2	17,4	17,2	17,9	17,6	19,4	18,1	18,0	18,5	17,7	18,3	17,2	17,5	17,1	19,5	19,2	17,7	17,8	17,2	17,4	18,1
2015	19,3	18,1	17,2	16,9	17,2	19,5	19,3	19,4	18,8	17,9	17,1	17,0	17,9	17,4	18,6	18,0	18,1	18,8	17,6	18,6	17,0	17,2	16,8	19,6	19,4	17,7	17,1	17,0	17,1	18,0
2016	19,5	18,7	18,0	17,6	17,8	19,9	19,9	19,4	19,4	18,9	17,7	17,6	18,2	18,0	19,6	18,6	19,0	19,6	18,4	19,3	17,8	17,8	17,5	19,8	20,0	18,2	18,1	17,8	18,1	18,8
2017	19,7	18,2	17,4	16,9	17,2	18,9	18,9	18,5	19,1	18,3	17,2	16,9	17,6	17,3	18,2	18,2	18,4	19,1	17,8	19,1	16,9	17,1	16,9	19,2	19,0	17,9	17,5	17,0	17,2	17,7

**APÊNDECE C - Previsão da média anual da temperatura noturna nos 30 pontos da amostra Terra-noite (2019 – 2029).**

Previsão Terra-noite																														
Ano	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15	P16	P17	P18	P19	P20	P21	P22	P23	P24	P25	P26	P27	P28	P29	P30
2019	20,6	18,9	18,6	18,0	18,5	20,3	20,4	20,4	20,3	19,5	18,5	18,3	19,0	18,7	19,9	18,9	19,3	20,1	18,8	19,8	18,3	19,0	18,1	20,5	20,4	19,0	18,9	18,3	18,9	19,3
2020	20,6	19,0	18,6	18,0	18,6	20,3	20,4	20,1	20,4	19,4	18,5	18,4	19,0	18,8	20,0	18,9	19,4	20,2	18,8	19,8	18,3	18,3	18,1	20,5	20,4	18,7	18,9	18,3	18,9	19,4
2021	20,6	19,0	18,8	18,0	18,6	20,3	20,4	20,5	20,4	19,8	18,6	18,4	19,0	18,8	20,0	19,2	19,4	20,2	18,8	19,9	18,4	18,9	18,1	20,5	20,4	19,3	19,0	18,4	19,0	19,4
2022	20,7	19,0	18,7	18,0	18,6	20,3	20,4	20,5	20,4	19,6	18,6	18,4	19,1	18,8	20,0	19,0	19,4	20,3	18,9	19,9	18,4	19,1	18,1	20,6	20,4	19,1	19,0	18,4	19,0	19,4
2023	20,7	19,1	18,7	18,0	18,6	20,3	20,4	20,2	20,5	19,5	18,6	18,5	19,1	18,9	20,0	19,0	19,4	20,3	18,9	19,9	18,4	18,5	18,2	20,6	20,4	18,8	19,0	18,4	19,1	19,5
2024	20,8	19,1	18,9	18,1	18,7	20,4	20,5	20,6	20,5	19,9	18,7	18,5	19,2	18,9	20,1	19,3	19,5	20,3	18,9	20,0	18,5	19,0	18,2	20,6	20,4	19,4	19,1	18,5	19,1	19,5
2025	20,8	19,2	18,8	18,1	18,7	20,4	20,5	20,5	20,5	19,7	18,7	18,5	19,2	19,0	20,1	19,1	19,5	20,4	18,9	20,0	18,5	19,2	18,2	20,7	20,4	19,2	19,1	18,5	19,2	19,5
2026	20,8	19,2	18,8	18,1	18,7	20,4	20,5	20,3	20,6	19,6	18,8	18,6	19,2	19,0	20,1	19,1	19,5	20,4	19,0	20,0	18,5	18,6	18,3	20,7	20,4	19,0	19,1	18,6	19,2	19,6
2027	20,9	19,2	19,0	18,1	18,7	20,4	20,5	20,7	20,6	20,0	18,8	18,6	19,3	19,0	20,1	19,4	19,5	20,4	19,0	20,0	18,6	19,1	18,3	20,7	20,5	19,5	19,2	18,6	19,3	19,6
2028	20,9	19,3	18,9	18,1	18,8	20,4	20,5	20,6	20,6	19,8	18,8	18,7	19,3	19,1	20,2	19,1	19,6	20,5	19,0	20,1	18,6	19,4	18,3	20,8	20,5	19,4	19,2	18,6	19,3	19,6
2029	21,0	19,3	18,9	18,1	18,8	20,4	20,5	20,3	20,7	19,7	18,9	18,7	19,4	19,1	20,2	19,1	19,6	20,5	19,0	20,1	18,6	18,7	18,3	20,8	20,5	19,1	19,2	18,7	19,4	19,7

**APÊNDECE D - Previsão da média anual da temperatura noturna nos 30 pontos da amostra Aqua-noite (2019 – 2029).**

Previsão Aqua-noite																														
Ano	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15	P16	P17	P18	P19	P20	P21	P22	P23	P24	P25	P26	P27	P28	P29	P30
2019	19,2	18,1	17,6	17,1	17,4	18,9	19,2	18,7	18,8	18,2	17,4	17,1	17,6	17,6	18,8	18,3	18,3	18,9	17,9	18,8	17,1	17,3	16,8	19,4	19,0	17,8	17,5	17,2	16,9	17,9
2020	19,3	18,3	17,7	17,1	17,5	18,9	19,2	18,8	18,9	18,2	17,4	17,1	17,8	17,6	18,8	18,3	18,3	18,9	17,9	18,8	17,1	17,3	16,7	19,4	19,0	17,8	17,5	17,2	17,7	17,8
2021	19,4	18,7	17,7	17,1	17,5	18,9	19,2	19,2	18,9	18,7	17,4	17,1	18,1	17,6	18,8	18,3	18,3	18,9	17,9	18,8	17,1	17,3	17,4	19,4	19,0	17,8	17,5	17,2	17,5	17,8
2022	19,4	18,2	17,7	17,1	17,5	18,9	19,3	18,7	18,9	18,3	17,4	17,0	17,6	17,6	18,8	18,3	18,2	18,9	17,9	18,8	17,1	17,2	16,8	19,4	19,0	17,8	17,5	17,1	17,2	17,8
2023	19,5	18,4	17,7	17,1	17,5	18,9	19,3	18,7	18,9	18,2	17,4	17,0	17,8	17,6	18,9	18,3	18,2	18,9	17,9	18,8	17,1	17,2	16,7	19,4	19,0	17,8	17,5	17,1	16,8	17,8
2024	19,6	18,7	17,7	17,1	17,5	18,9	19,3	19,2	18,9	18,7	17,4	17,0	18,1	17,6	18,9	18,3	18,2	19,0	17,9	18,8	17,0	17,2	17,3	19,4	19,0	17,8	17,5	17,1	17,7	17,8
2025	19,6	18,3	17,7	17,1	17,6	18,9	19,3	18,7	18,9	18,3	17,3	17,0	17,6	17,6	18,9	18,3	18,2	19,0	17,8	18,8	17,0	17,2	16,8	19,4	19,0	17,8	17,5	17,1	17,4	17,7
2026	19,7	18,4	17,7	17,1	17,6	18,9	19,3	18,7	18,9	18,2	17,3	17,0	17,8	17,6	18,9	18,3	18,2	19,0	17,8	18,8	17,0	17,2	16,7	19,4	19,0	17,8	17,5	17,1	17,2	17,7
2027	19,8	18,8	17,7	17,1	17,6	18,9	19,3	19,2	18,9	18,7	17,3	17,0	18,1	17,7	18,9	18,3	18,2	19,0	17,8	18,8	17,0	17,2	17,3	19,4	19,0	17,8	17,5	17,1	16,8	17,7
2028	19,8	18,3	17,7	17,1	17,6	18,9	19,3	18,6	18,9	18,3	17,3	16,9	17,6	17,7	18,9	18,3	18,2	19,0	17,8	18,7	17,0	17,1	16,7	19,4	19,0	17,8	17,5	17,1	17,6	17,7
2029	19,9	18,5	17,7	17,1	17,6	18,9	19,3	18,7	18,9	18,2	17,3	16,9	17,8	17,7	18,9	18,3	18,1	19,0	17,8	18,7	16,9	17,1	16,7	19,4	19,0	17,8	17,5	17,1	17,4	17,6