



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
UNIDADE ACADÊMICA DE CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM METEOROLOGIA

**IDENTIFICAÇÃO DO USO E OCUPAÇÃO DAS TERRAS NO ESTADO DO PIAUÍ E
SUA RELAÇÃO COM OS EVENTOS EXTREMOS DE PRECIPITAÇÃO.**

ANNA RAQUEL DIONÍSIO RAMOS

CAMPINA GRANDE – PB

2013

ANNA RAQUEL DIONÍSIO RAMOS

**IDENTIFICAÇÃO DO USO E OCUPAÇÃO DAS TERRAS NO ESTADO DO PIAUÍ E
SUA RELAÇÃO COM OS EVENTOS EXTREMOS DE PRECIPITAÇÃO.**

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Meteorologia da Universidade Federal de Campina Grande, como requisito para obtenção do título de Mestre.

Área de Concentração: Meteorologia de Meso e Grande Escalas

Sub-área: Sensoriamento Remoto

Orientador: Prof. Dr. Carlos Antonio C. dos Santos

CAMPINA GRANDE – PB

2013

i

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL DA UFCG

- R175i Ramos, Anna Raquel Dionísio.
Identificação do uso e ocupação das terras no estado do Piauí e sua relação com os eventos extremos de precipitação / Anna Raquel Dionísio Ramos. – Campina Grande, 2013.
66 f. : il. color.
- Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, 2013.
- "Orientação: Prof. Dr. Carlos Antonio Costa dos Santos".
Referências.
1. Fenômenos Meteorológicos. 2. Temperatura da Superfície do Mar - TSM. 3. Índice de Vegetação por Diferença Normalizada - IVDN. 4. Degradação das Terras. I. Santos, Carlos Antonio Costa dos. II. Título.

CDU 551.5(043)

ANNA RAQUEL DIONÍSIO RAMOS

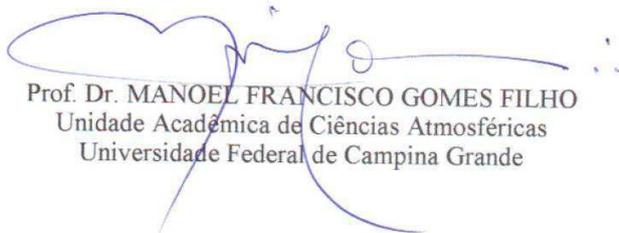
IDENTIFICAÇÃO DO USO E OCUPAÇÃO DAS TERRAS NO ESTADO DO PIAUÍ E
SUA RELAÇÃO COM OS EVENTOS EXTREMOS DE PRECIPITAÇÃO

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 28/06/2013

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. CARLOS ANTONIO COSTA DOS SANTOS
Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas
Universidade Federal de Campina Grande



Prof. Dr. MANOEL FRANCISCO GOMES FILHO
Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas
Universidade Federal de Campina Grande



Prof. Dr. RIDELSON FARIAS DE SOUSA
Cursos Superiores de Tecnologia em Geoprocessamento
Instituto Federal de Educação

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho primeiramente a Deus, porque sem sua orientação nada eu poderia fazer.

Aos meus pais por todo amor, carinho e compreensão.

Ao meu esposo, por toda a companheirismo e amor.

AGRADECIMENTOS

Acima de tudo e de todos agradeço a Deus por me capacitar e estar comigo em todos os momentos, em especial neste, por ter me colocado nesta instituição na qual sempre encontrei pessoas maravilhosas que me ajudaram e me incentivaram.

Aos meus pais, Aluízio e Juliêta, por todo amor e carinho que dedicaram a mim, por sempre incentivarem meus estudos, pelas idas e vindas a Campina Grande mesmo quando estavam cansados, por toda dedicação que tiveram não apenas neste período, mas em toda a minha existência.

As minhas irmãs Anna Paula e Anny Kelly, pelo companheirismo diário.

Ao meu esposo Asdrúbal Neto, pela compreensão e companheirismo.

A todos os professores do programa de Pós Graduação em Meteorologia, em especial ao professor Dr. Carlos Antonio C. dos Santos por ter me orientado nesta pesquisa, por ter acreditado em mim e me proporcionado ímpares oportunidades. Eu agradeço a Deus por sua existência.

A todos os meus colegas de turma.

A minhas companheiras de vida Alzira Gabrielle, Renata Rafael, Thaís Benevides, obrigada por vossas orações.

A Rayonil Carneiro, Ayobami Badiru e Miguel José por sua contribuição direta nesta pesquisa.

Aos professores, Dr. Ridelson Farias de Sousa (IFPB) e Dr. Manoel Francisco Gomes Filho (UFCG), por terem aceitado o convite para serem membros da banca examinadora.

A CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento do Pessoal de Ensino Superior), pelos recursos financeiros concedidos durante o curso.

A Coordenação da Pós-Graduação em Meteorologia, em especial a Divanete Rocha da Cruz, secretária dessa coordenação, pelo apoio e amizade.

Aos amigos que fiz em Campina Grande, em especial Leandro Arthur, Camilla Borges e Sergio Santos, obrigado por serem minha família no momento em que mais precisei!

E a todos que contribuíram direta ou indiretamente na realização deste trabalho.

Muito obrigada!

*“Mas bendito é o homem cuja confiança está no Senhor, cuja confiança nele está.
Ele será como uma árvore plantada junto às águas e que estende as suas raízes para o
ribeiro. Ela não temerá quando chegar o calor, porque as suas folhas estão sempre verdes;
não ficará ansiosa no ano da seca nem deixará de dar fruto”*

(Jeremias 17: 7-8)

RESUMO

Com o intuito de verificar a dinâmica espaço-temporal do uso e ocupação das terras do estado do Piauí e entender a relação que existe entre a paisagem e os eventos de extremos climáticos, o presente trabalho utilizou-se de técnicas de Sensoriamento Remoto, dados de precipitação diária e dados de anomalias de temperatura da superfície do mar (TSM) para compreender a influência do regime pluviométrico na dinâmica da cobertura vegetal do estado do Piauí. Para tanto, foram analisados em conjunto dados de precipitação diária, imagens do sensor TM do Landsat 5 e por fim dados de TSM. Os dados de precipitação foram inseridos no software Rclimdex e a partir daí obtidas as tendências para onze índices de extremos de precipitação. As imagens de satélite foram inseridas nos software SPRING e a partir de técnicas de processamento digital de imagens foram obtidos índices de vegetação por diferença normalizada (IVDN) e a partir deles foi feita a classificação de uso e ocupação das terras. Os dados de TSM foram correlacionados com os de precipitação por meio da correlação de Pearson. Por fim, foram obtidos mapas temáticos que coincidiram com as correlações entre tendências de índices de extremos climáticos e anomalias de TSM. Desse modo os mapas foram analisados concomitantemente com as tendências dos índices de extremos climáticos e anomalias de TSM e foi constatado que a porção norte do Piauí, é a que mais sofre influência de eventos de escala global e a porção central e sul tem seu regime pluviométrico influenciado por sistemas de escala local.

Palavras-chave: TSM, IVDN, degradação das terras, fenômenos meteorológicos.

ABSTRACT

Aiming to verify the spatio-temporal dynamics of land use and occupation in the Brazilian state of Piauí and to understand the relationship between landscape and extreme weather events, this study exploited Remote Sensing technics, daily precipitation reports and Sea Surface Temperature (SST) anomalies data to understand the influence of precipitation regime on the vegetation dynamics within the state of Piauí. Therefore, daily precipitation data, Landsat TM 5 images and SST data were analyzed together. Precipitation data were entered into the RClimdex software and thereafter it was obtained tendencies for eleven extreme precipitation indexes. Satellite images were entered in the SPRING software and ,by techniques of digital image processing, it was obtained Normalized Difference Vegetation Idexes (NDVI) and, from them, land use and occupation were classified. SST data were related with precipitation data trough Pearson Correlation. Ultimately, thematic maps were obtained and coincided with the correlations between extreme weather tendencies and SST anomalies. Thereby, maps were analyzed in tandem with extreme weather tendencies and SST anomalies and it was found that the northern part of the state receives more influences from global scale events. The central and southern sides have their rainfall pattern influenced by local scale system.

Keyword: SST, NDVI, land degradation, meteorological phenomena.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Áreas com maior propensão à desertificação (a) Áreas com menor propensão à desertificação (b)	22
Figura 2: Localização do Estado do Piauí	27
Figura 3: Mapa da distribuição espacial das estações meteorológicas utilizadas nesse estudo no Estado do Piauí.	29
Figura 4: Áreas do oceano Pacífico Equatorial, conhecidas como Niño 1+2, Niño 3, Niño 3.4 e Niño 4.	30
Figura 5: Áreas do oceano Atlântico Tropical, conhecidas como TNAI e TSAI	30
Figura 6: Fluxograma simplificado das etapas metodológicas no SPRING	31
Figura 7: Fluxograma simplificado das etapas metodológicas no Rclimdex.....	35
Figura 8: Relevo do Estado do Piauí.	39
Figura 9: Mapa de uso e ocupação das terras do Estado do Piauí - Ano 1990.....	40
.....	41
Figura 10: Mapa de uso e ocupação das terras do Estado do Piauí - Ano 2000.....	41
Figura 11: Distribuição espacial da tendência de dias consecutivos secos (DCS) (dias/ano) (a)e dos dias consecutivos úmidos (DCU) (dias/ano) (b) no estado do Piauí.	46
Figura 12: Distribuição espacial da tendência do total anual de precipitação (PRCPTOT) (mm/ano) (a) e tendência do número de dias com chuvas superiores a 10 mm (r10mm) (dia/ano) (b) no estado de Piauí.....	47

Figura 13: Distribuição espacial da tendência do número de dias com chuvas superiores a 20 mm (R20mm) (dia/ano) (a) e tendência do número de dias com chuvas superiores a 50 mm (R50mm) (dia/ano) (b) no estado de Piauí.48

Figura 14: Distribuição espacial da tendência da quantidade máxima de precipitação em um dia mm (R1dia) (mm) (a) e tendência da quantidade máxima de precipitação em 5 dias (R5dias) (mm) (b) no estado de Piauí.....49

Figura 15: Distribuição espacial da tendência do índice R99p (mm/ano) (a)e Distribuição espacial da tendência da intensidade da precipitação ((mm/dia) /ano) (b) no estado de Piauí.50

Figura 16: Distribuição espacial da tendência do índice R95p (mm/ano) no estado do Piauí 50

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Classificação segundo o índice de aridez.	18
Quadro 2: Imagens oriundas do sensor TM do Landsat-5 e utilizadas nesse estudo	28
Quadro 3: Definição das classes	33
Quadro 4: Índices climáticos dependentes da precipitação pluvial diária, com suas definições e unidades. O RR é o valor da precipitação diária. $RR \geq 1\text{mm}$ representa um dia úmido e $RR < 1\text{mm}$, um dia seco.	36

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Descrição das estações meteorológicas estudadas.....	29
Tabela 2: quantificação das classes de cobertura do solo.....	42
Tabela 3: Tendência de longo tempo dos índices de mudanças climáticas e a estatística p das tendências estatisticamente significativa	44
Tabela 4: Correlações entre os índices de extremos climáticos dependentes da precipitação diária para a porção de norte do Piauí e as anomalias de TSM nos Oceanos Pacífico e Atlântico. (Os valores em negrito correspondem ao nível de significância de 5%).....	52
Tabela 5: Correlações entre os índices de extremos climáticos dependentes da precipitação diária para a porção de sul do Piauí e as anomalias de TSM nos Oceanos Pacífico e Atlântico. (Os valores em negrito correspondem ao nível de significância de 5%).....	52

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ASD – Áreas susceptíveis a desertificação

CCD – Convenção das Nações Unidas de combate à desertificação.

CE – Ceará

DCS - Dias consecutivos secos

DCU - Dias consecutivos úmidos

ECO 92 – Conferencia das nações unidas sobre meio ambiente e desenvolvimento.

ENOS - El Niño Oscilação Sul

ETC – CDMI – Expert Team on Climate Change Detection and Indices

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia

INPE – Instituto Nacional de Pesquisa Espacial

IVDN – Índice de vegetação por diferença normalizada

LEGAL – Linguagem Espacial para Geoprocessamento Algébrico

MMA - Ministério do Meio Ambiente

NEB – Nordeste Brasileiro

OMM – Organização Meteorológica Mundial

PAE – PI – Programa de Ação Estadual de Combate à Desertificação do Estado do Piauí

PAN BRASIL – Programa de Ação Nacional de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca

PE – Pernambuco

PI – Piauí

PRCPTOT - Precipitação total anual nos dias úmidos

RN – Rio Grande do Norte

Rx1day - Quantidade máxima de precipitação em um dia

Rx5day - Quantidade máxima de precipitação em cinco dias

R50mm - Número de dias com precipitação acima de 50mm

R10mm – Número de dias com precipitação acima de 10mm

R20mm - Número de dias com precipitação acima de 20mm

R95p - Dias muito úmidos

R99p - Dias extremamente úmidos

SDII - Índice simples de intensidade diária

SPRING - Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas

TM – *Thematic Mapper*

TNAI - Tropical Northern Atlantic (Atlântico Tropical Norte)

TSAI - Tropical Southern Atlantic (Atlântico Tropical Sul)

TSM – Temperatura da superfície do mar

ZCIT – Zona de convergência intertropical

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
2 OBJETIVOS	16
2.1 OBJETIVO GERAL.....	16
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	16
3 REVISÃO DA LITERATURA	17
3.1 ASPECTOS RELEVANTES SOBRE DESERTIFICAÇÃO.....	17
3.2 SISTEMAS ATMOSFÉRICOS ATUANTES NO CLIMA DO NORDESTE BRASILEIRO.	19
3.3 A IMPORTANCIA DO SENSORIAMENTO REMOTO NA IDENTIFICAÇÃO DO USO E OCUPAÇÃO DA TERRA.	22
3.4 ÍNDICES DE EXTREMOS CLIMÁTICOS	24
4 MATERIAL E MÉTODOS	27
4.1 MATERIAL	27
4.1.1 Localização da área de estudo	27
4.1.2 Dados	28
4.2 METODOLOGIA	31
4.2.1 <i>Software</i> Spring	31
4.2.2 <i>Software</i> RClmDex.....	34
4.2.3 Correlação entre Índices Extremos de Precipitação e as Anomalias de TSM.	36

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	38
5.1 CLASSIFICAÇÃO DAS IMAGENS	38
5.2 ÍNDICES DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS	42
5.3 DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DOS ÍNDICES DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS.....	45
5.4 CORRELAÇÃO ENTRE OS ÍNDICES DE EXTREMOS CLIMÁTICOS E AS ANOMALIAS DE TSM.	51
6 CONCLUSÕES.....	53
7 RECOMENDAÇÕES.....	54
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	55

1 - INTRODUÇÃO

Inserido na região Nordeste, o Piauí tem como características climáticas marcantes, as irregularidades, tanto espacial quanto temporal, do seu regime de chuvas. Entre os principais fatores que determinam a variabilidade do clima no Piauí, se acham a posição geográfica, o estado localiza-se numa área de transição entre o domínio Semiárido e Amazônico, o relevo e os sistemas atmosféricos atuantes na região. Todos os fatores anteriormente citados influenciam diretamente na paisagem e atrelados a ações antrópicas mal planejadas culminam na degradação das terras.

O Processo conhecido como desertificação de acordo com As nações Unidas de Combate à desertificação deve ser entendido como a degradação da terra nas zonas áridas, semiáridas e subúmidas secas, resultante de vários fatores, incluindo as variações climáticas e as atividades humanas. Partindo do conceito supracitado é possível relacionar as áreas que correspondem ao estado do Piauí como áreas que estão pressupostas a sofrer esse tipo de degradação, visto que parte significativa do território piauiense é semiárida e sub-úmida seca, além da existência do núcleo de desertificação de Gilbués, na porção sudoeste do estado, que já envolve quinze municípios (SILVA,2008)

Retomando a questão da variabilidade climática as áreas mais afetadas pelas secas no Nordeste são aquelas que se encontram sob influência direta da Zona de Convergência Intertropical – ZCIT. Outro fator influenciador no regime de chuvas é a Temperatura da Superfície do Mar (TSM) nos oceanos Pacífico e Atlântico Tropicais. No Pacífico Tropical a presença de eventos quentes (frios) denominados de El Niño (La Niña), anomalias positivas (negativas) de TSM, causa fenômenos climáticos diferenciados em várias áreas do Nordeste (Philander, 1991).

O ENOS (a junção do El Niño com a Oscilação Sul) e o Dipolo do Atlântico Tropical afetam diretamente o posicionamento da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) que por sua

vez influencia na distribuição das chuvas sobre o Nordeste. No entanto, embora a variabilidade interanual das TSM's e ventos sobre o Atlântico Tropical sejam significativamente menores do que as observadas no Pacífico Equatorial, essas variáveis afetam substancialmente a variabilidade climática sobre a América do Sul, em especial a Região Nordeste do Brasil (Nobre e Shukla, 1996).

Diante do exposto, as geotecnologias têm se mostrado uma ferramenta importante no estudo de tais áreas, especialmente o Sensoriamento Remoto, já que a disponibilidade de informações confiáveis sobre os tipos de culturas instaladas, área plantada e distribuição espacial, dentro de uma determinada região, são fundamentais na tomada de decisões para o planejamento e a definição de prioridades (DAINESE, 2001). Dentro da temática desertificação o sensoriamento remoto tem se mostrado eficiente para avaliar e acompanhar a evolução das áreas degradadas. Permite estudar áreas afetadas pela desertificação possibilitando visualizar o processo como um todo ou porções menores, de uma forma dinâmica e integrada, em diversas escalas, e ainda permite a construção de modelos para o melhor entendimento do ambiente em questão, por meio da integração de diversos tipos de dados (cartográficos, topográficos, geológicos, vegetação, etc.) (CARVALHO, 2001). A periodicidade e regularidade de coleta de dados no sensoriamento remoto também são vantagens que aumentam a acurácia dos estudos de desertificação.

De acordo com o Programa de Ação Nacional de combate à desertificação e mitigação dos efeitos da seca (Pan Brasil, 2004) a desertificação é potencializada durante as grandes secas. Por isso se torna interessante entender a periodicidade de chuvas na região estudada. O cálculo dos índices de extremos climáticos permite apontar, através das tendências encontradas, se a componente climática irá ou não intensificar o processo de desertificação na região estudada. Outro fator que pode influenciar a dinâmica climática da área é a análise das anomalias de TSM, pois é possível fazer uma relação entre os índices de extremos climáticos e tais anomalias como mostrou Santos (2006).

Nesse sentido, o presente estudo pretende oferecer um contributo ao conhecimento do processo de desertificação no estado do Piauí, por meio da utilização de técnicas de sensoriamento remoto, análise de TSM e dos índices de extremos climáticos oriundos de dados de precipitação.

2 - OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Verificar a dinâmica espaço-temporal do uso e ocupação do solo e sua relação com os índices de extremos climáticos dependentes da precipitação diária para o Estado do Piauí.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar a dinâmica espaço-temporal do uso e ocupação do solo da região estudada;
- Obter os índices de extremos climáticos dependentes da precipitação diária;
- Correlacionar a classificação da área em estudo com os índices extremos de precipitação;
- Correlacionar os índices extremos de precipitação sobre a região estudada com as anomalias de TSM dos Oceanos Atlântico e Pacífico.

3 - REVISÃO DA LITERATURA

3.1 ASPECTOS RELEVANTES SOBRE DESERTIFICAÇÃO

Os primeiros estudos realizados no Brasil envolvendo a temática desertificação foram realizados pelo ecólogo pernambucano João Marcelo Sobrinho na década de 70, alertando e informando que ali (no nordeste) estaria a surgir “um grande deserto com todas as características ecológicas que conduziriam à formação dos grandes desertos hoje existentes em outras regiões do globo.” Desde então os estudos sobre desertificação tem se intensificado e mobilizado vários órgãos do poder público e privado a entender a dinâmica de tal processo, exemplos de iniciativa pública são o PAN –Brasil (2004) e Programa de Ação Estadual de combata à desertificação do Piauí (PAE-PI, 2010).

A definição de desertificação foi consolidada na Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (ECO-92) disposto no capítulo 12 da Agenda 21, que define como sendo “a degradação da terra nas regiões áridas, semiáridas e subúmidas secas, resultante de vários fatores, dentre eles, as variações climáticas e as atividades humanas”. Nesse conceito, por "degradação da terra" entende-se a degradação dos solos, dos recursos hídricos, da vegetação e a redução da qualidade de vida das populações afetadas.

De acordo com o Pan Brasil (2004), o Nordeste Brasileiro (NEB) é a região onde se encontram os espaços climaticamente caracterizados como semiáridos e subúmidos secos. Tais espaços estão inseridos em terras dos Estados do Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe, Bahia e norte de Minas Gerais. No entanto, há áreas dos Estados do Maranhão e do Espírito Santo onde as características ambientais, atualmente vislumbradas, sugerem a ocorrência de processos de degradação tendentes a transformá-las em áreas também sujeitas à desertificação, caso não sejam ali adotadas medidas de

preservação e conservação ambiental. O mesmo documento menciona as Áreas Susceptíveis a Degradação (ASD) como sendo áreas que possuem certa susceptibilidade a serem degradadas.

As ASDs no Brasil foram delimitadas de acordo com os pressupostos na Convenção das Nações Unidas de Combate à Desertificação (CCD), que tomam por base a classificação climática de Thornthwaite (1945), é baseada no Índice de Aridez, que corresponde à razão entre as médias anuais de precipitação e a evapotranspiração potencial. O Ministério do Meio Ambiente (MMA) adotou esse critério na elaboração do PAN-Brasil (2004), ao utilizar os dados sobre o Índice de Aridez. O Quadro 1 mostra a classificação segundo os índices de aridez.

Quadro 1: Classificação segundo o índice de aridez.

Climas do Planeta	Índice de Aridez
Hiperárido	< 0,05
Árido	0,05 – 0,20
Semiárido	0,21 – 0,50
Subúmido seco	0,51- 0,65
Subúmido úmido	> 0,65

Fonte: Pan Brasil (2004)

De acordo com o PAE – PI (2010) existem quatro áreas no Brasil, que são consideradas Núcleos de Desertificação, onde está mais avançado o processo de degradação. Elas somam 18,7 mil km² e se localizam nas regiões de Gilbués (PI), no Seridó (RN), em Irauçuba (CE) e em Cabrobó (PE). As áreas que sofrem algum processo de desertificação na semiárida no Brasil abrange aproximadamente 1.150.662 km², correspondendo a 74,30% da superfície do NEB e 13,52% da área total do Brasil. No sudoeste do Piauí, temos 7.759,56 km² da área com acelerado processo de desertificação.

3.2 SISTEMAS ATMOSFÉRICOS ATUANTES NO CLIMA DO NORDESTE BRASILEIRO.

Como já mencionado, o Nordeste Brasileiro (NEB) apresenta grande variabilidade climática, tanto espacial quanto temporal, bastante distinta das outras regiões do Brasil. Apresentando períodos irregulares entre os estados e entre suas microrregiões (RAO et al., 1993). A precipitação é a variável meteorológica mais importante para os trópicos, sua forma de medida é muito simples, mas também é uma das variáveis mais difíceis de ser observada, uma vez que apresenta erro instrumental, de exposição e de localização e é um parâmetro extremamente variável espacialmente (MOLION e BERNARDO, 2002).

Molion e Bernardo (2002) sugerem que a variabilidade interanual da distribuição de chuvas sobre o NEB, tanto nas escalas espacial quanto temporal, está intimamente relacionada com as mudanças nas configurações de circulação atmosférica de grande escala e com a interação oceano-atmosfera no Pacífico e no Atlântico tropicais

A Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) é o principal sistema atmosférico de grande escala causador de chuvas no norte do NEB. Na parte leste/sul os sistemas frontais têm maior relevância concomitantemente com a convergência dos ventos alísios de sudeste e o sistema de brisa marítima nas chuvas de grande escala. Na porção leste, principalmente em regiões costeiras, os sistemas ondulatórios de leste são os mecanismos que trazem umidade do oceano para o continente causando chuvas. No NEB, os eventos de La Niña (LN) intensos produzem anos chuvosos e eventos de El Niño (EN) provocam anos com chuvas abaixo do normal (HASTENRATH & HELLER, 1977; MOTA, 1997; MOLION e BERNARDO, 2002).

O El Niño-Oscilação Sul (ENOS) é um dos principais fenômenos remotos responsáveis por extremos climáticos no nordeste do Brasil (NEB). Esta conexão se processa através da circulação atmosférica, de modo que uma circulação de Walker anormalmente deslocada para leste com seu ramo ascendente sobre o Pacífico Equatorial Leste e descendente sobre o Atlântico

Tropical, explica as secas no NEB relacionadas a eventos de El Niño (Hastenrath, 1976; Kousky et al., 1984; Kayano et al., 1988). As configurações anômalas da circulação atmosférica, temperatura da superfície do mar (TSM) e precipitação (em particular sobre o NEB) são aproximadamente invertidas durante os eventos de La Niña (Kousky e Ropelewski, 1989).

Como estado integrante do NEB, o Piauí tem seu regime de chuvas influenciado pelos sistemas atmosféricos anteriormente citados, além disso sua posição geográfica o caracteriza como uma zona de transição entre a pré – Amazônia, o semiárido nordestino e o planalto central do Brasil.

No Piauí são identificadas duas características climáticas: tropical quente e úmido, e semiárido. Apresenta temperaturas médias elevadas, variando entre 18 °C (mínimas) e 40 °C (máximas). A umidade relativa do ar oscila entre 60 e 84%. A frequência de chuvas diminui à medida que se avança para a região sudeste do Estado; porém, níveis anuais médios de precipitação abaixo de 800 mm são encontrados apenas em 35% do território piauiense. O clima semiárido abrange, principalmente, o sudoeste do Estado. As chuvas são distribuídas nessas regiões de maneira irregular. (GUEDES et al., 2010).

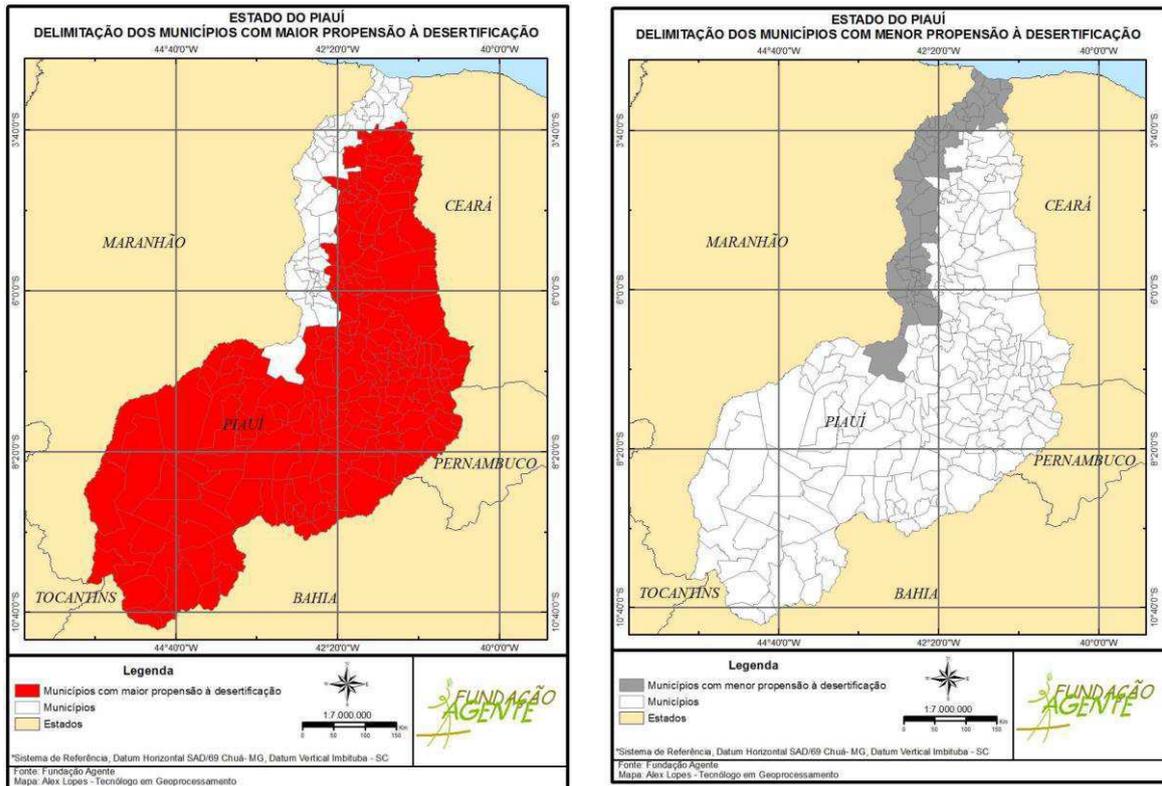
Dentre as formações vegetais existentes, podem-se destacar a caatinga arbórea e arbustiva (encontrada nas áreas leste e sudeste do Estado), o cerrado e o cerradão (centro-leste e sudoeste), floresta decidual (vales do baixo e médio Parnaíba) e formação pioneira e mangue a aluvial (litoral). A vegetação de caatinga que predomina na área do semiárido também é bastante diversificada nas diferentes paisagens, mas de modo geral, tem sido devastada intempestivamente para consumo de lenha e no desmatamento para áreas de agricultura (Piauí, 2013)

De acordo com o PAE - PI (2010), as ASDs são aquelas que apresentam limitações físicas naturais e estão localizadas nas regiões áridas, semiáridas e subúmida seca. As atividades antrópicas podem acelerar ou agravar processos de degradação até atingir a desertificação, acarretando significativos prejuízos econômicos, sociais e ambientais. No

Estado do Piauí, as ASDs, identificadas no Diagnóstico Ambiental e Socioeconômico, abrangem 173 municípios, dos quais 150 estão sob o domínio do semiárido, e 23 sob a zona subúmida seca.

Na região Sudoeste do Estado, de clima subúmido seco, os processos de degradação ambiental e desertificação encontram-se em estágio avançado e nível alarmante. Nesta região encontra-se o Núcleo de Desertificação de Gilbués, que abrange pelo menos quinze municípios, sendo que em sete (Gilbués, Riacho Frio, São Gonçalo do Gurgueia, Monte Alegre do Piauí, Redenção do Gurgueia, Corrente e Barreiras do Piauí) a degradação atinge mais de 45% da área de cada município.

O PAE-PI (2010) realizou um estudo pra visualizar as áreas no Piauí que estavam propensas e as que não estavam propensas a evoluir para um estágio de desertificação, o resultado desse estudo foi a elaboração de dois mapas que pode ser visualizado na Figura 1, onde as classificações foram realizadas fundamentadas em características ambientais.



(a)

(b)

Figura 1: Áreas com maior propensão à desertificação (a) Áreas com menor propensão à desertificação (b)

Fonte: Fundação Agente (2005)

3.3 A IMPORTANCIA DO SENSORIAMENTO REMOTO NA IDENTIFICAÇÃO DO USO E OCUPAÇÃO DA TERRA.

O solo vem sendo usado de forma desordenada e sem planejamento. A falta de planejamento tem causado não apenas o empobrecimento do solo, mas a evolução desse estágio para uma erosão, assoreamento de cursos d'água, desertificação, entre outros. Com o avanço da ciência o homem começou a associar esses fatores com a deficiência no manejo do solo e daí surgiu o interesse de se estudar tais fatos. Segundo Ferreira et al. (2005), o estudo do uso e ocupação consiste em buscar conhecimento de toda a sua utilização por parte do homem ou pela caracterização dos tipos e categorias de vegetação natural que reveste o solo.

De acordo com Iwasa e Prandini (1980) e Dainese (2001), a forma de manejo do solo contribui muito para alterar os constituintes físicos do terreno. De acordo com os autores,

devido ao mau uso do solo, a erosão, depois de certo tempo, reflete nas condições intrínsecas da área, como a geologia, a geomorfologia, o regime hidrológico das bacias hidrográficas, que certamente refletirá no clima local. O problema é que nem todos aqueles que utilizam efetivamente o solo dominam técnicas de planejamento do solo, e muitas vezes estão o esgotando inconscientemente.

Segundo Rosa (2003) e Silva et al. (2007), é necessário que o acompanhamento e distribuição espacial do uso e ocupação do solo sejam analisados constantemente para auxiliar nos estudos de desenvolvimento de determinada região. Foi diante dessa necessidade que o sensoriamento remoto começou a ser utilizado para o monitoramento de fenômenos naturais dinâmicos do meio ambiente, como os da atmosfera, de erosão do solo, de inundação e aqueles antrópicos como desmatamento, queimadas etc.

De acordo com Altmann et al. (2009), o mapeamento do uso e cobertura das terras retrata as atividades humanas que podem significar pressão e impacto sobre os elementos naturais. As classes de uso e cobertura são identificadas, espacializadas, caracterizadas e quantificadas. No estudo realizado por Taura (2011) foi possível construir cenários nos anos de 1989, 1997 e 2008 das classes de uso e cobertura da terra do município de Petrolina-PE a partir da interpretação de imagens de sensores orbitais para fins de estudos de recuperação da cobertura vegetal e monitoramento das ações antrópicas sobre o ambiente.

No estudo realizado no estado do Piauí, especificamente na Microbacia do Riacho Sucuriú, no Núcleo de Desertificação de Gilbués, Melo (2010) fez uso de técnicas de sensoriamento remoto para caracterizar os níveis de degradação dos solos na região, conseguindo obter a seguinte classificação: ambiente conservado, ambiente moderadamente degradado, ambiente degradado e ambiente intensamente degradado. Chegando a conclusão que os ambientes degradados correspondem a 71,9% da área estudada.

Carvalho (2007) utilizou técnicas de processamento digital de imagem para fazer uma análise temporal da região do núcleo de desertificação de Gilbués, compreendendo um período de dezenove anos, distribuídos entre os anos de 1986 e 2005. Ao final foi obtido mapas de uso ocupação do solo quantificando as classes de interesse.

3.4 ÍNDICES DE EXTREMOS CLIMÁTICOS

Segundo Santos (2006) a análise dos extremos climáticos desperta um grande interesse, porque causam enormes perdas e transtornos econômicos. Os extremos climáticos podem ser definidos pela ocorrência de valores de variáveis meteorológicas que ultrapassam um determinado nível, correspondendo a uma pequena probabilidade.

De acordo com Santos (2010) é de grande importância a elaboração de índices de tendências de mudanças climáticas de uma determinada região, pois funciona como ferramenta necessária para a compreensão do fenômeno das mudanças climáticas globais. A mesma autora afirma que tais índices são um registro observacional razoavelmente longo e de qualidade.

García e Fonseca (2012) afirmam que o estudo das variações do clima partindo de mudanças nos eventos extremos utilizando dados diários constituem um ingrediente fundamental para determinar o comportamento do clima na atualidade. Os mesmos autores realizaram um estudo em Cuba objetivando detectar sinais de mudanças climáticas e avaliar alguns indicadores derivados de observações diárias de estações meteorológicas no período de 1971-2009. Neste estudo foram considerados dados diários de temperatura máxima, temperatura mínima e precipitação de nove estações meteorológicas, os índices foram calculados utilizando o software Rclimdex. Os resultados alcançados neste estudo mostraram um crescimento da temperatura máxima na região ocidental do país, assim como um incremento nas últimas décadas de temperaturas mínimas acima de 20 °C em todas as

estações analisadas. Os índices derivados dos dados pluviométricos mostraram que os eventos de precipitação maiores que 100 mm tendem a crescer na região ocidental do país.

Além da análise de índices de extremos climáticos, muitos estudos tem correlacionado as mudanças climáticas com as anomalias de TSM. Ramos et al. (2011) concluiu que através das correlações entre os índices de extremos climáticos dependentes da precipitação diária para a região de Manaus e as anomalias de TSM nos Oceanos Pacífico e Atlântico, que houve um aumento das anomalias positivas de TSM nas regiões de Niño levando a um aumento dos dias consecutivos secos e, diminuição dos eventos extremos de chuva e da precipitação total sobre a Bacia Amazônica. Santos et al. (2012) realizaram um estudo para região de Manaus correlacionando os índices de extremos climáticos provenientes de dados de precipitação de três estações meteorológicas de Manaus com as anomalias de TSM. A análise dos índices anuais de extremos climáticos indicou aumento da precipitação total anual sobre a região estudada. No entanto, uma das três estações utilizadas apresentou tendência com significância estatística. Através das correlações entre os índices de extremos climáticos e as anomalias de TSM foi constatado que o aumento das anomalias positivas de TSM nessas regiões leva a um aumento dos dias consecutivos secos e a uma diminuição dos eventos extremos de chuva e da precipitação total sobre a Bacia Amazônica. Foi diagnosticado também que, devido ao aquecimento do Oceano Atlântico Tropical Sul, é induzido o deslocamento da ZCIT mais ao sul do Equador levando a um aumento da precipitação sobre a região de Manaus.

Estudos de extremos de clima no Nordeste têm sido desenvolvidos em nível regional ou microrregional. Lacerda et al. (2009) realizou um estudo na microrregião do Pajeú, no Sertão de Pernambuco, onde pôde mostrar um aumento dos dias secos, do comprimento médio dos veranicos e dos máximos veranicos.

Para o semiárido da Bahia, Silva e Azevedo (2008) mostraram que no período 1970-2006 o município de Irecê apresentou um aumento na intensidade das chuvas, na forma de aumento de dias com precipitação maiores a 20 mm e diminuição do número de dias com precipitação acima de 1 mm, com diminuição do total anual.

O estudo elaborado por Souza (2012) caracterizou os índices de extremos climáticos de precipitação na Bacia do Rio Sirinhaém, localizada em Pernambuco. Utilizando dados diários de precipitação de oito postos pluviométricos consistentes, no período de 1 de janeiro de 1963 a 31 de julho de 2011, obtendo como resultado mudanças no padrão das precipitações observadas sobre a bacia, com tendência de redução da precipitação total anual e aumento da precipitação máxima em um dia, revelando que cada vez mais as chuvas intensas concentram-se em um dia, com veranicos prolongados, apresentando má distribuição temporal da intensidade da precipitação diária dentro de um mês.

4 - MATERIAL E MÉTODOS

4.1 MATERIAL

4.1.1 Localização da área de estudo

O Estado do Piauí que está localizado no NEB (Figura 2), que segundo o IBGE (2012) possui uma área de aproximadamente 251.576,644 km², de acordo com o último censo realizado em 2010, tem uma população de 3.118.360 habitantes. É o terceiro maior Estado do Nordeste, perdendo em área apenas para a Bahia e o Maranhão.

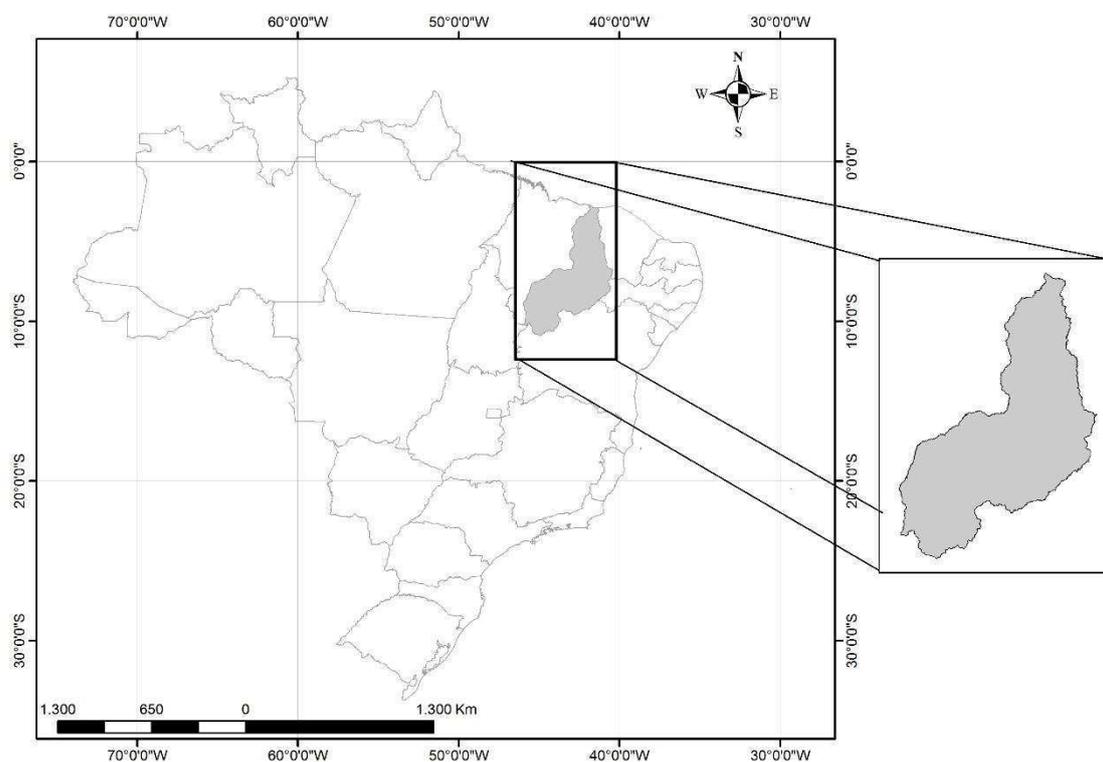


Figura 2: Localização do Estado do Piauí.

4.1.2 Dados

Foram utilizadas imagens do sensor TM do satélite Landsat-5, empregando várias cenas já que o estudo constitui-se de uma análise multitemporal. As imagens que foram utilizadas encontram-se listadas no Quadro 2.

Quadro 2: Imagens oriundas do sensor TM do Landsat-5 e utilizadas nesse estudo

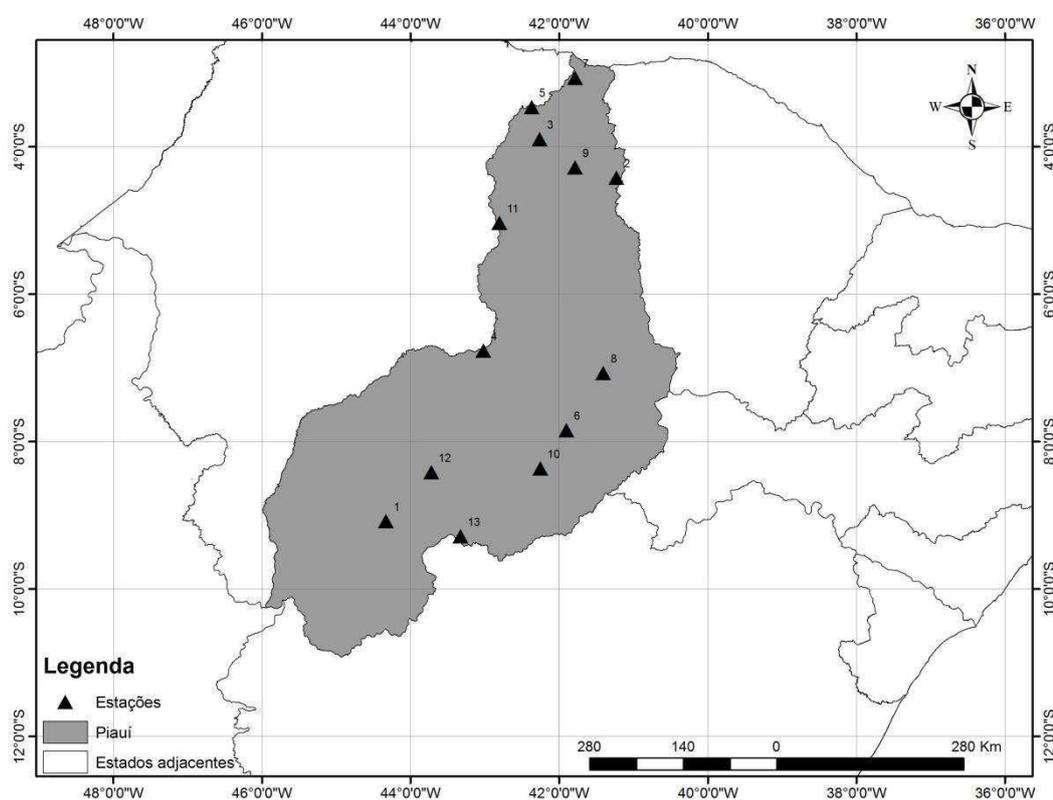
Órbita/Ponto	Data de passagem
217/065	14/06/1995; 10/06/2011
217/066	15/05/1995; 04/07/2011
217/067	15/05/1996; 10/06/2011
218/063	14/05/1993; 27/04/2010
218/064	14/05/1993; 21/05/2007
218/065	14/05/1993; 29/05/2010
218/066	14/05/1993; 20/05/2010
219/062	22/04/1994; 05/06/2010
219/063	06/06/1993; 21/06/2010
219/064	22/04/1994; 04/05/2010
219/065	06/06/1993; 21/06/2010
219/066	06/06/1993; 05/06/2010
219/067	24/05/1994; 04/05/2010
220/065	28/05/1993; 27/05/2010
220/066	12/05/1993; 27/05/2010
220/067	12/05/1993; 27/05/2010
221/066	22/05/1994; 18/05/2010

Cada órbita ponto foi representada por duas imagens de períodos diferentes, sendo possível fazer um estudo temporal do uso da terra. As imagens foram obtidas no site do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE).

Os dados de precipitação foram oriundos do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Foram escolhidos os dados de treze estações meteorológicas que podem ser visualizadas na Figura 3 e descritas na Tabela 1.

Tabela 1: Descrição das estações meteorológicas estudadas

Estações	ID	Lat	Long	Altitude (m)
Bom Jesus do Piauí	1	-44,326	-9,0833	332
Caldeirão	2	-41,733	-4,33	160
Esperantina	3	-42,259	-3,8994	61
Floriano	4	-43,017	-6,7667	150
Luzilândia	5	-42,366	-3,466	20
Morro dos Cavalos	6	-41,9	-7,85	242
Parnaíba	7	-41,783	-3,0697	57
Picos	8	-41,404	-7,0708	208
Piriri	9	-41,01	-4,45	161
São João do Piauí	10	-42,251	-8,3647	235
Teresina	11	-42,801	-5,0347	74
Vale do Gurgueia	12	-43,717	-8,4167	265
Caracol	13	-43,324	-9,2861	523

**Figura 3:** Mapa da distribuição espacial das estações meteorológicas utilizadas nesse estudo no Estado do Piauí.

Os dados das anomalias de temperatura para todas as regiões de Niño, TNAI (Tropical Atlantic Northern Index) e TSAI (Tropical Atlantic Southern Index) foram obtidos através do website da NOAA (www.cdc.noaa.gov/ClimateIndices/). A Figura 4 mostra as

localizações geográficas das áreas dos Niños: o extremo leste do Pacífico equatorial está à área do Niño 1+2 ($0-10^{\circ}\text{S}$, $90^{\circ}\text{W}-80^{\circ}\text{W}$); no Pacífico equatorial leste à área do Niño 3 ($5^{\circ}\text{N}-5^{\circ}\text{S}$, $150^{\circ}\text{W}-90^{\circ}\text{W}$); no Pacífico equatorial central leste a do Niño 3.4 ($5^{\circ}\text{N}-5^{\circ}\text{S}$, $170^{\circ}\text{W}-120^{\circ}\text{W}$); no Pacífico equatorial central à área do Niño 4 ($5^{\circ}\text{N}-5^{\circ}\text{S}$, $160^{\circ}\text{E}-150^{\circ}\text{W}$).

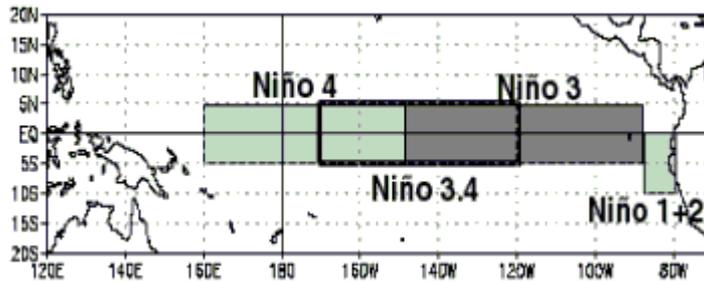


Figura 4: Áreas do oceano Pacífico Equatorial, conhecidas como Niño 1+2, Niño 3, Niño 3.4 e Niño 4.

Fonte: FUNCEME/DEMET (2005).

O TNAI é a anomalia mensal de TSM na área de 5°N a $23,5^{\circ}\text{N}$ e 15°W a $57,5^{\circ}\text{W}$; e o TSAI é a anomalia mensal de TSM na área do Equador a 20°S e 10°E a 30°W , como mostra a figura 5.

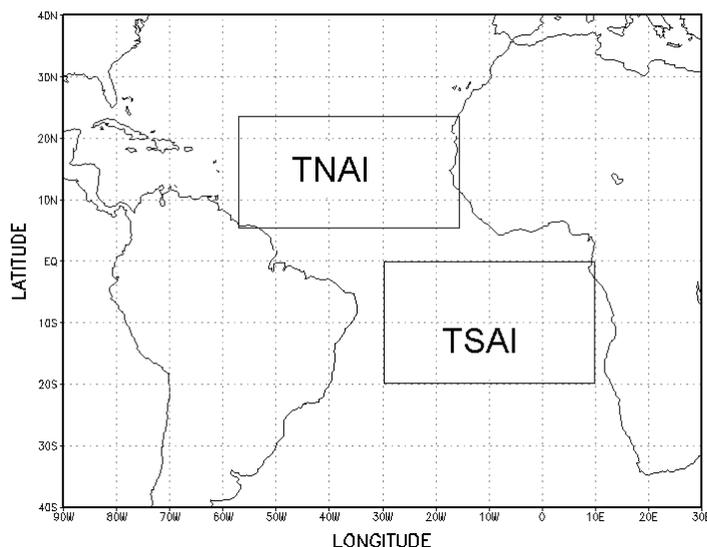


Figura 5: Áreas do oceano Atlântico Tropical, conhecidas como TNAI e TSAI
Fonte: Menezes (2006)

4.2 METODOLOGIA

4.2.1 Software Spring

O *software* utilizado foi o Spring 5.1.8, e foi escolhido por ser um banco de dados geográfico de 2º geração, desenvolvido pelo INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) para ambientes UNIX e Windows. Este software opera como um banco de dados geográficos sem fronteiras e suporta grande volume de dados (sem limitações de escala, projeção e fuso) mantendo a identidade dos objetos geográficos ao longo de todo banco; consegue administrar tanto dados vetoriais como matriciais realizando a integração de dados como num SIG; Possui um ambiente de trabalho com uma linguagem espacial facilmente programável pelo usuário (LEGAL Linguagem Espaço-Geográfica baseada em Álgebra) e é de viável utilização já que se trata de um software gratuito. O fluxograma da Figura 6 mostra as etapas que foram seguidas dentro do ambiente Spring.

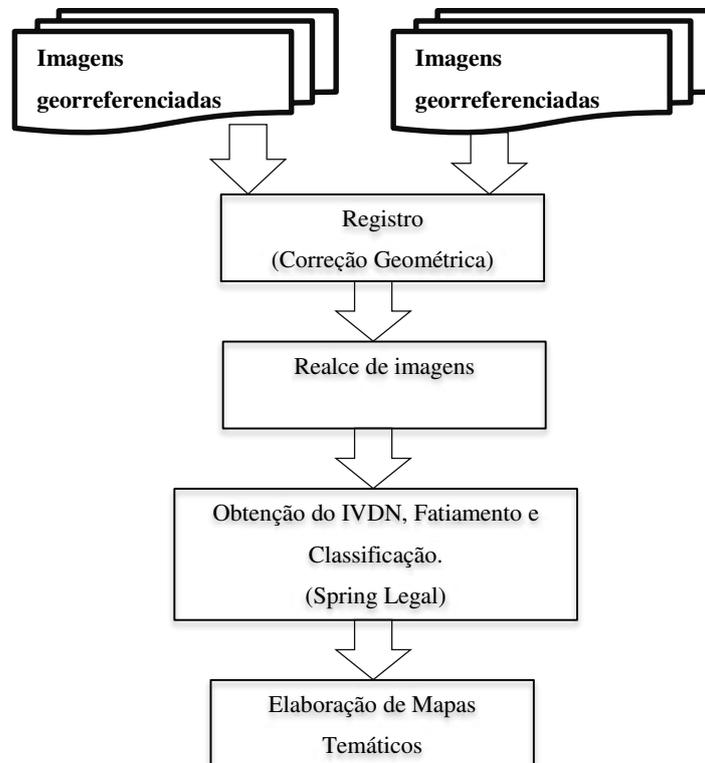


Figura 6: Fluxograma simplificado das etapas metodológicas no SPRING.

Foi realizada a aquisição dos dados orbitais TM/LANDSAT-5, disponibilizados gratuitamente pelo INPE, através do catálogo de imagens. Para o processamento das imagens digitais utilizou-se o SPRING criando-se uma base de dados com a projeção UTM (Fuso 22) / Datum Sirgas 2000.

As imagens foram inicialmente transformadas para o formato .spg no módulo Impima, pois o Spring para efetuar o registro reconhece apenas o formato Spg ou Spr.

Todas as imagens utilizadas foram registradas a partir de imagens georreferenciadas disponível no site <www.landsat.org>. Desta forma, no SPRING utilizando o editor de registro de imagens no modo tela, as cenas foram georreferenciadas com o objetivo de realizar a correção geométrica que consiste relacionar as coordenadas da imagem (linha e coluna) com as coordenadas geográficas de um mapa. O método polinomial de primeira ordem foi utilizado para ajustar a imagem. Foram selecionados de seis a dez pontos de controles, identificados na imagem de referência, fazendo a correspondência nas imagens que se queria georreferenciar, desta maneira foi criado automaticamente os demais pontos de controle que corrigiram as imagens adquiridas pelo site do INPE.

Depois disto os registros das imagens de cada banda das datas selecionadas foram importados em seus respectivos planos de informação. Para um melhor processamento foi realizado o recorte das imagens tomando-se como base os limites do Estado do Piauí através de um arquivo *shape* obtido no site do IBGE.

Ao todo foram 34 imagens georreferenciadas para compor o Estado do Piauí nos dois períodos estudados.

A partir dos recortes foram geradas no módulo LEGAL do Spring as imagens IVDN (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada) para os dois períodos estudados. O IVDN segundo Pereira (1993) é o índice de vegetação mais bem aceito e utilizado, para estudo de cobertura do solo. Vários Autores (SÁ e ANGELOTTI, 2009; SOUSA et al, 2008; LIMA et

al., 2011) têm o utilizado quando se deseja mapear o processo de desertificação em uma determinada área. Matematicamente, o IVDN é calculado pela razão entre a diferença da refletividade da banda 4 (infravermelho próximo) menos a banda 3 (vermelho) pela soma da refletividade dessas mesmas bandas. A seleção dessas duas bandas espectrais se dá pela razão da absorção da radiação ser maior no vermelho (Banda 3) devido aos pigmentos da clorofila presentes nas folhas verdes e a alta refletância no infravermelho próximo (Banda 4), devido a estrutura interna da folha – interface celular – e sua orientação. (FRANCISCO, 2013).

Para uma melhor interpretação dos resultados do IVDN foi realizado um fatiamento em seis classes. O fatiamento consistiu em definir o agrupamento dos níveis de cinzas. A classificação das imagens consistiu em associar determinados níveis de cinzas a classes específicas predefinidas no momento da criação do banco de dados. A definição das classes é mostrada no Quadro 3 abaixo.

Quadro 3: Definição das classes

CLASSE	DEFINIÇÃO
Mata	Vegetação 1
Transição	Vegetação 2
Culturas	Áreas agrícolas
Solo exposto/ área urbana	Solo exposto e área urbana
Água	Corpos d'água
Outros	Elementos confusos como: nuvens e sombras de nuvens.

A fim de melhorar o resultado da classificação, foi realizada a edição matricial para corrigir algumas falhas do procedimento, como por exemplo, a confusão de alvos (nuvens e água). Dessa maneira foi possível diferenciar melhor estes dois alvos.

Através da função medidas de classes, ferramenta do *software* SPRING, foi possível quantificar o valor pertencente a cada classe dos mapas temáticos de uso da terra, revelando a situação das terras em estudo.

Os Mapas finais das classes de cobertura vegetal das terras foram criados no módulo SCARTA do SPRING

4.2.2 *Software* RClimDex

A metodologia estatística de detecção dos índices de extremos climáticos é baseada no *software* RClimdex, desenvolvido por Zhang e Yang (2004), conforme definições do *Expert Team on Climate Change Detection and Indices* (ETCCDMI) e recomendações da Organização Meteorológica Mundial (OMM). Através dessa ferramenta empregou-se o cálculo de 27 índices de extremos climáticos, dos quais 11 referem-se aos dados de precipitação e 16 índices aos dados de temperatura. Para o cálculo desses índices, através do RClimdex, é necessário dispor de dados diários. Assim sendo, neste estudo tais índices foram obtidos com base somente nos dados diários de precipitação das 13 estações do INMET.

O *software* RClimDex é baseado na linguagem R e em planilha Excel, e com saídas gráficas e tabelas dos índices estimados. Vale salientar que o RClimDex é de fácil manuseio e gratuito. O fluxograma apresentado na Figura 7 mostra os passos metodológicos seguidos dentro do ambiente RClimdex.

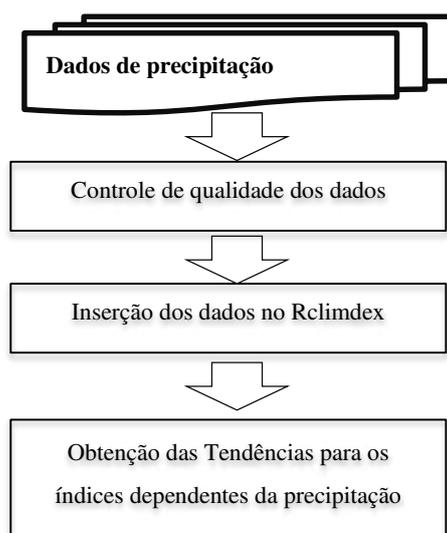


Figura 7: Fluxograma simplificado das etapas metodológicas no Rclimdex.

Foram utilizadas séries históricas de 39 anos de dados diários de precipitação, desde 1971 a 2010. Os onze índices de eventos climáticos extremos derivados da precipitação diária, utilizados nessa pesquisa, juntamente com suas definições conforme o ETCCDMI, estão mostrados no Quadro 4. Na avaliação da homogeneização dos dados e no cálculo dos índices foi utilizada a metodologia de Zhang et al. (2005) implementada no software RClindex, desenvolvido e mantido pelos pesquisadores Xuebin Zhang e Feng Yang do Serviço de Meteorologia do Canadá. O propósito do controle de qualidade foi identificar erros nos dados, conforme proposto por Alexander et al. (2005), assim como, a aplicação da metodologia proposta por Viney e Bates (2004).

O RClindex fornece, para todos os índices, dados estatísticos, tais como: tendência linear calculada pelo método de mínimos quadrados; nível de significância estatística da tendência (valor p); coeficiente de determinação (r^2) e erro padrão de estimativa; assim como os gráficos das séries anuais. O controle de qualidade do RClindex procede-se da seguinte forma: Substitui todos os dados faltosos (atualmente codificados como -99.9) em um formato interno reconhecido pelo R, bem como todos os valores que não são representativos por -99.9 que incluem quantidades de precipitação diárias menores que zero, assim como, precipitações superiores a 200 mm.

Para o processamento dos dados, é necessário que os arquivos estejam em formato de texto ASCII, distribuídos em colunas organizadas na seguinte sequência: ano, mês, dia e precipitação em milímetros (mm). Ressalta-se, ainda, que os dados devem estar em ordem cronológica e os dados faltosos substituídos por -99.9 (Canadian International Development Agency, 2004).

Quadro 4: Índices climáticos dependentes da precipitação pluvial diária, com suas definições e unidades. O RR é o valor da precipitação diária. $RR \geq 1\text{mm}$ representa um dia úmido e $RR < 1\text{mm}$, um dia seco.

ID	Nome do Indicador	Definição	Unidade
DCS	Dias consecutivos secos	Número máximo de dias consecutivos com $RR < 1\text{mm}$	Dias
DCU	Dias consecutivos úmidos	Número máximo de dias consecutivos com $RR \geq 1\text{mm}$	Dias
Rx1dia	Quantidade máxima de precipitação em um dia	Máximo anual de precipitação em 1 dia	mm
Rx5dias	Quantidade máxima de precipitação em cinco dias	Máximo anual de precipitação em 5 dias consecutivos	mm
R10mm	Número de dias com precipitação acima de 10mm	Número de dias em 1 ano em que a precipitação foi $\geq 10\text{mm}$	Dias
R20mm	Número de dias com precipitação acima de 20mm	Número de dias em 1 ano em que a precipitação foi $\geq 20\text{mm}$	Dias
R95p	Dias muito úmidos	Soma total da precipitação em um ano de 5% dos dias mais chuvosos	Dias
R99p	Dias extremamente úmidos	Soma total da precipitação em um ano de 1% dos dias mais chuvosos	Dias
R50mm	Número de dias do ano com precipitação superior a 50 mm/dia	Número de dias em 1 ano em que a precipitação foi $\geq 50\text{ mm/dia}$	Dias
PRCPTOT	Precipitação total anual nos dias úmidos	Precipitação total anual nos dias úmidos ($RR \geq 1\text{mm}$)	mm
SDII	Índice simples de intensidade diária	Quantidade diária de precipitação nos dias úmidos	mm

4.2.3 Correlação entre Índices Extremos de Precipitação e as Anomalias de TSM.

É interessante correlacionar os índices de extremos climáticos com as anomalias de TSM, visto que tais anomalias nos oceanos Pacífico e Atlântico Tropicais é a principal variável física influenciadora das condições da variabilidade climática no NEB (Philander, 1991 apud Menezes et al., 2008).

Como o estado do Piauí possui uma diferença climática bem acentuada à medida que avança para o sul, o primeiro passo foi separar as estações que faziam parte do norte e do sul do estado, a partir disso foi realizada a média anual de cada índice para as estações do norte e do sul.

Com o intuito de analisar o comportamento das anomalias anuais de TSM nos Oceanos e suas influências sobre os índices de extremos climáticos anuais para as porções norte e sul do Estado do Piauí, foi utilizado o método de Pearson na obtenção da correlação entre as anomalias anuais de TSM e os índices de extremos climáticos anuais obtidos. Os índices foram correlacionados individualmente com a anomalia de TSM de cada área estudada. A significância estatística foi obtida através do teste *t-Student* aplicada a uma série que apresenta graus de liberdade (N) igual a 34, tendo um $r_{\text{crítico}} = 0,286$ ($p \leq 0,05$), correspondentes aos 34 anos da série histórica de dados analisados.

5 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 CLASSIFICAÇÃO DAS IMAGENS

Como resultado de todo o processamento digital das imagens foi obtido os mapas de uso ocupação das terras para os dois períodos estudados e estes por sua vez podem ser visualizadas nas Figuras 9 e 10.

Os mapas obtidos revelaram que a porção central do Piauí é que apresenta maior percentual de solo exposto e isto é justificável, pois esta área está geograficamente sujeita ao regime pluviométrico do semiárido, além disso, tal região apresentou os menores valores de IVDN, indicando vegetação esparsa e presença de solo exposto. A pouca pluviometria nesta região deve-se aos sistemas meteorológicos que atuam na região assim como sua fisiografia justificada por sua localização. Guedes et al. (2010) explana que os menores valores de precipitação no Piauí estão na parte central do estado, região semiárida e a topografia ajuda nessa configuração, visto que a parte norte é mais baixa e favorece a atuação de sistemas meteorológicos de grande escala. Já a parte central e sul do estado, provavelmente sofre influência de sistemas de escala local como chuvas orográficas. O relevo do Piauí pode ser visualizado na figura 8.

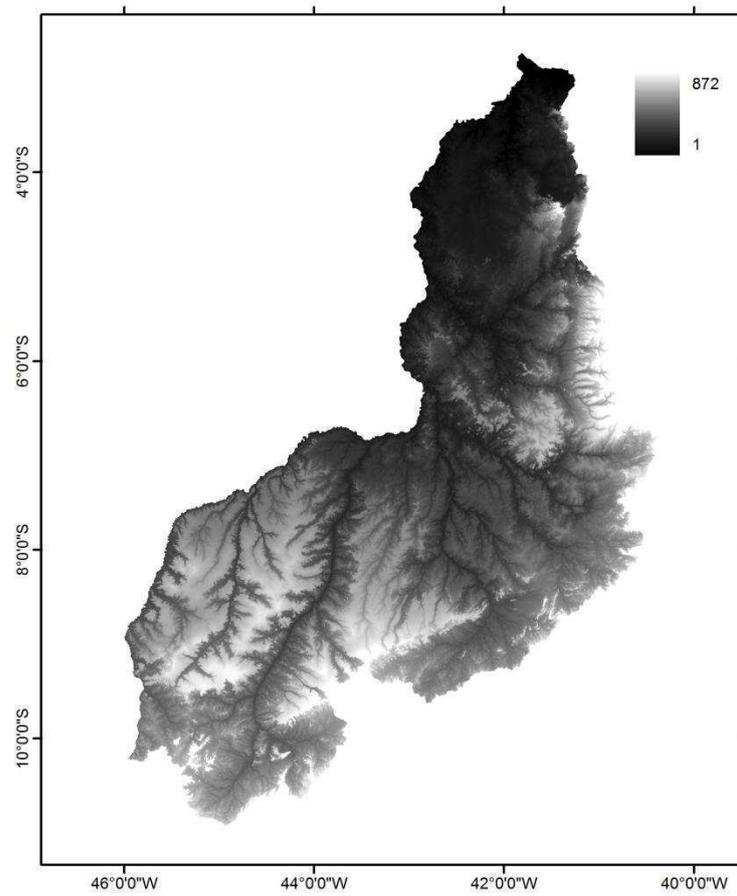


Figura 8: Distribuição espacial do relevo do Estado do Piauí (em metros).

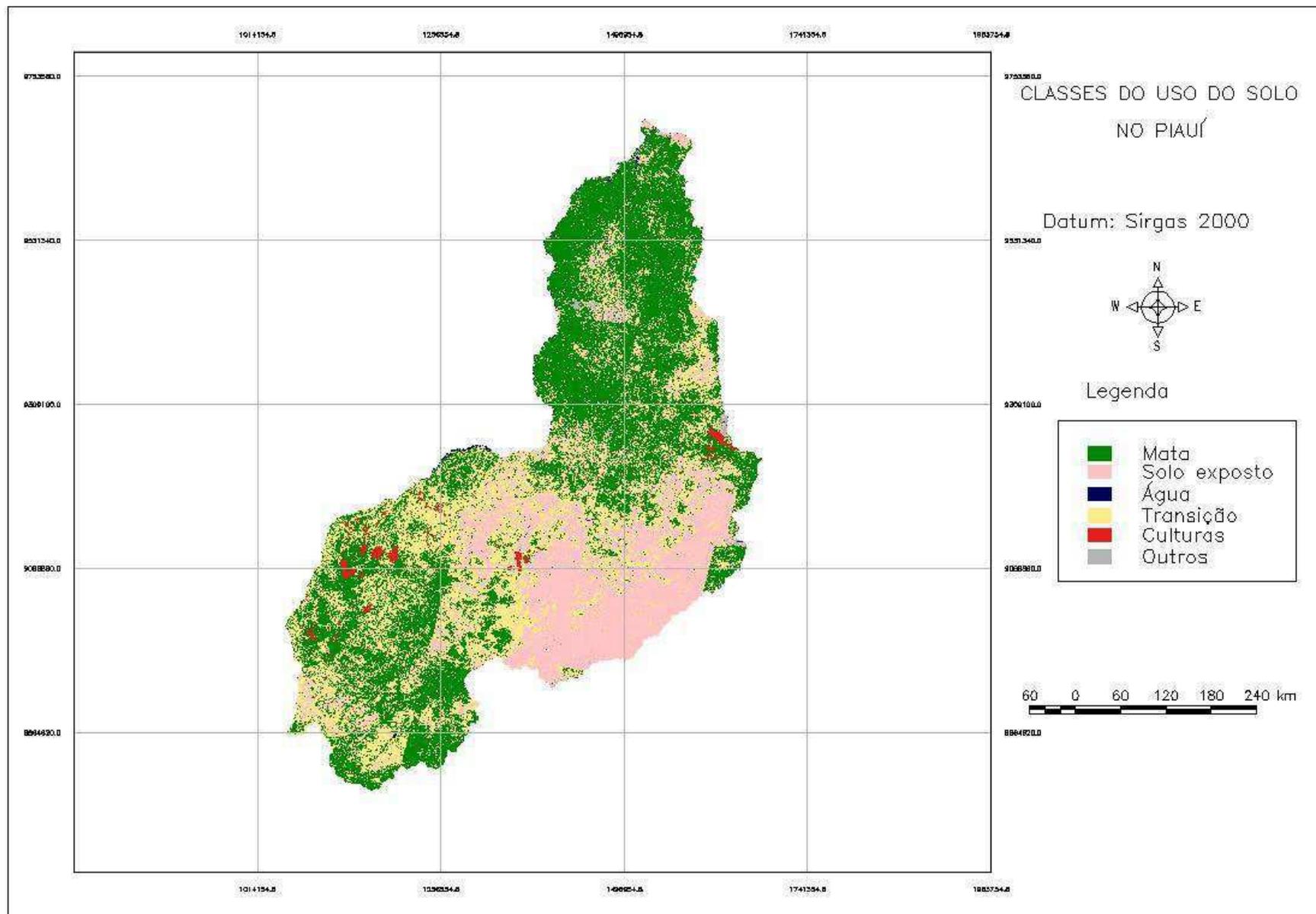


Figura 9: Mapa de uso e ocupação das terras do Estado do Piauí - Ano 1990

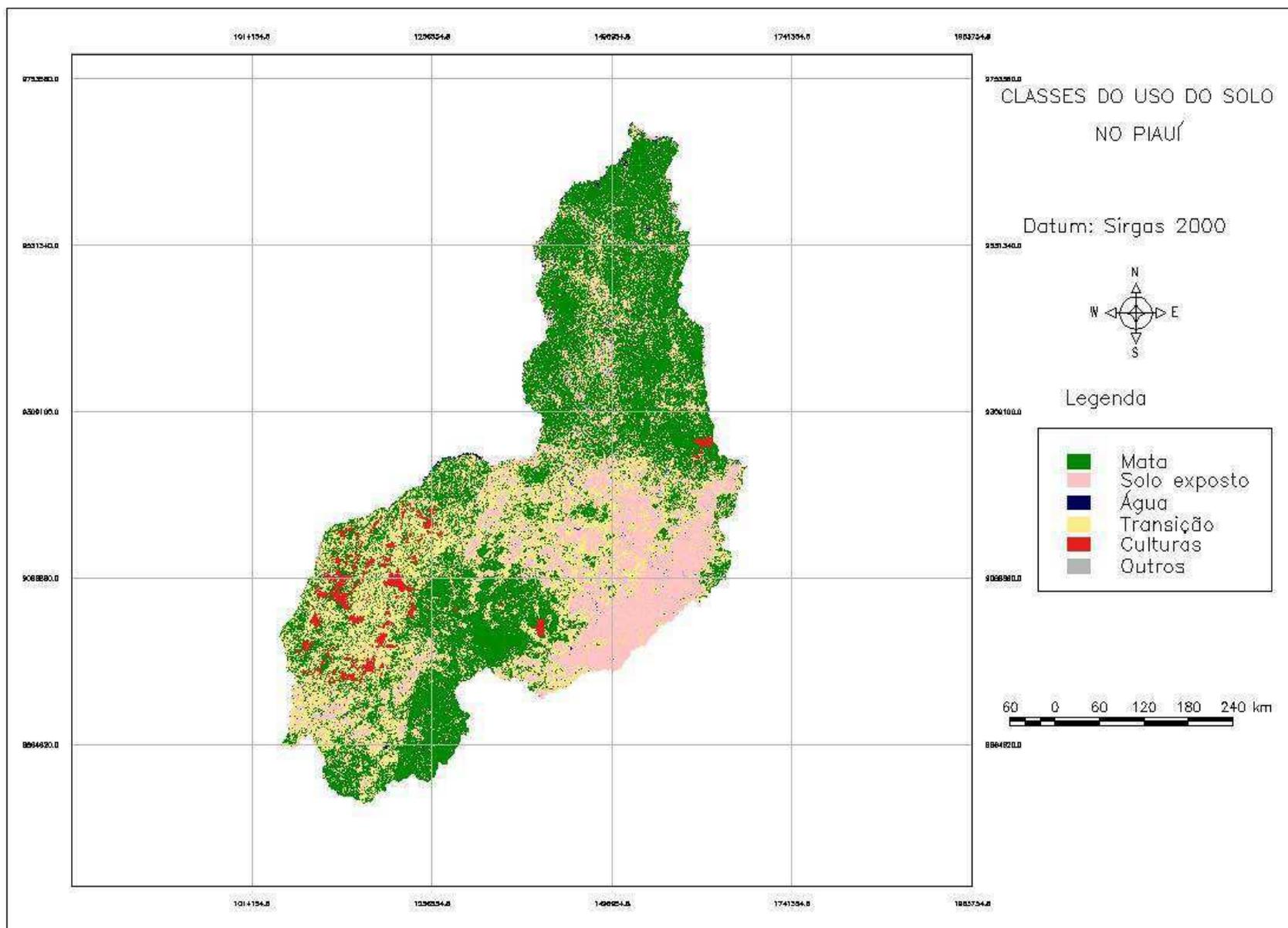


Figura 10: Mapa de uso e ocupação das terras do Estado do Piauí - Ano 2000

Verificou-se que as classes de uso do solo Mata e Solo exposto diminuíram na região, porém o que chama atenção é como a classe da Cultura aumentou e, conseqüentemente, devido à necessidade de irrigação a quantidade de água também aumentou proporcionalmente, talvez, oriunda da construção de reservatórios. Os alvos que ficaram confusos foram inseridos na classe Outros.

Tabela 2: quantificação das classes de cobertura do solo.

Cobertura do solo	(km ²)		(%)	
	1990	2000	1990	2000
Água	622,52	763,59	0,25	0,30
Mata	120.379,04	119.563,24	47,80	47,47
Transição	62.466,39	67.842,66	24,80	26,94
Culturas	1.315,27	5.556,92	0,52	2,21
Solo exposto	64.716,58	56.881,48	25,70	22,58
Outros	2.359,11	1.250,76	0,94	0,50

5.2 ÍNDICES DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS

A Tabela 4 apresenta os valores das tendências da série de longo prazo (período de 1971 a 2010) dos índices de extremos climáticos, de todas as 13 estações. Considerou-se tendências estatisticamente significativas aquelas em que o valor p foi inferior a 0.10 ($p < 0,10$) os valores das tendências referentes a $p < 0,10$ estão em negrito na tabela.

As estações de Esperantina, Luzilândia, Morro dos Cavalos e Vale do Gurguéia não apresentaram nenhuma tendência estatisticamente significativa. Verificou-se ainda tendência estatisticamente significativa dos índices de extremos climáticos DCS ($p=0,016$), PRCPTOT ($p=0,015$) e R10mm ($p=0,016$) para a estação Bom Jesus do Piauí. Na estação de Caldeirão

observou-se tendência estatisticamente significativa nos índices R99p ($p=0,109$), Rx5dias ($p=0,08$) e SDII ($p=0,034$). Em Floriano notou-se tendência estatisticamente significativa para os índices DCS ($p=0,009$), R50mm ($p=0,062$) e Rx1dia ($p=0,109$).

Em Parnaíba, Picos, Piriri, São Joao do Piauí, Teresina e Caracol apenas os índices SDII ($p=0.086$), DCU ($p=0.096$), R20mm ($p=0.068$), R20mm ($p=0.078$), R50mm ($p=0.014$) e DCS ($p=0.096$), respectivamente, apresentaram tendência estatisticamente significativa.

Tabela 3: Tendência de longo tempo dos índices de mudanças climáticas e a estatística p das tendências estatisticamente significativa ($p < 0.10$)

Estações	Latitude	Longitude		Índices										
				DCS	DCU	PRCPTOT	R10mm	R20mm	R95p	R99p	R50mm	Rx1dia	Rx5 dias	SDII
Bom Jesus Do Piauí	-9.08	-44.32	Tendência	1,569	-0,028	-10,916	-0,343	-0,158	-3,347	-1,356	-0,045	-0,356	-0,457	0,017
			Valor p	0,016	0,57	0,015	0,026	0,128	0,284	0,526	0,517	0,439	0,658	0,79
Caldeirão	-4.28	-41.8	Tendência	1,356	-0,29	6,305	-0,016	0,228	7,862	6,124	0,135	1,542	2,962	0,157
			Valor p	0,212	0,238	0,695	0,976	0,467	0,172	0,109	0,516	0,428	0,08	0,034
Esperantina	-3.89	-42.25	Tendência	0,095	-0,018	-4,211	-0,258	-0,136	1,695	0,871	-0,084	0,625	0,691	0,016
			Valor p	0,884	0,902	0,744	0,535	0,596	0,743	0,804	0,552	0,366	0,635	0,77
Floriano	-6.76	-43.01	Tendência	1,406	-0,013	-6,55	-0,058	-0,084	-4,249	-1,59	-0,145	-1,164	-0,127	-0,015
			Valor p	0,009	0,684	0,224	0,681	0,387	0,227	0,459	0,062	0,109	0,907	0,73
Luzilandia	-4.28	-41.8	Tendência	-0,024	-0,124	-9,569	-0,476	-0,233	-1,85	-2,318	-0,024	0,283	1,153	-0,001
			Valor p	0,981	0,465	0,478	0,312	0,293	0,753	0,447	0,851	0,784	0,388	0,985
Morro dos Cavalos	-7.85	-41.9	Tendência	1,627	0,008	4,287	0,15	0,155	3,013	-1,712	0,008	-	-	0,019
			Valor p	0,23	0,928	0,542	0,611	0,2	0,48	0,63	0,934	-	-	0,73
Parnaíba	-3.06	-41.78	Tendência	0,325	0,031	-28,563	-0,558	-0,418	-18,595	-5,764	-0,271	-1,438	-2,366	-0,199
			Valor p	0,772	0,93	0,235	0,345	0,3	0,122	0,236	0,369	0,141	0,299	0,086
Picos	-7.07	-41.40	Tendência	0,308	0,062	-1,423	-0,015	-0,038	-0,768	-0,265	-0,002	-0,017	0,006	-0,004
			Valor p	0,455	0,096	0,626	0,872	0,504	0,957	0,547	0,734	0,958	0,989	0,879
Piriri	-4.27	-41.79	Tendência	0,182	0,155	11,959	0,274	0,312	5,38	4,514	0,054	1,001	0,708	0,049
			Valor p	0,811	0,361	0,217	0,378	0,068	0,236	0,127	0,651	0,215	0,534	0,372
São João do Piauí	-8.36	-42.25	Tendência	1,441	0,039	-6,38	-0,174	-0,184	-0,316	-0,178	-0,004	-0,225	1,242	-0,007
			Valor p	0,108	0,513	0,155	0,314	0,078	0,928	0,904	0,923	0,74	0,318	0,919
Teresina	-5.03	-42.8	Tendência	0,359	-0,007	-6,187	-0,16	-0,15	1,703	-1,727	-0,144	-0,232	-0,081	-0,026
			Valor p	0,625	0,882	0,233	0,381	0,20	0,549	0,388	0,014	0,699	0,926	0,439
Vale do Gurguéia	-8.41	-43.71	Tendência	0,218	-0,036	-3,706	-0,172	0	0,937	2,815	-0,056	0,548	-0,004	0,114
			Valor p	0,83	0,82	0,687	0,59	0,998	0,835	0,21	0,619	0,114	0,996	0,119
Caracol	-9.28	-43.32	Tendência	1,938	-0,027	-0,724	-0,118	-0,071	-0,307	-0,819	-0,024	-0,217	-0,552	-0,007
			Valor p	0,096	0,625	0,89	0,569	0,498	0,917	0,55	0,763	0,746	0,45	0,902

5.3 DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DOS ÍNDICES DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS

O índice de detecção de mudança climática DCS, dias consecutivos secos, apresenta tendência positiva ao longo do estado, porém os valores mais altos desse índice estão na porção sul e leste do Piauí. Isso é justificável por essa região sofrer efeitos de sistemas locais tais como aglomerados convectivos e linhas de instabilidade. Concomitante a este resultado está os mapas de uso e ocupação das terras que apresentou para as mesmas porções as maiores áreas de solo exposto. As estações que apresentam significância estatística para este índice são 1, 4 e 13 que correspondem a Bom Jesus do Piauí, Floriano e Caracol respectivamente (Figura 10a). Por outro lado o índice DCU (Dias Consecutivos Úmidos) apresentou configuração inversa, isto é, observa-se valores altos de tendências na parte norte diminuindo em direção ao sul do Estado. Isto ocorre pela influência do clima semiárido na parte sul do Estado (GUEDES et al, 2010) (Figura 10b). Ressalta-se ainda que este índice apresenta também um núcleo de tendência negativa no norte do estado, possivelmente, é devido a eventos de grande escala e por fatores locais. Somente a estação de Picos apresentou significância estatística para este índice.

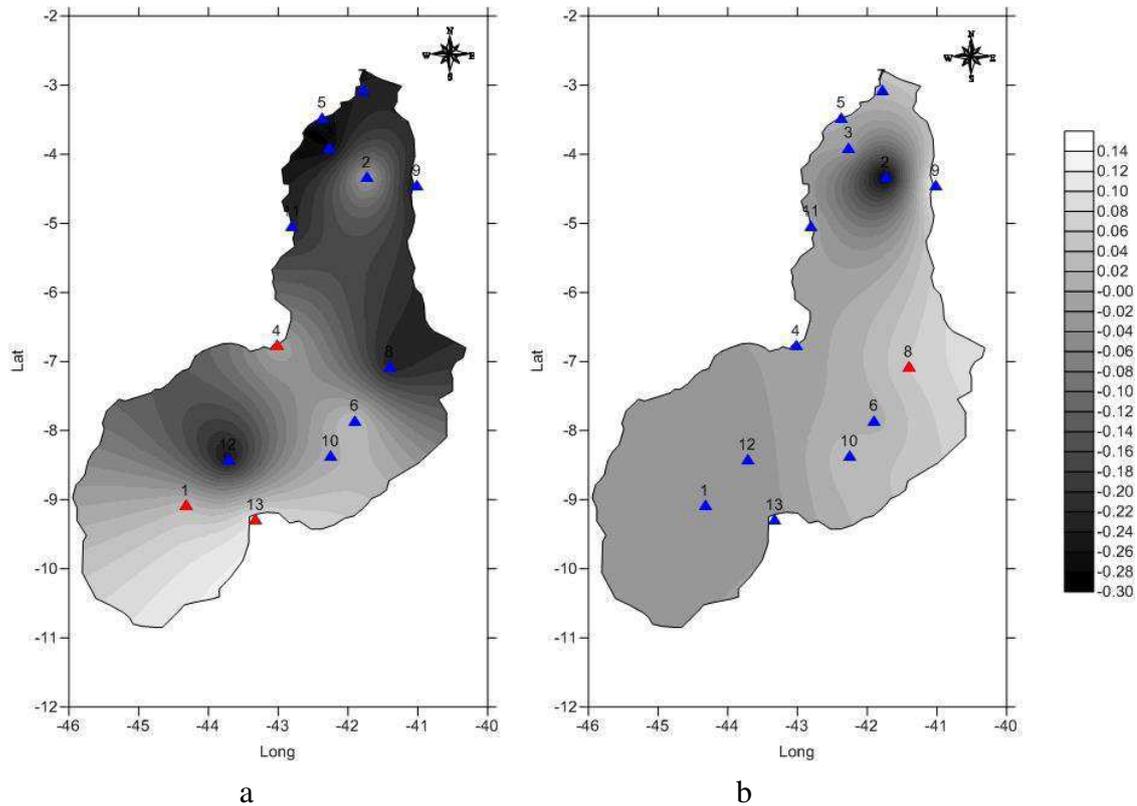


Figura 11: Distribuição espacial da tendência de dias consecutivos secos (DCS) (dias/ano) (a) e dos dias consecutivos úmidos (DCU) (dias/ano) (b) no estado do Piauí.

O padrão das tendências para os índices R10mm e PRCPTOT são similares, isto é, observa-se um decaimento dos índices em todo o Estado do Piauí (Figura 11). A precipitação total anual (PRCPTOT) apresenta queda em todo o estado de Piauí tendo uma variação de -20 mm/ano, no extremo norte do Estado, a -10 mm/ano, na parte sul (Figura 11a). Isto significa que os totais anuais de chuvas no estado de Piauí, estão diminuindo. O número de dias do ano com precipitação maior que 10 mm (R10mm), apresenta um decaimento em quase todo estado de Piauí, é possível observar tendências negativas do norte ao sul do estado (Figura 11b). Salienta-se ainda, que frequência de chuvas acima de 10mm diminuiu, para estes dois índices apenas a estação 1 (Bom Jesus do Piauí) teve significância estatística. Os resultados corroboram com Guedes et al. (2010).

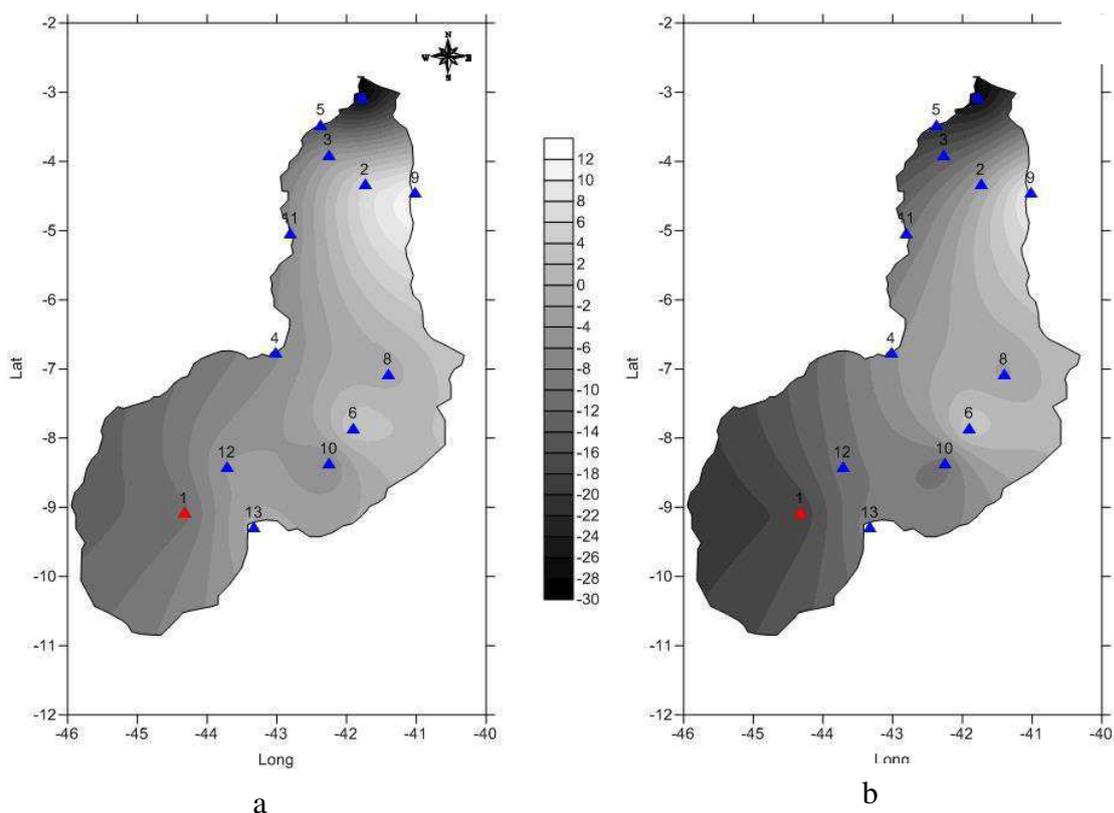


Figura 12: Distribuição espacial da tendência do total anual de precipitação (PRCPTOT) (mm/ano) (a) e tendência do número de dias com chuvas superiores a 10 mm (r10mm) (dia/ano) (b) no estado de Piauí.

A tendência de número de dias com precipitação maior que 20 mm (R20mm) (Figura 12a) apresenta valores negativos ao longo do estado. As estações que tiveram significância estatística para este índice foram 9 e 10 (Piriri e São João do Piauí). O número de dias com precipitação superior a 50 mm (R50mm) apresentou tendência negativo ao longo do Estado apresentando um pequeno crescimento na área que está situada as estações 2 e 9 (Caldeirão e Piriri), ou seja, estas duas estações apresentam um aumento de eventos de precipitação extrema, isto é, iguais ou superiores a 50 mm, precipitações dessas magnitudes podem ocasionar inundações e alagamentos, tais eventos causam consequências em curto e longo prazo, através de impactos diretos na agricultura e pecuária, nos recursos hídricos, na infraestrutura urbana, como também nos seres humanos, afetando o bem-estar social (Changnon, 1996). Para este índice as estações que tiveram significância estatística foram 4 e 11 (Floriano e Teresina) (Figura 12b).

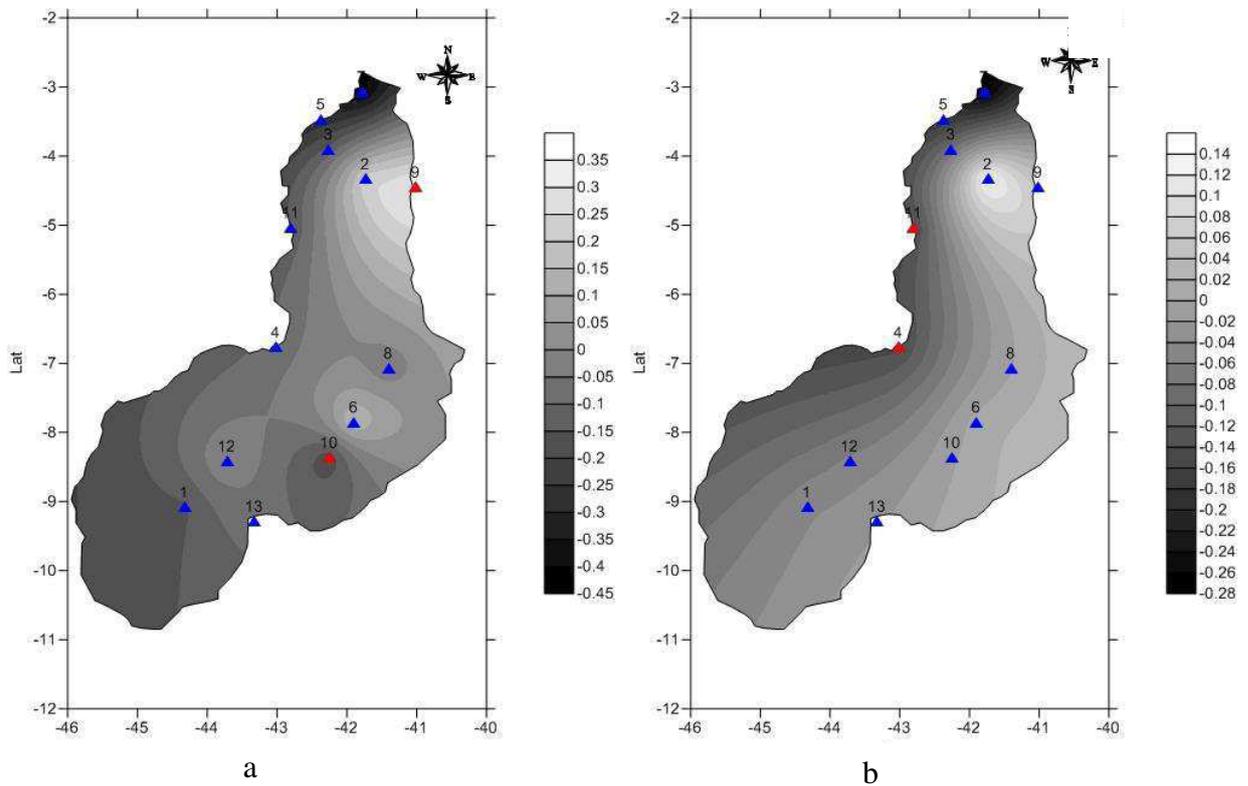


Figura 13: Distribuição espacial da tendência do número de dias com chuvas superiores a 20 mm (R20mm) (dia/ano) (a) e tendência do número de dias com chuvas superiores a 50 mm (R50mm) (dia/ano) (b) no estado de Piauí.

O padrão de tendência da maior precipitação diária do ano em um dia (R1xdia) apresenta decaimento em quase todo o estado de Piauí, as estações que tiveram significância para este índice foram a 4 (Floriano) (Figura 13a). Por outro lado a distribuição espacial do índice da maior precipitação do ano em cinco dias consecutivos (Rx5dias) apresentou tendência positiva em quase todo o estado, tendo tendência negativa apenas no extremo norte e extremo sul do estado do Piauí, isto é, para o Estado do Piauí a tendência do índice Rx5dias é maior no Estado quando comparado com o índice Rx1dia. A estação 2 (caldeirão) foi a que teve significância estatística para este índice (Figura 13b).

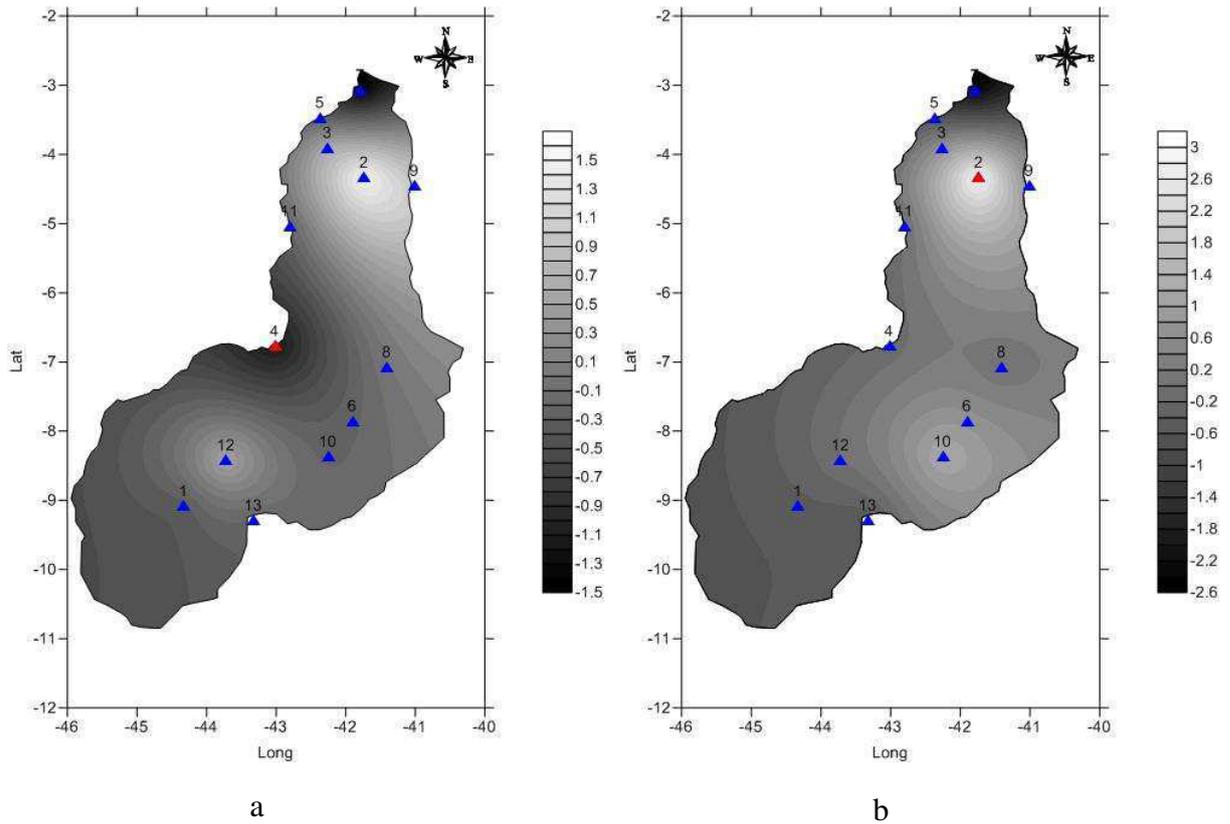


Figura 14: Distribuição espacial da tendência da quantidade máxima de precipitação em um dia mm (R1dia) (mm) (a) e tendência da quantidade máxima de precipitação em 5 dias (R5dias) (mm) (b) no estado de Piauí.

A Figura 14 mostra os índices R99p (soma total da precipitação em um ano de 1% dos dias mais chuvosos) e o SDII (intensidade da precipitação). O R99p apresentou tendência negativa na porção sul e no extremo norte do estado do Piauí, para este índice apenas a estação 2 (caldeirão) se mostrou estatisticamente significativa (figura 14a). O índice SDII apresentou-se tendência positiva na maior parte do estado apresentando tendência negativa apenas no litoral do Piauí. O resultado desse índice corrobora com os índices DCU e PRCPTOT onde também foi verificada tendência negativa no litoral do Estado.

O índice R95p foi o único que não teve significância estatística em nenhuma das estações estudadas (Figura 15).

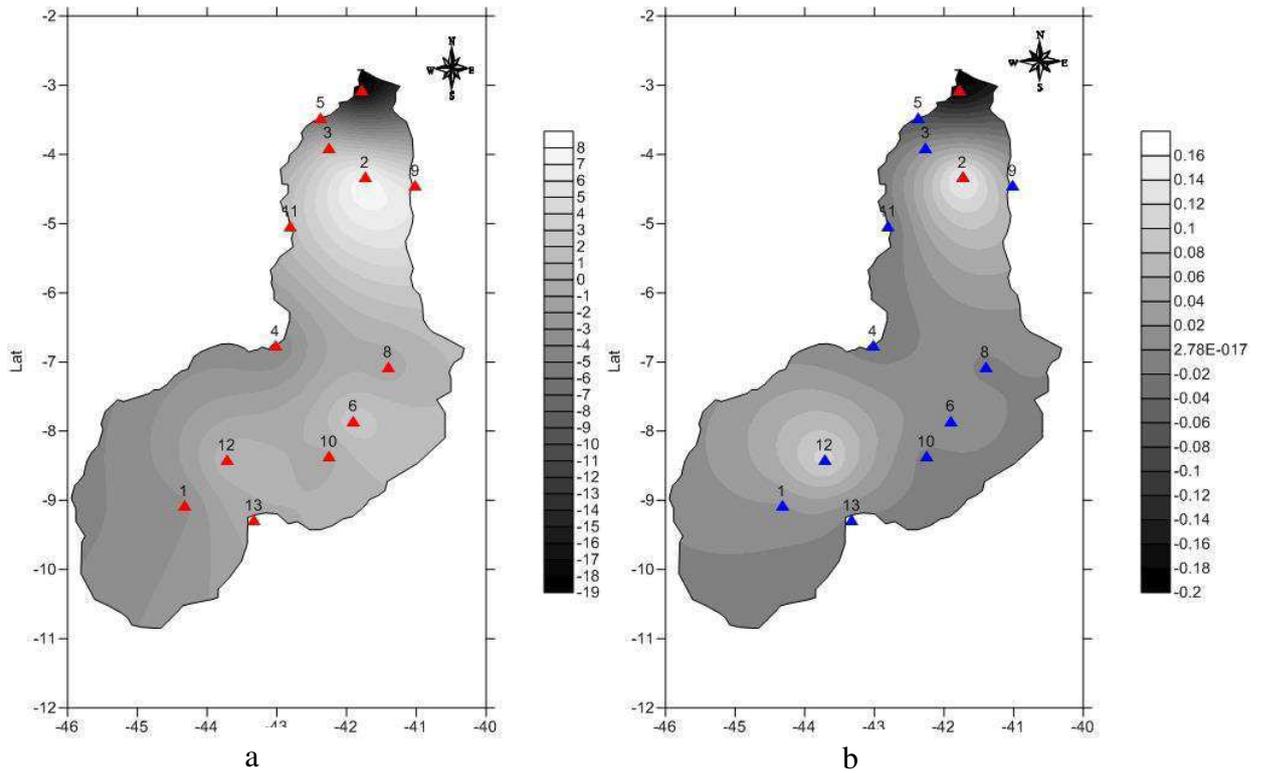


Figura 15: Distribuição espacial da tendência do índice R99p (mm/ano) (a) e Distribuição espacial da tendência da intensidade da precipitação ((mm/dia) /ano) (b) no estado de Piauí.

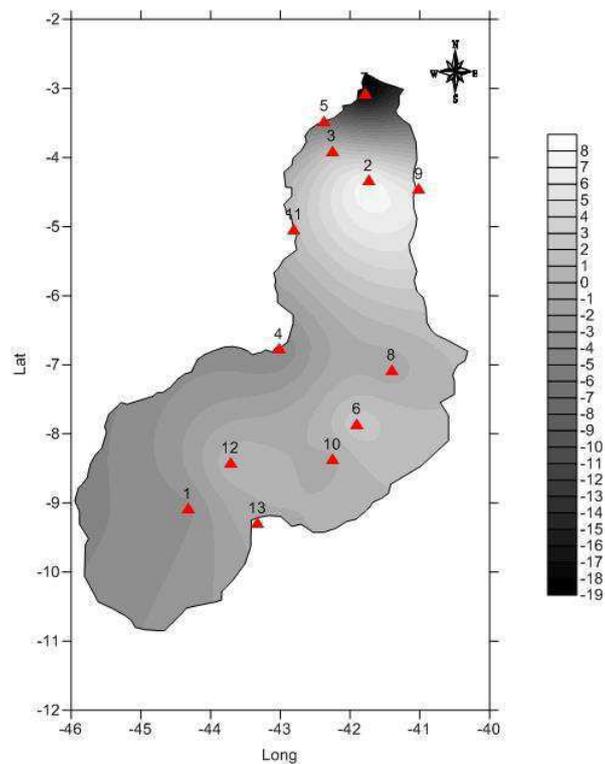


Figura 16: Distribuição espacial da tendência do índice R95p (mm/ano) no estado do Piauí

5.4 CORRELAÇÃO ENTRE OS ÍNDICES DE EXTREMOS CLIMÁTICOS E AS ANOMALIAS DE TSM.

Santos (2006) afirma que a variabilidade do clima do NEB está associada a padrões de variação em escala planetária, que estão associados ao comportamento dos oceanos Atlântico e Pacífico. Kayano et al. (2009) pesquisaram as relações entre a precipitação na América do Sul e os índices de TSM dos oceanos tropicais, por meio de análise de correlação para o período de 1948–1976 e 1977–2002. Os resultados mostraram que a relação entre o El Niño (La Niña) e a precipitação é negativa (positiva) para o nordeste da América do Sul e positiva (negativa) para o sul e o sudeste do continente.

Como as características climáticas da porção norte e sul do Piauí possuem diferenças bem acentuadas, verificou-se que seria necessário dividir as estações em duas porções (norte e sul). A Tabela 5 a seguir apresenta as correlações entre os índices de extremos climáticos dependentes da precipitação diária para a porção norte do Piauí e as anomalias de TSM nos Oceanos Pacífico e Atlântico. Pode-se verificar que as anomalias de TSM nas regiões de Niño 3, Niño 3.4 e Niño 4 apresentam correlação negativa, com significância estatística, para os índices DCU, PRCPTOT, R10mm, R20mm, R95p, R99p, R50mm, Rx5dias e SDII mostrando que quando a TSM (La Niña) diminui ocorre um aumento de todos os índices anteriormente citados, entretanto a região Niño 1+2 apresentou significância estatística apenas para os índices PRCPTOT, R10mm, R20mm e R50mm. A correlação negativa para estes índices revela que uma diminuição nas TSMs (La Niña) dessas regiões leva a um aumento dos eventos extremos de chuva e da precipitação total.

O índice que representa as anomalias de TSM no Oceano Atlântico Norte (TNAI) não mostrou correlações com significância estatística com nenhum dos índices estudados. Em contrapartida o índice TSAI apresentou correlação positiva (com significância estatística) para os índices DCU, R10mm e R20mm, indicando que o aquecimento do Oceano Atlântico

Tropical Sul induz o deslocamento da ZCIT mais ao sul do Equador levando a um aumento dos dias consecutivos úmidos e dos eventos de precipitação acima de 10 e 20 mm sobre a porção norte do Piauí. Estes resultados corroboram com Santos et al. (2012).

Tabela 4: Correlações entre os índices de extremos climáticos dependentes da precipitação diária para a porção de norte do Piauí e as anomalias de TSM nos Oceanos Pacífico e Atlântico. (Os valores em negrito correspondem ao nível de significância de 5%).

	DCS (Norte)	DCU (Norte)	PRCPTOT (Norte)	R10mm (Norte)	R20mm (Norte)	R95p (Norte)	R99p (Norte)	R50mm (Norte)	Rx1dia (Norte)	Rx5dias (Norte)	SDII
Niño 1+2	0,101	-0,234	-0,427	-0,421	-0,446	-0,198	-0,054	-0,421	-0,192	-0,173	-0,290
Niño 3	0,113	-0,315	-0,426	-0,333	-0,317	-0,469	-0,350	-0,374	-0,234	-0,422	-0,388
Niño 3.4	0,125	-0,392	-0,466	-0,371	-0,345	-0,521	-0,345	-0,406	-0,179	-0,427	-0,368
Niño 4	0,083	-0,432	-0,506	-0,396	-0,380	-0,558	-0,335	-0,454	-0,121	-0,396	-0,364
TNAI	0,166	-0,180	-0,251	-0,222	-0,167	-0,174	-0,146	-0,143	-0,055	-0,258	0,029
TSAI	-0,193	0,324	0,238	0,367	0,318	-0,053	-0,127	0,178	-0,128	-0,240	-0,186

Na porção sul do Piauí foi possível observar que no geral as anomalias de TSM não influenciam muito, é possível verificar isso através da Tabela 6 a seguir que apresenta as correlações entre os índices de extremos climáticos dependentes da precipitação diária para a porção sul do Piauí e as anomalias de TSM nos Oceanos Pacífico e Atlântico. Apenas as regiões de Niño 3, TNAI e TSAI apresentaram índices com significância estatística. Sugere-se que a parte sul do Estado esteja mais sujeita a precipitação advindas de sistemas locais.

Tabela 5: Correlações entre os índices de extremos climáticos dependentes da precipitação diária para a porção de sul do Piauí e as anomalias de TSM nos Oceanos Pacífico e Atlântico. (Os valores em negrito correspondem ao nível de significância de 5%).

	DCS (Sul)	DCU (Sul)	PRCPTOT (Sul)	R10mm (Sul)	R20mm (Sul)	R95p (Sul)	R99p (Sul)	R50mm (Sul)	Rx1dia (Sul)	Rx5dias (Sul)	SDII
Niño 1+2	0,112	-0,096	-0,161	-0,116	-0,148	-0,003	0,036	-0,074	0,067	0,145	0,160
Niño 3	0,076	-0,262	-0,306	-0,239	-0,238	-0,106	-0,107	-0,191	-0,128	-0,053	0,069
Niño 3.4	0,059	-0,263	-0,257	-0,188	-0,159	-0,052	-0,061	-0,118	-0,116	0,031	0,190
Niño 4	0,158	-0,215	-0,265	-0,205	-0,111	-0,052	-0,021	-0,093	-0,137	0,087	0,317
TNAI	0,213	-0,016	-0,289	-0,292	-0,217	-0,078	0,089	-0,187	-0,154	-0,014	0,052
TSAI	-0,010	0,106	-0,033	0,126	-0,134	-0,366	-0,157	-0,297	-0,117	-0,268	-0,282

6 - CONCLUSÕES

A análise dos índices anuais de extremos climáticos oriundos de dados de precipitação diária indica uma diminuição da precipitação total anual no Estado do Piauí. Em geral, os índices R10mm, R20mm e 50mm apresentaram tendência negativa ao longo do estado.

Os índices DCS e DCU apresentaram padrão inverso de tendências, onde o DCS foi maior na parte sul e o DCU maior na parte norte e isto pode ser visualizado também nos mapas de uso e ocupação das terras, visto que a porção norte se apresentou mais vegetada enquanto a porção central e sul do estado apresentou maior quantidade de solo exposto. Vale ressaltar que as estações de Esperantina, Luzilândia, Morro Dos Cavalos e Vale Do Gurguéia não apresentaram nenhuma tendência estatisticamente significativa.

Verificou-se que o regime de chuvas na porção norte do Estado sofre influência das anomalias de TSM do Pacífico e do Atlântico. Os índices que representam os extremos de chuva apresentaram correlações de significância estatística com as regiões de Niño 1+2 e Niño 3, Niño 3.4, Niño 4 no Pacífico e com a região do Atlântico Sul Tropical. Evidenciando a forte influência da TSM dos Oceanos Pacífico e Atlântico sobre a precipitação da porção norte da região estudada, identificando assim, que a atuação do ENOS e do Dipolo do Atlântico têm grande influência sobre o clima do Estado do Piauí. Porém a porção Sul do mesmo estado quase não apresentou resultados com significância estatística sugerindo que o regime de chuvas nessa região tenha como fator influenciador os sistemas locais.

7 - RECOMENDAÇÕES

Sugere-se para trabalhos futuros um estudo de campo na área analisada para uma melhor compreensão dos alvos que ficaram confusos e que, além dos dados de precipitação, sejam analisados dados de temperatura mínima e máxima para o cálculo dos índices de extremos climáticos.

8 - REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALEXANDER, L. V., ZHANG, X., PETERSON, T. C., CAESAR, J., GLEASON, B., KLEIN TANK, A., HAYLOCK, M., COLLINS, D., TREWIN, B., RAHIMZADEH, F., TAGIPOUR, A., AMBENJE, P., KUMAR, K. R., REVADEKAR, J., GRIFFITHS, G., VINCENT, L., STEPHENSON, D., BURN, J., AGUILAR, E., BRUNET, M., TAYLOR, M., NEW, M., ZHAI, P., RUSTICUCCI, M., VAZQUEZ-AGUIRRE, J. L. Global observed in daily climate extremes of temperature and precipitation. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**, British Crown Copyright, v.111, p. 1-22, 2006.

ALTMANN, A. L.; ECKHARDT, R. R.; REMPEL, C. Evolução temporal do uso e cobertura da terra - estudo de caso no município de Teutônia - RS - Brasil. **Revista Brasileira de Cartografia** , nº 61/03, p. 273-283, 2009.

Governo do estado do Piauí. Disponível em: <http://www.semiarido.pi.gov.br/conheca_mais.php>. Acesso em 26 março 2013.

CARVALHO, C. M. Avaliação da Desertificação no Sudoeste do Estado do Piauí, através de Técnicas de Sensoriamento Remoto. 2007. **Dissertação de Mestrado**. INPE, São José dos Campos – SP.

CARVALHO, V. C. Abordagem multiescala para o monitoramento de indicadores do processo de desertificação. In: Simpósio Brasileiro De Sensoriamento Remoto, 10, 2001. Foz do Iguaçu, Paraná, Brasil. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2001, p. 1539-1551.

CHANGNON AS. 1996. **The Great Flood of 1993: Causes, Impacts, and Responses**. Westview Press: Boulder; 321pp.1996.

DAINESE, R.C.; Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento aplicado ao estudo temporal do uso da terra e na comparação entre classificação não-supervisionada e análise visual. 2001.

Dissertação de Mestrado. UNESP, Botucatu – SP.

FERREIRA, A. B.; SANTOS, C. R.; BRITO, J.L.S.; ROSA, R.; Análise comparativa do uso e ocupação do solo na área de influência da Usina Hidrelétrica Capim Branco I a partir de técnicas de geoprocessamento. **Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Goiânia, Brasil, 16-21 abril 2005, INPE, p. 2997-3004. Disponível em:<http://marte.dpi.inpe.br/col/ltid.inpe.br/sbsr/2004/11.18.13.55/doc/2997.pdf>

FRANCISCO, P. R. M. Modelo de mapeamento da deterioração do bioma caatinga da bacia hidrográfica do Rio Taperoá, PB. **Tese de doutorado.** 2013, Campina Grande – PB.

FUNCEME/DEMET. Disponível em <http://www.funceme.br/DEMET/Index.html>, acessado em Junho de 2013.

GARCÍA, I. G.; FONSECA, Y. B. Análisis de indicadores de extremos climáticos en la isla de Cuba. **Revista de Climatología.** v. 12, p.81-91,2012.

GUEDES, R. V. S.; LIMA, F. J. L.; AMANAJÁS, J. C.; BRAGA, C. C.; Análise em componentes principais da precipitação pluvial no estado do Piauí e agrupamento pelo Método de Ward. **Revista de Geografia.**, v. 27, n. 1, p. 218-233, 2010.

HASTENRATH, S. Variations in Low-latitude Circulation and Extreme Climatic Events in the Tropical Americas. **Journal of Atmospheric Society**, v. 33, p. 202-215, 1976.

HASTENRATH, S.; HELLER, L. Dynamics of climatic hazards in Northeast Brazil. **Quartely Journal of Royal Meteorological Society**, v. 103, p. 77-92, Jan. 1977.

IWASA, O. Y., PRADINI, F.L. Diagnóstico da origem e evolução de voçoroca: condição fundamental para a preservação e correção. In: Simpósio Sobre O Controle Da Erosão, 1980, Curitiba. **Anais**. Curitiba: ABGE, p.5-30, 1998.

KAYANO, M. T., OLIVEIRA, C. P., ANDREOLI, R.V. Interannual relations between South American rainfall and tropical sea surface temperature anomalies before and after 1976. **International Journal of Climatology**, v. 29, p. 1439–1448, 2009

KAYANO, M. T.; RAO, V. B.; MOURA, A. D. Tropical Circulations and the Associated Rainfall Anomalies During Two Contrasting Years, **Journal of Climatology**, v. 8, p. 477-488, 1988.

KOUSKY, V. E.; KAYANO, M. T.; CAVALCANTI, I. F. A. A Review of the Southern Oscillation: Oceanic-atmospheric Circulation Changes and Related Rainfall Anomalies, **Tellus**, 36A, p. 490-504, 1984.

KOUSKY, V. E.; ROPELEWSKI, C. F. Extremes in the Southern Oscillation and their Relationship to Precipitation Anomalies with Emphasis on the South American Region, **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 4, p. 351-363, 1989.

LACERDA, F. L.; VIEIRA DE MELO, A. V. P.; SOARES, D. B. Análise preliminar na detecção de tendências no padrão pluviométrico na Bacia do Pajeú – PE: Mudanças climáticas ou variabilidade?, In: **Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, 18, 2009, Campo Grande-MT.

LIMA, R. C. C.; CAVALCANTE, A. M. B.; FILHO, J. F. Avaliação do processo de desertificação no semiárido paraibano utilizando geotecnologias. **Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR**, Curitiba, PR, Brasil, 30 de abril a 05 de maio de 2011, INPE p.6874

MELO, L. F. S Caracterização Dos Níveis De Degradação De Solos Da Microbacia Do Sucruiú No Núcleo De Desertificação De Gilbués. **Dissertação de Mestrado**. 2006. Terersina – PI.

MENEZES, H.E.A.; BRITO, J.I.B.; SANTOS, C.A.C.; SILVA, L.L. A relação entre a temperatura da superfície dos oceanos tropicais e a duração dos veranicos no estado da Paraíba. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 23, p.152-161, 2008.

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

MOTA, G. V. Estudo observacional de distúrbios ondulatórios de leste no nordeste no nordeste brasileiro. 1997. 97 f. **Dissertação Mestrado – IAG/USP**. 1997

NOBRE, P.; SHUKLA, J. Variations of sea surface temperature, wind stress, and rainfall over the tropical Atlantic and South American. **Journal of Climate**. V. 9. p. 2464-2479, 1996.

PAE – PI. **Programa de Ação Estadual de Combate à Desertificação do Estado do Piauí**. Ministério do Meio Ambiente - Secretaria Estadual do Meio Ambiente e Recursos Hídricos, 2010.

PAN BRASIL. **Programa de Ação Nacional de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca**. Ministério do Meio Ambiente - Secretaria de Recursos Hídricos. 2005

PEREIRA, M.D.B. GONTIJO, A.H.F. Utilização de índice de vegetação calculado com dados LANDSAT-5 na separação de unidades fitofioráficas na Serra do Cipó – MG. In: Simpósio Brasileiro De Sensoriamento Remoto, 1993, Curitiba. **Anais...** Curitiba, PR, 1993.p.216-222.

PHILANDER, S. G. El Niño, La Niña, and Southern Oscillation. **Academic Press**, Londres, 289p., 1991.

RAO, V. B.; LIMA, M. C. de; FRANCHITO, S. H. Seasonal and interannual variations of rainfall over Eastern Northeast Brazil. **Journal of Climate**. v.6, p. 1754-1763, 1993.

RAMOS, A.R.D; BORGES, C.K.; SOUZA, L.H.G.; SANTOS, C.A.C.; Índices de Extremos Climáticos para a região de Manaus-AM E suas relações com anomalias de TSM. **Anais IV Simpósio Internacional de Climatologia**, outubro 2011, João Pessoa – PB.

ROSA, R. **Introdução ao Sensoriamento Remoto**, 5º ed., Uberlândia. Ed. Da Universidade Federal de Uberlândia, 2003.

SÁ, I. B.; ANGELOTTI, F. Degradação ambiental e desertificação no Semi-Árido brasileiro. In: ANGELOTTI, F.; SÁ, I. B.; MENEZES, E. A.; PELLEGRINO, G. Q. **Mudanças climáticas e desertificação no Semi-Árido brasileiro**. Petrolina, PE: Embrapa Semi-Árido, 2009

SANTOS, C.A.C; Estimativa e tendências de índices de detecção de mudanças climáticas com base na precipitação diária no Rio Grande do Norte e na Paraíba. **Dissertação de Mestrado**. 2006. Campina Grande – PB.

SANTOS, C.A.C; SATYAMURTY, P.; SANTOS, E. M. Tendências de índices de extremos climáticos para a região de Manaus-AM. 2012. **Revista Acta Amazônica**. v. 42, p. 329 – 336, 2012.

SANTOS, R. Estimativas e Tendências de Índices de Extremos Climáticos com base na precipitação diária no Estado de Pernambuco. **Dissertação de Mestrado**. 2010. Campina Grande – PB.

SILVA, A. G; AZEVEDO, P. **Índices de tendências de Mudanças Climáticas no Estado da Bahia**. **Engenharia Ambiental**, v. 5, p. 141-151, 2008.

SILVA, F. B. Geotecnologias no mapeamento de áreas degradadas no núcleo de desertificação em Gilbués. **Dissertação de Mestrado**. 2008. Teresina -PI.

SILVA, W.S.; VIEIRA. V. C. B. Evolução Multitemporal do uso e cobertura do solo no município de Uruçuí-PI. **Anais II Congresso de Pesquisa e Inovação da Rede Norte Nordeste de Educação Tecnológica**, João Pessoa - PB –2007

SOUSA, R. F.; BARBOSA, R. P. CORDÃO TERCEITO NETO, C. P.; CARVALHO, A. P.; LIMA, N. A. Uso de geotecnologias no diagnóstico da degradação das terras do município de São João do Cariri-PB. **Revista Caatinga**, v.21, n.1, p.204-210, 2008.

SOUZA, W. M.; SILVA, R. F.; CORREIA, A. M; SOUSA, W. S.; MELO, I. D. F. Índices De Extremos Climáticos De Precipitação Observados Na Bacia Do Rio Sirinhaém-Pernambuco, Brasil. **Anais do XI Congreso Argentino de Meteorologia**.2012.

TAURA, A. T; ALVAREZ, A. I.; SÁ, I. B.; PEREIRA, A. L.; SANTOS, S. M. Sensoriamento Remoto na Análise da Expansão do Uso e Ocupação do Solo em Petrolina-PE **Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR**, Curitiba, PR, Brasil, 30 de abril a 05 de maio de 2011, INPE p.6939

THORNTHWAITE, C.W.; HOLZMAN, B. **Evaporation and transpiration**. In: Climate and Man: Yearbook of Agriculture Washington: U.S. Department of Agriculture, 1941.

VINEY, N. R., BATES, B. C. It never rains on Sunday: The prevalence and implications of untagged multi-day rainfall accumulations in the Australian high quality data set. **International Journal of Climatology**, v. 24, p. 1171-1192, 2004.

ZHANG, X., YANG, F. **RClimDex (1.0) User Guide**. Climate Research Branch Environment Canada. Downsview (Ontario, Canada), 2004.

ZHANG, X., HEGERL, G., ZWIERS, F., KENYON, J. Avoiding inhomogeneity in percentile-based indices of temperature extremes. **Journal of Climate**, v. 18, p. 1641–1651, 2005.