



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
PÓS-GRADUAÇÃO EM RECURSOS NATURAIS**



**O PROCESSO DE DESERTIFICAÇÃO NOS MUNICÍPIOS DE CABACEIRAS E
BARRA DE SÃO MIGUEL-PB: uma análise a partir dos índices biofísicos (NDVI, TGSÍ e
albedo) e socioeconômicos no período de 1989 a 2010.**

Maria da Conceição Marcelino Patrício

**CAMPINA GRANDE – PB
Abril/2017**

Maria da Conceição Marcelino Patrício

**O PROCESSO DE DESERTIFICAÇÃO NOS MUNICÍPIOS DE CABACEIRAS E
BARRA DE SÃO MIGUEL-PB: uma análise a partir dos índices biofísicos (NDVI, TGSÍ e
albedo) e socioeconômicos no período de 1989 a 2010.**

Tese submetida ao Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutora em Recursos Naturais.

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: Sociedade e Recursos Naturais
LINHA DE PESQUISA: Gestão de Recursos Naturais

ORIENTADOR: Prof. Dr. Sérgio Murilo Santos de Araújo

CAMPINA GRANDE – PB
Abril/2017

DEDICATÓRIA

Dedico este Trabalho ao meu esposo, Alfranke e aos meus filhos Lucas Gabriel e Luiz Miguel, os quais tiveram o tempo todo ao meu lado incondicionalmente. Nos momentos mais difíceis, sempre me fazendo acreditar que chegaria ao final desta difícil, porém gratificante, etapa. Alfranke, este período mostrou a verdade sobre nosso relacionamento: somos uma família!!!! Sou grata por cada gesto carinhoso, cada sorriso, e ansiosa para estar mais disponível, junto a você e aos nossos filhos. Obrigada Alfranke, Lucas e Luiz por estarem sempre ao meu lado. Dedico também a minha querida mãe, que tanto amo, Maria Bernadete.

AGRADECIMENTOS

À Deus por ter me dado forças para vencer obstáculos, apoiando-me nas horas de dificuldades, guiando-me para que tivesse a oportunidade de chegar a esse momento tão esperado, fazendo com que me deparasse com tantas pessoas que se propuseram a me ajudar.

Ao Prof. Sérgio Murilo pela orientação e ensinamento, além da paz espiritual que me transmitiu, não tenho palavras para agradecer.

Ao Prof. Carlos Antônio que sempre esteve pronto a me atender com sua simpatia inestimável.

Ao Prof. Rafael Xavier pelo carinho e pelos ensinamentos valiosos.

À Cleide dos santos, secretária do curso, pela amizade e carinho, sempre pronta para atender a todos com sorrisos largos e com muita paciência.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelos recursos financeiros concedidos durante o curso.

Aos amigos, Madson Tavares e Argemiro Lucena que me deram apoio técnico na realização dos mapas, meus eternos agradecimentos.

Enfim, a todos aqueles que contribuíram de forma direta e indireta para a realização deste trabalho... **Muito obrigada!!!!**

Patrício, M. da C. M. **O PROCESSO DE DESERTIFICAÇÃO NOS MUNICÍPIOS DE CABACEIRAS E BARRA DE SÃO MIGUEL-PB: uma análise a partir dos índices biofísicos (NDVI, TGSÍ e albedo) e socioeconômicos no período de 1989 a 2010.** Campina Grande, 2017. Tese (Doutorado em Recursos Naturais) - Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais. CTRN - Centro de Tecnologia e Recursos Naturais. Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande-PB, 2017.

RESUMO

O processo de desertificação é uma grande ameaça aos sistemas ecológico e socioeconômico em todo mundo. Os impactos provocados por este processo vêm aumentando devido o mau uso das terras. O objetivo deste estudo foi analisar a evolução do processo de desertificação das terras nos municípios de Cabaceiras e Barra de São Miguel-PB, a partir de indicadores sociais, econômicos e ambientais e sua relação com o desenvolvimento local no período de 1989-2010, através da dinâmica espaço temporal de aspectos biofísicos e climáticos. Para avaliar a mudança de cobertura do solo e o processo de desertificação foi feita a relação entre NDVI (*Normalized Difference vegetation Index*), TGSÍ (*Topsoil Grain Size Index*) e α (albedo) da superfície terrestre na área estudada. O TGSÍ é um índice que avalia a textura do solo, foi utilizado na Mongólia Interior da Chima e Sul do Iraque em áreas degradadas. Por esta razão buscou-se neste trabalho adaptá-lo para regiões do semiárido brasileiro. Neste trabalho foi realizada análise física do solo para validar os resultados obtidos pelo TGSÍ. A partir das árvores de decisões (AD) adaptadas para os períodos úmido e seco, foram gerados os mapas de riscos ao processo de desertificação. As análises mostraram que os valores destes índices são influenciados pela sazonalidade da vegetação. Foram utilizados dados de precipitações para as variáveis: precipitação pluvial e índice de aridez para o município de Cabaceiras-PB. Os resultados mostraram uma tendência positiva para a precipitação pluvial e negativa para o índice de aridez. Quanto a erosão hídrica tem sido considerada o problema ambiental mais importante causada por intensos eventos de chuvas. O potencial da chuva pra gerar erosão do solo é conhecido como erosividade das chuvas e sua estimativa é fundamental para a compreensão dos aspectos climáticos de uma região. O índice de erosividade da chuva (EI_{30}) foi estimado através do fator R da Equação Universal da Perda de Solo (EUPS). Os resultados indicaram uma erosividade média anual de $5.733,1 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$ (Cabaceiras) e $3.122 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$ (Barra de São Miguel), que de acordo com a conversão realizada corresponde a uma perda de solo de $584,4 \text{ tm mm ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ e $318,3 \text{ tm mm ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ respectivamente. O índice de erosividade apresenta-se altamente correlacionado com o coeficiente de chuva (R_c), $R^2=0,98$ e $R^2=0,97$, o que permite um bom ajuste da equação. Os maiores valores de erosividade ocorreram nos meses de janeiro a março, sendo que em Cabaceiras os valores se estenderam até maio. Em relação o mapa gerado do risco a erosão percebeu-se que o grau de risco da maioria das áreas estudada (82,1%) é de risco muito baixo a baixo, 16,7% de risco médio e apenas 0,1% de alto risco. Para a avaliação socioeconômica utilizou-se os dados estatísticos disponibilizados por órgãos como o IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), PNUD (Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento), IPEA (Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada) e também foi utilizado o IDEB (Índice de Desenvolvimento da Educação Básica). Os resultados apontaram fragilidades na produção de subsistência devido às condições climáticas, baixa escolaridade, percentual elevado de pessoas vulneráveis à pobreza, concentração de terras e degradação dos recursos naturais. Nestas condições pode-se afirmar que o processo de desertificação não é de ordem climática e sim antrópica.

Palavras-chaves: degradação das terras, erosão, semiárido, índice de vegetação, albedo e índice de textura do solo (TGSÍ)

ABSTRACT

The desertification process is a major threat to ecological and socioeconomic systems throughout the world. The impacts caused by this process have been increasing due to the misuse of land. The objective of this study was to analyze the evolution of the land desertification process in the municipalities of Cabaceiras and Barra de São Miguel-PB, based on social, economic and environmental indicators and their relationship with local development in the period 1989-2010, through Of the dynamic space of biophysical and climatic aspects. In order to evaluate the change in soil cover and the desertification process, the relationship between NDVI (Normalized Difference vegetation Index), TGSI (Topsoil Grain Size Index) and α (albedo) of the terrestrial surface was studied. The TGSI is an index that assesses soil texture, was used in Inner Mongolia of Chima and Southern Iraq in degraded areas. For this reason, this paper sought to adapt it to regions of the Brazilian semi-arid region. In this work, soil physical analysis was performed to validate the results obtained by the TGSI. From the decision trees (DA) adapted for the wet and dry periods, maps of risks to the desertification process were generated. The analyzes showed that the values of these indices are influenced by the seasonality of the vegetation. Precipitation data were used for the variables: rainfall and dryness index for the municipality of Cabaceiras-PB. The results showed a positive tendency for rainfall and negative for the dryness index. Regarding water erosion, it has been considered the most important environmental problem caused by intense rainfall events. The potential of rainfall to generate soil erosion is known as rainfall erosivity and its estimation is fundamental for understanding the climatic aspects of a region. The rain erosivity index (EI_{30}) was estimated by the R factor of the Universal Soil Loss Equation (USLE). The results indicated an average annual erosivity of 5,733.1 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ (Cabaceiras) and 3,222 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ (Barra de São Miguel), which, according to the conversion, corresponds to a loss Of soil of 584.4 tm mm ha⁻¹ year⁻¹ 318.3 tm mm ha⁻¹ year⁻¹ respectively. The erosivity index is highly correlated with the coefficient of rainfall (R_c), $R^2 = 0.98$ and $R^2 = 0.97$, which allows a good adjustment of the equation. The highest values of erosivity occurred in the months of January to March, and in Cabaceiras the values extended until May. In relation to the map generated from erosion risk, it was observed that the degree of risk in most of the studied areas (82.1%) was very low to low risk, 16.7% medium risk and only 0.1% of high risk. For the socioeconomic evaluation, the statistical data made available by agencies such as IBGE (*Intituto Brasileiro de Geografia e Estatística*), UNDP (*Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento*), IPEA (*Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada*) and the IDEB (*Índice de Desenvolvimento da Educação Básica*). The results pointed to weaknesses in subsistence production due to climatic conditions, low schooling, high percentage of people vulnerable to poverty, concentration of land and degradation of natural resources. Under these conditions it can be said that the desertification process is not climatic but anthropogenic.

Keywords: Land degradation, erosion, semiarid, vegetation index, albedo and Topsoil Grain Size Index (TGSI)

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Localização dos municípios de Cabaceiras e Barra de São Miguel, no Estado da Paraíba.	41
Figura 2. Diagrama para avaliação e classificação das grades de desertificação usando NDVI, albedo e TGSi para o período úmido.	48
Figura 3. Diagrama para avaliação e classificação das grades de desertificação usando NDVI, albedo e TGSi para o período seco.	48
Figura 4. 1. Mapeamento da Vegetação a partir do NDVI (<i>Normalized Difference Vegetation Index</i>), 2. Mapeamento da Declividade, 3. Mapeamento da Geologia, 4. Mapeamento da Pedologia e 5. Mapeamento da distribuição hídrica dos municípios de Cabaceiras e Barra de São Miguel-PB.	54
Figura 5. Fluxograma do cálculo do risco.....	55
Figura 6- Fluxo Escolar por Faixa Etária em Cabaceiras e Barra de São Miguel-PB.	58
Figura 7. Escolaridade da população adulta de 25 anos ou mais.	60
Figura 8. PIB <i>per capita</i> correlacionado ao salário mínimo vigente.	62
Figura 9. Efetivos dos rebanhos e galináceos de Cabaceiras-PB de 1974 a 2014.....	64
Figura 10. Efetivos dos rebanhos galináceos de Barra de S. Miguel-PB de 1974 a 2014.	65
Figura 11. Produção de origem animal Cabaceiras e B. de S. Miguel.	66
Figura 12. Principais produtos de origem animal.	66
Figura 13. - Quantidade produzida da lavoura temporária de Cabaceiras-PB entre 1994 a 2013.	68
Figura 14. Produção da lavoura temporária e Precipitações em Barra de São Miguel – 1994-2013.....	68
Figura 15. Precipitações de 30 dias antes da passagem do satélite.....	69
Figura 16. Precipitação pluvial nos municípios de Cabaceiras e Barra de São Miguel.....	69
Figura 17. (A) NDVI período úmido, (B) período seco.....	72
Figura 18. Comportamento das chuvas e a passagem do satélite.....	73
Figura 19. Comportamento médio do NDVI em relação a precipitação pluvial mensal.....	75
Figura 20. (A) Mapas de albedo para os períodos úmido e (B) seco.	78
Figura 21. Relação entre o albedo e precipitação pluvial mensal e anual	80
Figura 22. Comportamento das chuvas em Cabaceiras-PB. Período 1926-2014.	81
Figura 23. Índice de aridez do município de Cabaceiras, período de 1950 a 2014.	82
Figura 24. (A)Mapas de TGSi período úmido, (B) período seco.....	84

Figura 25. Mapas da textura do solo.....	86
Figura 26. (A) Classes de solos, (B) pontos de coleta.....	88
Figura 27. (A) Mapas de Riscos durante o período úmido, (B) mapas de Riscos durante o período seco.....	92
Figura 28. Evolução do Risco de desertificação para período úmido.....	93
Figura 29. Evolução do Risco de desertificação período seco.....	94
Figura 30. Característica da vegetação no período de chuva.....	94
Figura 31. Solo exposto (Risco Severo em Cabaceiras).....	95
Figura 32. Voçoroca em Barra de São Miguel (Risco Severo de desertificação).....	95
Figura 33. Áreas de Alto Risco ao processo de desertificação.....	96
Figura 34. Área de Médio Risco ao processo de desertificação.....	96
Figura 35. Solo com cobertura vegetal no período chuvoso (Cabaceiras).....	97
Figura 36. Solo com cobertura vegetal no período seco (Cabaceiras).....	97
Figura 37. (A) Plantio de palma forrageira ao redor da casa. (B) Leito do rio Taperoá. (C) Presença de algarobas no leito do rio.....	98
Figura 38. Médias mensais do índice de erosividade, Cabaceiras-PB. Médias do período de 1994 a 2014.....	101
Figura 39. Médias mensais do índice de erosividade, Barra de São Miguel-PB. . Médias do período de 1994 a 2014.....	101
Figura 40. Relação entre o índice de erosividade médio mensal de chuva e o coeficiente de chuva para o município de Cabaceiras-PB.....	102
Figura 41. Relação entre o índice de erosividade médio mensal de chuva e o coeficiente de chuva para o município de Barra de São Miguel-PB.....	102
Figura 42. (A) Plantações de milho às margens do rio Taperoá, (B) erosão provocada pela chuva (C) pisoteio de caprinos. Barra de São Miguel-PB.....	102
Figura 43. Classes de Risco.....	104
Figura 44. (A) Caatinga Arbustiva, (B) Caatinga Sub-Arbórea.....	105
Figura 45. (A) Caatinga Arbórea, (B) Caatinga Sub-Arbustiva.....	105
Figura 46. (A) solo exposto com presença de sulcos, (B) solo exposto com presença de erosão laminar.....	106
Figura 47. (A) Mapa da declividade, (B) mapa de risco do atributo declividade.....	107
Figura 48. (A) Mapa Geológico, (B) mapa de risco geológico.....	108
Figura 49. (A) Mapa de solo, (B) mapa de risco ao tipo de solo.....	109

Figura 50. (A) Mapa da precipitação média do período chuvoso, (B) Mapa de risco ao atributo clima.....	111
Figura 51. Processo de erosão do solo devido as chuvas intensas.....	112
Figura 52. Mapas de risco de cada atributo.....	113
Figura 53. Mapa de risco à erosão do solo dos municípios de Cabaceiras e Barra de São Miguel.	114
Figura 54. Produção extrativista vegetal em Cabaceiras e Barra de São Miguel.	115

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Descrição das imagens de satélites empregadas no estudo.....	43
Tabela 2. Valores de calibração radiométrica para o Landsat 5 TM.....	44
Tabela 3. Irradiância solar média no topo da atmosfera para o TM – Landsat 5.....	45
Tabela 4. Constante W_i para o TM – Landsat 5 (TASUMI et al. 2008)	46
Tabela 5. Descrição das classes de NDVI para a caatinga (período seco) e seus respectivos valores médios de albedo e TGSi.....	47
Tabela 6. Descrição das classes de NDVI para a caatinga (período úmido) e seus respectivos valores médios de albedo e TGSi.....	47
Tabela 7. Níveis de risco à desertificação.....	49
Tabela 8. Classes de interpretação para índice de erosividade	51
Tabela 9. Classificação do potencial erosivo anual da chuva.....	51
Tabela 10. Categorias de risco à erosão.....	52
Tabela 11. Percentual de pessoas pobres e vulneráveis na Paraíba 1991-2000-2010.....	56
Tabela 12. Percentual de pessoas pobres e vulneráveis à pobreza 1991-2000-2010.....	57
Tabela 13. Percentual de pessoas acima de 18 anos sem ensino fundamental completo	57
Tabela 14. Índice de Desenvolvimento da Educação de Cabaceiras e Barra de São Miguel 2005-2013.....	59
Tabela 15. Evolução do IDHM dos municípios de Cabaceiras e Barra de São Miguel – 1991 a 2010.....	61
Tabela 16. PIB <i>Per capita</i> de Cabaceiras e Barra de São Miguel-PB – 2000 a 2012.....	61
Tabela 17. Concentração das terras de Cabaceiras e Barra de São Miguel - 2006.....	63
Tabela 18. Dados anuais da série período úmido (NDVI) Barra de São Miguel e Cabaceiras-PB.....	74
Tabela 19. Dados anuais da série período seco (NDVI) Barra de São Miguel e Cabaceiras-PB.....	74
Tabela 20. Distribuição das classes de vegetação (períodos úmido e seco).....	76
Tabela 21. Dados anuais do albedo (α) período úmido para Barra de São Miguel e Cabaceiras-PB.....	79
Tabela 22. Dados anuais do albedo (α) período seco para Barra de São Miguel e Cabaceiras-PB.....	79
Tabela 23. Análise física do solo (média da textura para as 40 amostras)	89
Tabela 24. Dados anuais de TGSi durante o período úmido para Barra de São Miguel e Cabaceiras-PB.....	90

Tabela 25. Dados anuais de TGSÍ durante o período seco para Barra de São Miguel e Cabaceiras-PB.....	90
Tabela 26. Área de cada classe de risco (Km ²)	93
Tabela 27. Valores mensais, anuais e médios mensais do índice de erosividade EI ₃₀ (MJ mm ha -1 h-1) para a estação pluviométrica de Cabaceiras-PB	99
Tabela 28. . Valores mensais, anuais e médios mensais do índice de erosividade EI ₃₀ (MJ mm ha -1 h-1) para a estação pluviométrica de Barra de São Miguel-PB.....	100
Tabela 29. Classes de vegetação e risco à erosão nos municípios de Cabaceiras e Barra de São Miguel.	104
Tabela 30. Valores de risco à erosão da declividade	107
Tabela 31. Valores de risco ao atributo Geologia.....	108
Tabela 32. Valores de risco à erosão do solo	109
Tabela 33. Médias mensais das precipitações entre 1994 e 2014.	110
Tabela 34. Volume de chuva diário em Cabaceiras e Barra de São Miguel-PB.	110
Tabela 35. Escala de erosividade da chuva e valores de risco à erosão	111
Tabela 36. Classes de risco do solo à erosão na área de estudo.	114

LISTA DE SIGLAS

AD - Ávore de Decisão

AESA - Agência Executiva de Gestão das Águas da Paraíba

ANA - Agência Nacional de Águas

CPRM - Serviço Geológico do Brasil

DEM - Digital Elevation Model

Ec - Energia Sinética em MJ ha⁻¹ mm⁻¹

EI₃₀ - Índice de Erosividade

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

ET_o - Evapotranspiração de referência

EUPS - Equação Universal de Perda de Solo

Ia - Índice de Aridez

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IDEB - Índice de Desenvolvimento da Educação Básica

IDH - Índice de Desenvolvimento Humano

IDHM - Índice de Desenvolvimento Humano Municipal

INCRA - Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária

INMET - Instituto Nacional de Meteorologia

INPE - Instituto Nacional de Pesquisa Espacial

INSA - Instituto Nacional do Semiárido

INEP - Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais

IPEA - Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada

MMA - Ministério do Meio Ambiente

NDVI - Normalized Difference Vegetation Model

NEB - Nordeste Brasileiro

PACD - Plano de Ação de Combate à Desertificação

PAN Brasil - Programa de Ação Nacional de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca

PAE- PB - Programa Estadual de Combate à Desertificação

PIB - Produto Interno Bruto

PNUD - Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento

Rc - Coeficiente de chuva (Sigla inglesa)

SUDENE - Superintendência para o Desenvolvimento do Nordeste

SRTM - *Shuttle Radar Topography Mission*

TGSI-Topsoil Grain Size Index

UNCCD - United Nations Conference to Combat Desertification

UNCOD - United Nations Conference On Desertification

USGS - United States Geological Survey

ZCIT - Zona de Convergência Intertropical

α - albedo

Sumário

1	INTRODUÇÃO	16
1.1	Tema e problema	16
1.2	Hipótese	18
1.3	Justificativa	19
1.4	Objetivos	20
1.4.1	Objetivo Geral:	20
1.4.2	Objetivos Específicos:	20
2	REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO	21
2.1	Meio ambiente, Espaço geográfico e Recursos naturais	21
2.2	Desertificação: uma interpretação conceitual	25
2.3	O Semiárido brasileiro e sua problemática	32
2.4	Degradação e concentração das terras	34
2.5	NDVI, albedo (α) e TGSI na análise do processo de desertificação	36
2.6	Erosão e degradação do solo	37
2.7	A erosividade das chuvas	38
3	MATERIAL E MÉTODOS	41
3.1	Caracterização da área de estudo	41
3.2	Material	43
3.3	Métodos	43
3.4	Dados de Satélite	43
3.5	Processamento das Imagens Landsat 5 - TM	44
3.5.1	Cálculo do albedo da superfície	45
3.5.2	Obtenção dos índices NDVI e TGSI	46
3.6	Classificação do NDVI	47
3.7	Metodologia de avaliação do risco de desertificação	47
3.8	Metodologia para a obtenção do Índice de aridez (Ia)	49
3.8.1	O cálculo da erosividade da chuva	49
3.9	Análise do risco a erosão	52
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	56
4.1	O quadro socioeconômico	56

4.1.1	indicadores de vulnerabilidade à desertificação e à seca	56
4.1.2	Estrutura Fundiária: terras e seca	62
4.2	Dimensões econômica e produtiva relacionadas com o clima	63
4.3	Indicadores biofísicos de degradação/desertificação	69
4.3.1	Análise do NDVI e albedo (α)	69
4.3.2	O comportamento das chuvas e do índice de aridez	81
4.3.3	Análise física dos solos e TGSÍ	82
4.3.4	Erosividade da chuva	98
4.3.5	Riscos à erosão	103
4.4	Exploração e degradação dos recursos naturais	115
4.5	Medidas que podem ser tomadas para evitar o risco ao processo de desertificação	116
5	CONCLUSÃO	120
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	122

1 INTRODUÇÃO

1.1 Tema e problema

Durante muito tempo a humanidade acreditava que os recursos naturais seriam inesgotáveis e que resistiriam às práticas exploratórias. Entretanto, esse entendimento direciona a falta de comprometimento com o meio ambiente, visando apenas a lucros exacerbados para a geração de riquezas. Com base neste princípio, se verifica a elevação do crescimento econômico e conseqüentemente o aumento dos problemas socioambientais.

Com a Revolução industrial no século XVIII, juntamente com o crescimento populacional, houve a necessidade de produzir em larga escala. Junto a esse processo veio a expansão de ocupação das terras para suprir as demandas. Portanto, os problemas ambientais começaram a surgir e os que já existiam se agravaram com o desmatamento e a contaminação das águas com os efluentes químicos oriundos das fábricas. O conhecimento técnico científico é utilizado tanto para poupar ou substituir recursos naturais, como também para maximizar a extração e transformação dos mesmos em prol de uma sociedade guiada pelo consumismo mercadológico capitalista (FREITAS et al. 2010).

Em meio a esse crescimento (populacional e econômico), várias regiões do mundo, em especial a região semiárida brasileira, passam por um intenso processo de degradação de seus recursos naturais que estão sendo pouco priorizado em comparação aos interesses econômicos. As práticas inadequadas de manejo do solo, o sobrepastoreio, o uso da vegetação (lenha) como fonte energética etc. aliados aos eventos naturais (secas, chuvas torrenciais) e as características do ambiente (declividade acentuada) provocam a degradação das terras. Vários estudos foram realizados (Sales, 2002; PAN- Brasil, 2004; Souza et al. 2004, Conti, 2005, Almeida Filho e Carvalho, 2010 entre outros) para diagnosticar áreas em processo de desertificação na região Nordeste e no Estado da Paraíba. As ações antrópicas e as variabilidades climáticas têm sido foco nas discussões como sendo os desencadeadores desse processo. Várias pesquisas realizadas em todo mundo buscam analisar as variáveis climáticas, principalmente o índice de aridez e as precipitações pluviais, em regiões áridas e semiáridas para a investigação do processo de desertificação. Tais estudos são encontrados em Shaohong et al. (2005), Zhang et al. (2009), Liu et al. (2013) e entre outros.

Entre as problemáticas relacionadas ao meio ambiente o processo de desertificação é mais abordado, neste contexto, como sendo um processo causado pela ação do homem. O

processo de desertificação é conhecido pelos pesquisadores como sendo a degradação das terras, quando esta se torna improdutivo através de seu desgaste. No semiárido paraibano a ação antrópica, com práticas de desmatamento, queimadas e outros manejos inadequados de explorar e agricultar as terras vem degradando os solos, reduzindo a cobertura vegetal, extinguindo espécies e assoreando os recursos hídricos e, consequência disso, coloca em risco a fauna silvestre e a permanência da população na zona rural. Visto que, com a superfície exposta, o solo é erodido e os nutrientes, indispensáveis para uma exploração agrícola auto-sustentável, são exauridos rapidamente, comprometendo todo o ecossistema (SOUSA, 2007).

A Paraíba é o Estado brasileiro que possui um pouco mais de 70% de sua área afetada pelo processo de desertificação. Desta, 29% é considerada muito grave (CANDIDO et al. 2002). A degradação das terras no Estado vai de muito baixa a muito grave, isso indica que há diferentes estágios de desenvolvimento do processo de desertificação. Para Barbosa (2012), os riscos ao processo de desertificação na região semiárida foram construídos socialmente ao longo da história após a invasão dos colonizadores.

Os municípios de Cabaceiras e Barra de São Miguel-PB se enquadram dentro das características normalmente atribuídas como gerais para todo o semiárido, como: regime pluviométrico deficitário e variável; a concentração fundiária e os graves problemas socioeconômicos; tudo isso com um fator agravante à degradação das terras que está causando graves impacto à região. A agricultura desenvolvida em Cabaceiras é de autoconsumo e irregular devido a variabilidade de chuvas nessa região, acarretando muitas vezes o abandono das terras. A combinação desses fatores mencionados, aliados a quase total falta de assistência por parte do poder público, caracterizam a região como uma das mais carentes do Estado da Paraíba.

Quanto ao município de Barra de São Miguel, poucos estudos foram realizados, principalmente quando se trata do processo de desertificação. Conforme o Programa de Ação Estadual de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca no Estado da Paraíba-PAE-PB (2011), Barra de São Miguel se enquadra na distribuição de terras mais degradadas no estado. O grande problema dessas áreas (Cabaceiras e Barra de São Miguel) é o processo de desertificação que se alastra. Não há intervenção de políticas públicas, para que se possa evitar tal processo. Os pequenos agricultores são os mais prejudicados, desprovidos de técnicas adequadas para lidar com o solo. O mau uso do solo e o sobrepastoreio, ao longo da história humana, são as principais causas desse processo. Diante do exposto, questiona-se:

Como a degradação das terras nos municípios da área de estudo, vem evoluindo em decorrência dos processos sociais, econômicos e ambientais?

Espera-se que o presente estudo venha contribuir para o entendimento do processo de desertificação e de alguma maneira ser útil para o desenvolvimento de trabalhos futuros. Dada a relevância do tema, os municípios em estudo foram escolhidos por estarem inseridos numa região semiárida, onde o processo de desertificação é acentuado. Portanto, este trabalho buscou identificar as principais causas e consequências da degradação ambiental através de um levantamento socioeconômico, obtido a partir dos dados estatísticos oficiais do IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), do PNUD (Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento), do IPEA (Instituto de Pesquisa Aplicada) e do IDEB (Índice de Desenvolvimento da Educação Básica), e também a utilização de técnicas de sensoriamento remoto para constatar a mudança de cobertura do solo, utilizando os parâmetros físicos (NDVI e TGSI) e climático albedo (α), juntamente com o índice de aridez e análise física do solo.

A combinação desses parâmetros (físicos, climáticos e socioeconômico) constitui uma proposta inédita para avaliação do nível de degradação das terras, principalmente quando envolve o índice de textura do solo (TGSI), este índice foi utilizado na região da Mongólia Interior da China por Xiao et al. (2006) e Lamchin et al. (2016) e Sul do Iraque por Hadeel et al. (2011) para avaliar a textura do solo em áreas degradadas e foi adaptado para a região de estudo, podendo em trabalhos futuros ser ampliado. Para validar os dados obtidos por este índice foi realizada análise física do solo.

1.2 Hipótese

Como hipótese de trabalho considera-se que:

O modelo socioeconômico vigente contribui para o processo de degradação das terras. Considerando que os ecossistemas são fontes que garantem a existência da humanidade, o modelo de produção e a forma de consumir são preocupantes e esse sistema pode resultar numa sobrecarga socioambiental, e tende a se agravar com o comprometimento da qualidade de vida. Há, assim, uma ameaça de esgotamento dos recursos naturais devido a crescente demanda por alimentos e de bens de consumo, aliados as relações de troca entre trabalho e capital que resultou no enriquecimento de poucos e empobrecimento de muitos.

1.3 Justificativa

O processo de degradação das terras em regiões semiáridas é visto pelos mais diversos estudiosos da questão ambiental como um dos mais graves problemas ambientais enfrentados pela humanidade. Suas causas são as mais diversas, dentre as quais destacam-se, os fatores econômicos, sociais ou políticos e climáticos. O trabalho de combate à desertificação não é uma ação isolada, trata-se de uma questão socioambiental envolvendo os mais diversos setores governamentais e, principalmente, a sensibilização da população em relação às causas da desertificação. O reconhecimento da limitação dos recursos naturais renováveis e a súbita consciência de que não se pode exaurir, tem incentivado o desenvolvimento de novas tecnologias para melhor empregar o potencial de bens naturais disponíveis.

A degradação das terras causada pela ação antrópica, tem provocado a redução da vegetação, principalmente das matas ciliares, tendo como consequência o assoreamento de rios, como exemplo o caso do rio Taperoá. Estas práticas provocam o desaparecimento de muitas espécies nativas, tanto da fauna quanto da flora, consideradas importantes para o desenvolvimento da região, ocorrendo de forma trágica, que caminha para a sua destruição e para o empobrecimento de toda população, ocasionando enormes prejuízos para a economia local.

No contexto da sustentabilidade emerge a discussão como combinar, de maneira equilibrada, o desenvolvimento humano e a preservação dos recursos naturais, que são fundamentais à conservação das espécies, inclusive o homem, sobretudo no contexto da degradação das terras que leva o homem a abandoná-las em busca de outros recursos de sobrevivência.

Para que se possa fortalecer e reerguer a economia local, os habitantes que compõem os municípios de Cabaceiras e Barra de São Miguel, precisam produzir de forma sustentável, integrando técnicas de manejo e uso do solo, a introdução de culturas resistentes ao clima semiárido e a criação de animais de pequeno porte.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo Geral:

Analisar a evolução do processo de desertificação nos municípios de Cabaceiras e Barra de São Miguel-PB, a partir dos índices biofísicos e socioeconômicos e sua relação com o desenvolvimento local.

1.4.2 Objetivos Específicos:

- ✓ Realizar o diagnóstico socioeconômico em Cabaceiras e Barra de São Miguel;
- ✓ Realizar uma análise multitemporal de uso das terras através das técnicas de sensoriamento remoto no período de 1989-2010;
- ✓ Constatar a mudança de cobertura do solo através dos parâmetros biofísicos (NDVI e TGSI) e climáticos (α), juntamente com o índice de aridez e análise física do solo;
- ✓ Estimar o risco de erosão hídrica para os município de Cabaceiras e Barra de São Miguel-PB;
- ✓ Identificar as áreas de risco à erosão na escala dos municípios (cruzando as informações dos mapas geológicos, geomorfológicos, solos e dados de pluviosidade);
- ✓ Sugerir alternativas de mitigação aos efeitos da desertificação através de medidas estabelecidas de maior impacto na literatura.

2 REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO

2.1 Meio ambiente, Espaço geográfico e Recursos naturais.

As pesquisas sobre o meio ambiente desencadeiam grande número de indagações em seu conteúdo. Dessa forma exige a participação de múltiplas disciplinas pertencentes às grandes áreas do conhecimento científico. Desde os anos de 1970 numerosos relatórios foram redigidos para identificar tanto os problemas gerais quanto os mais específicos (poluição do ar, da água, evolução de diferentes ambientes e ecossistemas. Para Jollivet e Pavé (1997 p. 54) " a realização dessas operações se resumia na maioria das vezes, a uma justaposição de trabalhos monodisciplinares". Portanto, as pesquisas sobre o meio ambiente decorrem de uma lista de temas bem ordenados e não de um conjunto construído e coerente, tornando a prática da interdisciplinaridade incipiente (JOLLIVET; PAVÉ 1997).

Para que a pesquisa sobre meio ambiente se desenvolva é preciso identificar com clareza o objeto de estudo, buscando entender o meio ambiente. Não se pode pesquisar o meio ambiente sem primeiro delimitar um campo de pesquisa específica. O meio ambiente tem um definição inicial, segundo o Conselho Internacional da Língua Francesa " o meio ambiente é o conjunto de agentes físicos, químicos e biológicos e de fatores sociais suscetíveis de produzir um efeito direto ou indireto, imediato ou a longo termo sobre os seres vivos e as atividades humanas" (op cit. 1997 p. 61). Esta definição serve para mostrar que as condições naturais e as sociais produzem efeitos sobre os organismos vivos e as atividades humanas, gerando saúde ou doença, desenvolvimento ou não das sociedades humanas.

A noção de meio ambiente esteve relacionada ao homem e as sociedades humanas para em seguida relacionar-se à noção de ecosfera que por sua vez conduz uma visão globalizada e cientificamente útil da noção de meio ambiente. Os fatores sociais e naturais produzem efeito um sobre o outro e ambos sobre a ecosfera e os organismos vivos, gerando consequências a saúde e o desenvolvimento das sociedades humanas. Segundo Jollivet e Pavé (1997), a definição de ecosfera é "o conjunto de componentes biológicos (biosfera) e físico-químicos, em interação com os sistemas biológicos (atmosfera, pedosfera, hidrosfera e geosfera)". Esta definição permite propor outra definição para o meio ambiente conforme Jollivet e Pavé (1997 p. 63) " o meio ambiente constitui o conjunto de meios naturais (*milieux naturels*) ou artificializados da ecosfera onde o homem se instalou e que ele explora, que ele administra, bem como o conjunto dos meios não submetidos à ação antrópica e que são considerados necessário à sua sobrevivência". Esta definição permite estabelecer um campo

de investigação próprio do meio ambiente. Para os autores "as pesquisas sobre o meio ambiente focalizam as evoluções da ecosfera, sejam quais forem a sua natureza e origem, que são suscetíveis de influenciar a saúde de homem e o desenvolvimento das saúdes humanas". Diante deste contexto, o campo de investigação científica do meio ambiente é a relação homem e natureza.

Uma vez delimitado o campo de pesquisa investigativa como sendo o da relação homem e natureza faz-se necessário identificar os domínios pelos quais se pode organizar esse campo de pesquisa. Segundo Jollivet e Pavé o campo de pesquisa pode ser estruturado com base em três questões fundamentais: recursos naturais (diversidade biológica), grandes equilíbrios planetários (recursos naturais renováveis) e ambiente de vida e saúde (qualidade de vida), no qual permite alcançar um ponto de vista geral suscetível de organizar as pesquisas sobre o meio ambiente como um campo de pesquisa próprio. Esse ponto de vista "decorre de uma questão central aquela ligada as interações entre as evoluções da ecosfera, por um lado, e as sociedades humanas por outro (JOLLIVET; PAVÉ, 1997 p. 72).

Para o desenvolvimento das pesquisas ambientais é preciso a prática da interdisciplinaridade para que os estudos avancem satisfatoriamente. O conjunto de contribuições oferecido pelas disciplinas coloca em evidência questões e temas compartilhados de investigação, por exemplo, a geografia pode contribuir, indicando as áreas poluídas demarcando território que estão em processo de degradação. De acordo com Jollivet e Pavé, essa prática conduz o pesquisador a um contato quase permanente entre pesquisadores de outras áreas".

A construção do espaço geográfico se faz através da apropriação da natureza, que por consequência gera degradação ambiental. Os olhares sobre os problemas ambientais não são exclusivamente das ciências disciplinares. O termo disciplinar adota um contexto histórico, no qual a construção do saber tomou o caminho da especialização. Resultado desse processo de compartimentação ocorreu uma notável divisão do trabalho acadêmico, de modo que cada disciplina passou a responder por um segmento do conhecimento (FIALHO, 2007).

Para Oliveira (1994), o espaço geográfico é uma totalidade que envolve natureza e sociedade. Portanto, é obrigação da ciência geográfica interpretar a produção do espaço pela sociedade capitalista, com suas desigualdades, contradições e luta de classes. Além do entendimento do processo de apropriação da natureza pela sociedade, através do modo de produção capitalista. Mas, para Lefebvre (1974), o espaço (social) é um produto (social). O espaço não pode ser resumido apenas ao espaço físico. O espaço geográfico é o espaço da

vida social, sua base é a natureza, no qual, o homem transforma através do seu trabalho. Santos (1997) em seu livro “Metamorfoses do espaço habitado” discute que dentro da natureza o homem se diferencia das outras formas de vida pela sua capacidade de produzir.

A geografia é a única das ciências humanas que estuda conjuntamente os aspectos físicos do planeta juntamente com as produções dos espaços sociais, tornando uma tarefa complexa e difícil de ser analisada. Daí, que a maioria dos geógrafos opta pela especialização do conhecimento, o que passa uma visão dicotômica da Geografia (MENDONÇA, 1998).

Para tratar as questões ambientais é preciso se guiar pelo o que se denomina de Princípio da Complexidade, baseado numa visão poliocular, em que, por exemplo, as dimensões físicas, culturais, sociológicas, biológicas, espirituais, históricas daquilo que é humano deixem de ser disciplinares ou incomunicáveis (MORIN, 1996). Compreender as conexões entre a Natureza e a Sociedade faz parte da história da Geografia, ciência que na visão de Souza (2008), é complexa por princípio.

Diante da complexidade que envolve as questões ambientais, a ciência se volta para um novo paradigma que é a adoção da interdisciplinaridade e da transdisciplinaridade. Portanto, trabalhar a interdisciplinaridade é trabalhar coletivamente, tentar chegar num consenso para solucionar o problema, o que requer capacidade para entender as diferentes formas que esses aparecem. No entanto, essas novas abordagens exigem a criação de novos conceitos e métodos. A prática da interdisciplinaridade pode ser facilitada pela transdisciplinaridade, entendida como a capacidade de transitar em vários campos do conhecimento, indo além das formações acadêmicas específicas de cada um (SUERTEGARAY, 2004).

As discussões sobre a questão ambiental em nível mundial começaram a ser discutidas a partir da década de 1960. O comprometimento dos Recursos Naturais tem sido a razão de tal preocupação. Portanto, na busca de uma qualidade de vida melhor, a sociedade é obrigada a repensar sobre o seu modo de ser, de produzir e de viver (GONÇALVES, 2004). De acordo com Souza (2008), esse repensar nasce das incertezas econômica, política e social, que, de certa forma, afligem a humanidade de forma mais intensa a partir da década 1960. O sistema sociedade e natureza que antes se imaginava estável, começava a ser percebido como cheio de flutuações e bifurcações. Esse autor afirma que, tais reflexões colocou em questão o conceito de natureza, até então dominante. Tradicionalmente a natureza era entendida como algo externo do homem, uma vez que se tornava cada vez mais difícil estabelecer o que seria puramente natural do que seria social. Com a evolução, o conceito passa de Natureza para

Ambiente. Pressupondo que o Ambiente é um entrelaçamento de ações proporcionados pelas técnicas. Para Santos (1997), o progresso técnico não elimina a ação da natureza. A ação humana, modifica os aspectos do quadro natural, transformando-o em segunda natureza mais adaptada aos seus fins.

A natureza não deve ser abordada isoladamente longe das reflexões sociedade e natureza. A Geografia sempre se preocupou com a relação homem/natureza, formando uma complexa simbiose do espaço geográfico, uma vez que se torna difícil definir dois conceitos distintos que os separa. Na discussão atual a geografia vê-se na obrigatoriedade de realizar um esforço contínuo de redefinição. Enquanto ciência, a geografia deve ter objetivos claros de garantir-se com identidade própria (TOMASONI, 2004).

De acordo com Tomasoni op cit., no centro dessas questões encontra-se a ideia da dissociação entre homem e natureza, como se o homem não fizesse parte da mesma. Diante do modelo econômico vigente, a superexploração dos recursos naturais, provoca alterações no sistema ambiental, acarretando desigualdades sociais, econômicas e tecnológicas. Isso pode levar a drástica redução da capacidade do planeta. Nunca antes houve tantas preocupações sobre os impactos que o homem está gerando sobre os recursos naturais.

Os recursos naturais são classificados em renováveis (que a natureza repõe) e não renováveis (que a natureza não repõe). A maioria dos recursos geológicos é considerado não renovável pois se transforma lentamente na natureza e não acompanha a velocidade a que o homem usa esses recursos, exemplo de recursos não renováveis: petróleo, carvão mineral, gás natural e os minérios. Os recursos renováveis após seu uso podem ser renovados, exemplo de recursos renováveis: flora, fauna, água e todos os ecossistemas cultivados. É importante o desenvolvimento de estratégia para implementação de recursos renováveis para que eles possam ser repostos à velocidade a que são usados (DULLEY, 2004).

A palavra recursos significa algo que se possa recorrer para obtenção de alguma coisa. Portanto, o homem recorre aos recursos naturais para satisfazer suas necessidades. A utilização do termo 'recursos naturais' refere à forma econômicas e racionais de utilizá-los de modo que os recursos renováveis não se esgotem por mau uso e os não renováveis não deixem de existir (op cit, 2004).

A moderna sociedade industrial tem provocado profundas transformações ambientais, em escala global, na busca contínua por recursos matérias para manter sua produtividade. O desenvolvimento tecnológico ampliou o domínio humano sobre a natureza, gerando em muitos casos, danos irreversíveis aos sistemas naturais. O interesse por esta problemática, em

particular, pela conservação dos ecossistemas e melhoria da qualidade de vida, constitui atualmente uma preocupação de nações de todo mundo que anseiam por soluções capazes de conciliar o crescimento econômico e a preservação ambiental (IBGE, 1996).

2.2 Desertificação: uma interpretação conceitual

As discussões sobre a desertificação passaram a ter uma atenção especial após a prolongada seca ocorrida na África subsaariana entre o período de 1968 a 1973. Desde então, as atenções foram voltadas para este fenômeno que contribuiu para condições de fome em vários países do Sahel e foi agravada pela instabilidade política. A Conferência das Nações Unidas sobre a Desertificação (UNCOD - *United Nations Conference On Desertification*), realizada em Nairobi em 1977, foi o resultado de um aumento do interesse na região do Sahel, na sequência da rodada inicial de secas, como e que medidas poderiam ser tomadas para recuperar as áreas que haviam sido danificadas. A conferência não só lançou a questão da desertificação na arena política, mas também provocou um grande interesse científico e controvérsia (HERMAMN; HUTCHINSON, 2005).

Os debates se intensificaram após esta conferência, refletida por uma intensidade de literatura e da existência de mais de cem definições de desertificação (GLANTZ; ORLOVSKY, 1983). Os objetivos desta conferência estão expressos no documento intitulado Plano de Ação de Combate à Desertificação (PACD), que recebeu a adesão voluntária de diversos países que participaram do evento, inclusive do Brasil (SOUZA, 2008). E, no Brasil o Ministério do Meio Ambiente – MMA, é órgão que exerce o papel de representante do país junto a UNCCD (*United Nations Convention to Combat Desertification*). A desertificação tem um conceito oficial na Convenção das Nações Unidas de Combate a Desertificação, nos países afetados por secas graves e/ou desertificação, particularmente na África. A UNCCD, estabelece que a desertificação deve ser entendida como um caso extremo de degradação das terras que se expressa na perda de produtividade biológica e econômica, incluindo as variações climáticas.

Na Conferência das Nações Unidas, os problemas da desertificação foram apresentados ao mundo. Até então, a desertificação só era conhecida como um problema grave no continente africano. A teoria da expansão do deserto foi fortemente difundida, uma vez que a evidência de desertos avançados não foi encontrada (GRAINGER et al. 2000). O

próprio Vasconcelos Sobrinho (1986) defendeu a tese sobre a formação de um 'deserto brasileiro'.

O termo "desertificação" foi usado pela primeira vez por Lavauden (1927) no contexto de baixa produtividade de pastagens em terras mal administradas na Tunísia (DREGNE, 2002). No entanto, este termo é mais comumente creditado a Aubréville (1949), que observou que a clareira na África Ocidental causou erosão e deterioração da terra ou 'desertificação'. Em ambos os casos, a 'desertificação' foi utilizada para denotar o resultado de um processo de degradação da terra induzido pela ação humana e pela má gestão da terra. Desde então, vários autores e agências forneceram sua própria definição do problema. Isso levou, em alguns casos, a um exercício estéril que produziu uma miríade de definições e gerou confusão (D'ODORICO, et al. 2013).

Aubréville (1949) foi o primeiro a explicar que a desertificação não é uma extensão do deserto e sim um resultado de extensas atividades agrícolas que poderiam ser em qualquer lugar. Ele descreveu a desertificação como sendo a transformação de terras agrícolas em um deserto ecológico devido os altos índices de erosão, muitas vezes impulsionado pelo homem. Ele foi bastante claro em sua conclusão de que não tinha havido significativa mudança climática durante os últimos mil anos. A maior parte dessa atividade destrutiva ocorreu dentro do tempo histórico do homem (KANNAN, 2012.).

O processo de desertificação é causado por interações complexas de uma série de fatores físicos, biológicos, políticos, sociais, culturais e econômico, rompendo com as interpretações de origem unicamente climática. Geralmente é um processo prejudicial que provoca uma redução gradual da perda da fertilidade do solo (KANNAN, op cit.). O processo de desertificação é um processo antigo, mas a compreensão científica de suas causas e consequências, e os esforços globais feito para enfrentar esse problema, são recentes (CAVALCANTI, et al. 2007). Essas abordagens acabam influenciando negativamente a formulação de políticas públicas

Em 1990 o Programa da Nações Unidas para o Ambiente (PNUA) constituiu um comitê para a avaliação quantitativa das causas e efeitos da desertificação (UNEP, 1992) e definiu a desertificação como a degradação das terras resultantes da ação antrópica (MAINGUET, 1999). Esta definição foi fortemente criticada, uma vez que indentificou a ação humana como a única causadora deste processo (KANNAN, 2014).

Na Eco-92 no Rio de Janeiro, a definição da desertificação, além das atividades antrópicas incluíram as variações climáticas (MAINGUET, 1999), passando a ser a definição

dominante da desertificação também adotada pela UNCCD. De acordo com Corell, 2003, a principal razão para a inclusão de fatores climáticos, como uma das causas do processo de desertificação foi suavizar as consequências políticas de uma definição que coloca toda a responsabilidade sobre a atividade humana. Além disso permite aos países afetados transferir a responsabilidade para os países que perturbaram o equilíbrio ecológico através da industrialização (TOULNIM, 1994). Diante desse contexto, as zonas hiper-áridas não se enquadram nessa definição uma vez que são tão secas que a degradação humana é limitada, a menos que a irrigação seja praticada (DREGNE, 2002).

O termo desertificação é bastante usual, entendido como extensão das paisagens e formas tipicamente desérticas em áreas semiáridas ou subúmidas, devido à ação antrópica. Portanto, esse termo não alcançou um consenso entre os estudiosos, e é de uso cada vez menos frequente, em virtude de seu significado ambíguo (CONTI, 2008).

No Brasil, Vasconcelos Sobrinho foi o pioneiro nos estudos ambientais, principalmente no que se refere à desertificação. Ele participou da primeira Conferência das Nações Unidas Sobre a Desertificação que ocorreu em 1977 em Nairobi no Quênia. O referido professor contribuiu com diversos trabalhos sobre a temática em questão durante a década de 1970 e início da década de 1980. Estabeleceu indicadores para melhor avaliar o processo de desertificação, que são utilizados até hoje pela comunidade científica. Outra contribuição de Vasconcelos Sobrinho foi identificar e caracterizar quatro áreas consideradas problemáticas e de alto risco (Irauçuba-CE, Seridó-RN-PB, Gibués-PI e Cabrobó-PE), por apresentarem manchas de degradações profundas, que ocorrem isoladamente, que designou-os de núcleos de desertificação (VASCONCELOS SOBRINHO, 1970, 1974, 1978a, 1978b, 1982).

No âmbito das ciências geográficas, Ab'Saber (1977), pioneiramente, deu uma vasta contribuição a essa temática. Desenvolveu diversos trabalhos, analisando a vegetação, o relevo, os solos e o clima das áreas secas do Brasil. Um de seus trabalhos “A problemática da desertificação e da savanização do Brasil” destaca que o processo de desertificação ocorre particularmente no domínio das Caatingas, onde alguns pontos apresentariam uma predisposição geo-ecológica a esse tipo de degradação (particularmente a deficiência hídrica), acentuada pela ação antrópica (SOUZA, 2008).

A maioria dos estudos que trata as questões ambientais traz consigo a problemática da desertificação em todo mundo. Muitos pesquisadores adotaram esse termo para designar as terras que foram degradadas ao longo do tempo por práticas agrícolas. Mas a confusão é

grande em volta desse termo. Não existe um consenso entre os pesquisadores. Segundo a definição no Dicionário Aurélio Buarque de Holanda Ferreira (2010) “ desertificação é a transformação de uma região em deserto pela ação de fatores climáticos ou humanos”. A palavra desertificação remete a ideia de deserto. Por isso, em virtude de seu significado ambíguo, muitos estudiosos da área preferem utilizar outros termos. Apesar de vários estudos já realizados sobre o tema, ainda se tem uma grande limitação a respeito da compreensão.

A palavra desertificação não é a única usada na literatura para descrever a degradação das terras em regiões áridas e semiáridas. De fato uma série de palavras têm sido utilizada para este fim. Esta abordagem parece simples, no entanto, é preciso esclarecer primeiramente o que vem a ser um deserto. Claro que cada disciplina tem sua própria definição do que é um deserto. Para alguns autores, ao aceitar o significado da palavra deserto, a desertificação se torna a criação ou manutenção de regiões inóspitas ou ainda o processo de abandoná-las. No entanto, é preciso esclarecer que apesar do termo desertificação ter origem do termo deserto, eles não devem ser confundidos (CONTI, 2008).

Em contraste com as percepções populares, a desertificação não é a expansão natural dos desertos existentes, mas a degradação das terras em áreas áridas, semiáridas e subúmidas secas. Os primeiros especialistas promoveram a ideia do 'deserto invasor', do 'deserto em movimento' ou do 'deserto avançado'. Esta teoria da expansão culminou na afirmação por Lamprey (1975) que o Saara marchava em uma taxa de 5,5 quilômetros por ano.

Para Le Houérou (2002), o deserto é definido como áreas áridas, tornando difícil a prática da agricultura sem o auxílio da irrigação. Os desertos são classificados por sua posição geográfica e por fatores climáticos como: ventos alísios, latitudes médias, barreiras, costeiras etc. O deserto do Saara, por exemplo, é formado por condições climáticas por estar numa faixa de ventos de baixa pressão.

O Saara é um exemplo de deserto formado em regiões de ventos alísios. Os ventos alísios são oriundos das regiões de alta pressão e vão em direção a linha do equador. Esses ventos se encontram (ventos vindos dos hemisférios norte e sul), formando a zona de baixa pressão (ZCIT- Zona de Convergência Intertropical). Devido ao aquecimento nessa zona os ventos alísios ascendem passando a ser ventos contra-alísios e vão em direção a zona dos cinturões anticiclones (zona de alta pressão), mantendo-se assim, o sistema de circulação entre zonas tropicais e subtropicais. Os ventos alísios transportam umidade das zonas tropicais para a equatorial, provocando chuvas. Enquanto que os ventos contra-alísios levam ar seco para as zonas subtropicais. Essa é a grande explicação do grande deserto do Saara. A

maioria dos grandes desertos da Terra está em regiões cruzadas pelos ventos alísios (RAMOS et al. 2013). Não é a intenção nesse trabalho discutir os vários tipos de desertos e como eles se formam. É deixar claro que as formações de desertos estão aquém da realidade brasileira, ou seja é pouco provável a formação de desertos no Brasil.

Conti (2008), faz uma discussão referente aos conceitos de Seca, Deserto e Desertificação. Ele deixa claro que os conceitos são bem distintos e não devem ser confundidos. A Organização Meteorológica Mundial (1986), estabelece o seguinte critério para definir seca: “há seca em uma região quando a precipitação anual for inferior a 60% da normal, durante mais de dois anos consecutivos em mais de 50% de sua superfície” (CONTI, op. cit, p. 41). “O termo deserto remete a ideia de tipo de clima e supõe um sistema natural adaptado com características e limites espaciais definidos”. E, por fim, “o conceito de desertificação supõe processo e, portanto, dinamismo, estando, frequentemente associado a períodos secos bastante longos, da ordem de décadas” (CONTI, idem, p. 42).

O mau uso da terra é um dos fatores de influência associados ao risco de desertificação (WIJITKOSUN, 2015). Portanto, a degradação das terras é um processo complexo que resulta na redução progressiva da capacidade de prestação de serviços do ecossistema por terras agrícolas, pastagens e florestas (SMIRAGLIA et al. 2016). Esse processo pode tornar-se irreversível quando culmina em níveis mais alto de desertificação, que é a degradação persistente dos ecossistemas das terras devido as intervenções antrópicas (VARGHESE; SINGH, 2016).

A crise ambiental que o planeta está passando, trata-se de um resultado de muitos anos de exploração dos recursos naturais. A sociedade capitalista age de forma inconsequente sem a responsabilidade com o meio ambiente, além de provocar o desaparecimento de algumas espécies da fauna e da flora. A humanidade está enfrentando uma mudança de paradigma com relação à concepção de uso de recursos naturais e convivência com o meio ambiente. A crise a qual vive a sociedade, pode ser considerada como uma crise de valores, o que tem gerado problemas socioambientais das mais variadas proporções (SANTOS; FARIAS, 2004).

Alves et al. (2015), estudaram as tendências temporais e variabilidade da precipitação e do índice de aridez no alto curso do rio Paraíba, e constataram que há um aumento das precipitações e redução da aridez do solo durante o período estudado (1950-2013). Portanto, concluíram que nestas condições é pouco provável desencadear o processo de desertificação, o que reforça a ideia de que o processo de desertificação tem causas antrópicas

É importante salientar, que as informações contidas no texto da Convenção podem ser mal interpretadas como tendo uma abrangência ou restrição dos fatos. Por exemplo, o trabalho de combate a desertificação e os efeitos da seca poderia generalizar toda a atividade antrópica já praticada, e, por outro lado, tendo uma visão mais restrita acabaria desprezando a visão holística direcionada à resolução de problemas relacionados a degradação das terras. Isso não significa desprezar suas consequências nas populações que vivem numa determinada área inserida nas áreas áridas, semiáridas ou subúmidas secas, sem ignorar que as causas da desertificação podem ter origem longe das áreas afetadas (SAMPAIO, 2003).

O motivo de tantas controversas a respeito do termo desertificação é o desencontro de interpretações veiculadas na mídia e até mesmo nos meios técnico e científico pode-se observar a confusão. De acordo com Sampaio (op. cit, p. 8), grande parte das razões de tantos desencontros vem de três causas:

- I. A desertificação não é um conceito desenvolvido pelo uso, mas vem de uma definição gerada nos meios diplomáticos que formularam o texto da Convenção. Os conceitos desenvolvidos pelo uso trazem uma aceitação e um entendimento consensual, ainda que pouca gente consiga formular uma definição sem ambiguidades. A definição outorgada exige que seja explicada até que seu entendimento se generalize. Infelizmente, pouca gente leu o texto da Convenção e a maioria conhece apenas o que a mídia veicula.
- II. O nome escolhido gera confusão. A palavra remete a deserto e o sentido mais imediato que ela passa é de formação de deserto. Tem sido este o sentido mais divulgado pela mídia, contrariando o conhecimento científico de que é pouco provável a formação de deserto no Nordeste do Brasil, no prazo de décadas, sob qualquer condição ambiental previsível. (...) Não se pode mudar o texto e o termo desertificação já está popularizado, restando divulgar mais amplamente seu significado real.
- III. As explicações sobre a definição, contidas no texto da Convenção, deixam, ainda, muitos pontos vagos. É impossível esclarecer todos os conceitos usados em qualquer definição porque as explicações partem de outros conceitos, assumindo-se que haja consenso sobre o entendimento deles. Questioná-los pode levar a uma cadeia interminável de indefinições. Sem cair nesta armadilha filosófica, é necessário analisar as explicações do texto, determinar o que fica claro e examinar os pontos vagos. Para estes, seria conveniente chegar a uma tentativa de explicação que, pelo menos, deixasse o campo de ação do combate à desertificação no Nordeste do Brasil razoavelmente definido. Obviamente, esta delimitação regional do campo de ação não pode se sobrepor às decisões da Convenção Internacional e, mesmo trabalhando no vazio das interpretações, não pode ser imposta às outras partes signatárias. Pode, no entanto, ser uma contribuição regional à definição nacional e subir pelos caminhos competentes até a apreciação no fórum internacional.

Portanto, diante do que foi colocado aqui, não é difícil entender o processo de desertificação. É preciso que os pesquisadores estejam a par do texto da Convenção, não adianta criar polêmicas em volta do que já foi discutido em comum acordo entre os

diplomatas que fizeram parte da Convenção. Agora é tentar difundir o termo com mais clareza. A desertificação não deve ser vista como um processo de mudança capaz de se tornar num deserto. O deserto tem suas características próprias, é um bioma onde está tudo em perfeito equilíbrio. A desertificação deve ser entendida como um resultado final de um processo longo de degradação das terras.

2.3 O Semiárido brasileiro e sua problemática

A história da região semiárida no Nordeste brasileiro (NEB) é marcada por fortes períodos de estiagens que afetam o desenvolvimento socioeconômico da região. Devido às irregularidades das chuvas, grande parte da região enfrenta problemas no desenvolvimento das atividades agropecuárias, além da degradação das terras, que está associada ao manejo inadequado dos solos. Esta região é conhecida por sua média pluviométrica inferior a 800 mm e também por possuir terrenos de pouca profundidade. A vegetação é representada pelo bioma Caatinga em sua forma diversificada, no qual, desempenha um papel importante na economia como fonte de subsistência em épocas de estiagens (CAVALCANTI et al. 2007). As áreas em risco à desertificação estão inseridas, majoritariamente, nesta região, onde se encontram espaços climaticamente caracterizados como semiárido e subúmido seco (PAN BRASIL, 2004).

O semiárido sofre, frequentemente, com anos de chuva abaixo da média climatológica e com a estiagem prolongada. A crescente escassez de água ameaça o desenvolvimento econômico, os meios de subsistência e a qualidade ambiental. A hidrologia dessa região é muito diferente da hidrologia das regiões úmidas, uma vez que as secas ocasionais e as mudanças de uso das terras aumentam a complexidade de sobrevivência. Nesse sentido, entender a hidrologia, o clima e o uso da terra são fundamentais para a gestão e planejamento dos recursos hídricos (MONTENEGRO; RAGAB, 2012).

O Semiárido nordestino é uma das zonas mais populosas do mundo, uma visão paradoxal esboça déficit de conhecimento no que diz respeito às suas potencialidades sociais, econômicas e ambientais. Em suma, a região semiárida sempre foi interpretada sob a ótica de que a culpa de todo o atraso econômico decorre da irregularidade das chuvas e, assim, é classificada por muitos, que não conhecem sua realidade, como de ambiente hostil. É evidente a relação entre a seca e o atraso no imaginário daqueles que presenciaram através da mídia e refletiram sobre as áreas de clima semiárido. O reflexo da mídia acaba passando a imagem de que a região, devido à seca, é desprovida de desenvolvimento. O atraso não está atrelado à falta de água e sim a falta de gestão pública, principalmente numa gestão voltada para o desenvolvimento sustentável e educacional

As regiões áridas e semiáridas no mundo ocupam 54% dos países em desenvolvimento de terras agricultáveis e um terço de sua população rural. Aproximadamente um bilhão de pessoas entre os mais pobres do planeta, vive hoje em regiões caracterizadas pelo estresse

hídrico (ROCHA; SOARES, 2015). Muito se tem dito e escrito sobre a realidade da Região Semiárido Brasileiro e as possíveis alternativas para o seu desenvolvimento.

Ao longo de sua história, a região Nordeste ficou conhecida como uma região problema, terras das secas, lugar de fome e miséria, onde o atraso econômico se justificaria. A imagem que se tem do Nordeste, principalmente na região Semiárido, é resultado de um julgamento preconceituoso e dos interesses políticos que explicavam o atraso como sendo, um produto das condições adversas, tais quais clima, tipo de solo e formação de sua gente (SILVA, 2003). Alguns políticos aproveitavam-se da tragédia da seca para conseguir verbas, incentivos fiscais, perdão de dívidas e concessões de crédito, valendo-se da miséria que se propagava. Dessa forma, conseguiram colocar a seca a serviço dos grandes fazendeiros, fazendo desta um grande negócio, que ficou popularmente conhecido como a "Indústria da Seca".

A coleta de água para o consumo e produção agrícola é uma tarefa difícil para quem vive na região Semiárido, pois exige energia e recursos. A escassez de água aumenta a susceptibilidade aos impactos climáticos associados aos eventos extremos, exemplo da seca que assola essa região em períodos cíclicos aproximados de 10 a 11 anos. Num contexto de pobreza, a seca pode ter consequências graves na vida das pessoas.

As chuvas irregulares são obstáculos constantes para o desenvolvimento de atividades agropecuárias. Existe uma grande lacuna de sistemas eficientes para o armazenamento de água. Esses sistemas quase sempre estão concentrados nas mãos de poucos, intensificando ainda mais os problemas sociais. Sabe-se que, além das chuvas irregulares, no Semiárido os anos de secas e chuvas se alternam de forma errática (MARENCO, 2008).

Desde 2012, e ainda em curso no ano de 2016, a última seca continua ameaçando os reservatórios e a produção agropecuária na Paraíba. As circunstâncias atuais são consideradas graves, pois existe um aumento contínuo na demanda de água em muitas partes do mundo, a fim de satisfazer as necessidades de crescimento da população e, conseqüentemente, aumento da demanda de produtos agropecuários e de energia. Essas demandas crescentes por água são ainda piores pelo impacto da seca (MISHRA et al. 2015).

As sociedades que vivem em regiões semiáridas são vulneráveis à variabilidade climática e à disponibilidade de água. Esta vulnerabilidade é causada pelas fortes restrições sobre o uso dos recursos naturais e pelas limitações dos recursos hídricos, além da alta densidade demográfica e pela própria situação de renda ou pobreza das populações. Em condições razoáveis de anos mais úmidos, há a permanência da população devido às chuvas

que favorecem a lavoura, já nas condições de anos mais secos, observa-se a dificuldade do desenvolvimento socioeconômico e da qualidade de vida (KROL; BRONSTERT, 2007).

2.4 Degradação e concentração das terras

A degradação das terras brasileiras teve início nas primeiras décadas do século XVI, com a invasão dos lusitanos. O objetivo inicial era a exploração e comercialização do pau-brasil, além de outros tipos de madeiras e animais de pluma (ANDRADE, 2002). O ano de 1530 é um marco importante no que se refere a degradação ambiental, onde a aceleração desse processo se deu com a substituição da Mata Atlântica pelas plantações de cana de açúcar. O longo período de desmatamento reduziu o Bioma a 2,21% (TABARELLI et al. 2006). De acordo com Leff (2000) e Barbosa (2012), a expansão do capitalismo mercantil foi decisivo para espoliar os recursos naturais, como também destruir a forma de organização dos povos indígenas dos países tropicais.

O gado bovino foi introduzido juntamente com a cana de açúcar para atender as necessidades dos engenhos. O clima favorável e a grande quantidade de alimentos (derivados da cana) para o gado houve um rápido crescimento do rebanho que passou a conflitar com o desenvolvimento da cana devido a invasão do gado nos canaviais (BARBOSA, op. cit). Naquela época não havia o arame para que pudesse proteger a cultura da cana. Em 1701, uma Carta Régia proibia a criação do gado a menos de 10 léguas da costa (SIMONSEN, 2005). Daí então, inicia-se a ocupação na região semiárida.

Outro fator decorrente na história é a grande concentração de terras. O Nordeste e o Brasil, como um todo, surgiram como parte do movimento de expansão do capitalismo mercantil, com funções muito precisas de colônia (GUIMARÃES NETO, 1997). Na ocupação das terras foi implantada a política das sesmarias, com base na Lei Fernandina de 1379 que estabelece o direito sobre a terra (NOZOE, 2006). As sesmarias eram dadas a homens de posses e não havia limites de doações a um único pretendente. Estava criada a base do latifúndio no Brasil. Outro fator importante de apropriação de terras foi a difusão do cultivo do algodão (BARBOSA, op. cit.). O sistema de sesmarias foi marcado pela monocultura extrativista e predatória. Portanto, responsável pela formação do latifúndio, conseqüentemente a degradação dos solos.

A formação do território brasileiro se deu pela expansão do capital mercantil europeu, caracterizado pela apropriação concentrada de terra, passando pelo “plantation” de cana de açúcar, e pela Lei das Terras de 1850, que preservou o poder dos latifundiários (SANTOS,

2007). De acordo com Barbosa (2012), a Lei das Terras de 1850, depois regulamentada em 1854, foi criada através de pressão da própria oligarquia rural para legalizar as terras recebidas em forma de sesmaria. O apossamento era a única forma de obter terras.

A Lei, aparentemente, seria para normalizar o uso das terras agrícolas, a partir da divisão de terras. Desta forma, a demarcação das terras se daria aos interessados. A Lei não estabelecia limites quanto ao tamanho das propriedades. Sobre as terras adquiridas não era cobrado nenhum tipo de imposto, mas em compensação cobrava-se um valor elevado pelo registro das terras. Portanto, a Lei excluía os pequenos posseiros, meeiros e outros da legação de suas terras, as quais foram incorporadas as dos latifúndios. Tal processo gerou um contingente de sem-terras a procura de terras para morar e cultivar (BARBOSA, op. cit).

De acordo com as informações obtidas através do INCRA (2001), 79% dos donos de terras, possuem minifúndios, cujos tamanhos não ultrapassam a 50 ha, no qual estabelece uma média de 20 hectare que correspondem a 12% das terras produtivas. Em contra partida os 21% são donos de 88% das terras. Cerca de 5% desse número são exploradas por empresas rurais que detém aproximadamente 10% do total das terras agricultáveis.

Barbosa (op. cit), ao confrontar os dados das classes de propriedades existentes em Cabaceiras e São João do Cariri-PB, percebe que o cenário continua o mesmo, ainda do tipo colonial, onde prevalece os latifúndios. Em Cabaceiras, o número de módulos rurais de 1 a 25 ha é de 202, totalizando uma área de 2.118,5 ha. Em contrapartida, o número de imóveis com mais de 1000 ha é de 5, com um total de 12.420,10 ha. Em São João do Cariri existem 163 imóveis entre 1 a 25 ha, que corresponde uma área de 1.965,80 ha, enquanto que, donos de 11 imóveis, totalizam uma área de 19.193.30 ha.

A concentração de terras acentua a pobreza, deixa o pequeno proprietário desprovido de terras para trabalhar. Para Barbosa (op. cit), a perpetuação deste cenário tem grande contribuição para o Estado (bolsa família, bolsa safra e tantas outras). O Estado não tem interesse em desenvolver políticas públicas e sim contribuir para com os interesses do capital. “Os incentivos fiscais, cada vez mais vem perpetuando a pobreza. A perpetuação da pobreza e o processo de desertificação são uma fonte inesgotável de renda para o capital pois dão lucro”(BARBOSA, idem, p. 321).

Diante deste contexto, inúmeros trabalhos relativos à desertificação foram realizados, todos têm como resultados a ampliação dos problemas socioeconômicos e ambientais. Segundo Fernandes (2010) muitos autores, quando tratam do processo de desertificação, não exploram os processos históricos e as relações capital trabalho. Não tratam das políticas

públicas e nem da globalização que acentuou a destruição da natureza pelo homem e de suas condições de vida.

2.5 NDVI, albedo (α) e TGSi na análise do processo de desertificação

Nos últimos anos, a noção de desertificação tem sido relacionada com a perda dos serviços ecossistêmicos, resultante de ações antrópicas (D'ODORICO et al. 2013). Diante dessa problemática, informações produzidas através de pesquisas, utilizando o sensoriamento remoto com índice de vegetação e albedo da superfície da terra, têm-se intensificado. O NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) é um dos índices amplamente aplicado para avaliar as condições da vegetação (ZHANG et al. 2004). É um indicador numérico simples que pode ser usado por medições remota. Tal índice fornece uma estimativa grosseira da vegetação, como um meio de monitorar mudanças ao longo do tempo (LAMCHIN et al. 2016). O NDVI foi proposto inicialmente por Tucker (1979) com o objetivo de mapear a variação espacial e temporal na vegetação, sendo empregado como um indicador de mudança de cobertura do solo.

A textura do solo está intrinsecamente relacionada com a degradação das terras e muitos estudos têm apontado que o manejo inadequado do solo e o sobrepastoreio têm influências negativas, levando muitas áreas ao risco de desertificação. De acordo com Ren et. al. (2015), o sobrepastoreio pode acelerar a diminuição da vegetação e a degradação das terras como também pode acelerar a erosão eólica do solo e resultar em um solo arenoso. O teor de areia de uma área muito utilizada para a agricultura é mais elevada do que a média (ZHAO et al. 2005).

Para Lamchin et. al. (2016), o engrossamento da camada superficial do solo é um sinal visível da degradação da terra causada pelas atividades antrópicas; assim, a composição granulométrica do solo pode ser usada como um potencial indicador. Dessa forma, é possível monitorar o processo de desertificação pela mudança na textura do solo superficial. O TGSi - Índice de textura do solo (Sigla Inglês - *Topsoil Grain Size Index*) foi proposto inicialmente por Xiao et al. (2006), Hadeel et. al. (2011) e Lamchin et al. (2016), em áreas da Mongólia Interior da China e Sul do Iraque, para detectar o grau de desertificação através da textura do solo. Os resultados obtidos pelo TGSi parecem promissores. O TGSi negativo indica área coberta por vegetação e positivo representa areia grossa (XIAO et al. 2006; HADEEL et. al. 2010). Este índice só é aplicável para as áreas nuas ou vegetação escassa (LAMCHIM et. al. 2016), tais características são facilmente encontradas na região de estudo.

Um dos indicadores do processo de desertificação é a redução da cobertura vegetal, aliada a essa mudança está a degradação do solo. Essas condições tendem a aumentar o albedo da superfície terrestre (SILVA et. al. 2010). Entre as propriedades físicas terrestres, destaca-se ainda o albedo, que caracteriza a capacidade que os corpos têm de refletir a radiação solar (MENDONÇA; DANNI-OLIVEIRA, 2007).

2.6 Erosão e degradação do solo

A degradação da terra é uma das questões ambientais mais graves do tempo contemporâneo. As atividades de uso da terra estão entre os principais fatores de degradação em todo mundo. Essas atividades moldam a superfície terrestre e podem induzir mudanças substanciais nos fenômenos naturais (STEFFEM et al. 2007). As atividades humanas estão no cerne de vários desafios ambientais. Na verdade os seres humanos dominam, transformam e modificam os ecossistemas (ZIKA; ERB, 2009) em benefício próprio, mas muitas vezes em detrimento dos padrões e processos ecológicos globais (OKOU et al. 2016).

A degradação do solo pela erosão hídrica tem sido acelerada pelas atividades humanas. Esse processo é agravado em áreas com declives acentuados, com cobertura vegetal esparsa e precipitação esporádica de alta intensidade, juntamente com a profundidade superficial do solo, o que aumenta o risco de erosão do solo (CORREA et al. 2016).

Os recursos naturais (como água, solo, ar, vegetação, luz e calor), são fundamentais para a existência da vida na Terra. Do ponto de vista da erosividade, o solo pode ser considerado o mais importante. O solo quando mal usado pelo homem, pode sofrer desgastes acelerados que segundo Portela (2009), as taxas de perda de solos por erosão podem superar ao infinito as taxas naturais de renovação. Diante do pressuposto, considerando a escala de tempo do homem, o solo deve ser considerado um recurso natural não renovável. Portanto, a conservação do solo é um pré-requisito à sobrevivência das espécies (PORTELA, 2009.).

O solo é onde suporta todos os serviços do ecossistema e da segurança alimentar (GAO et. al 2017). Um dos principais problemas que afeta o manejo de solo é a erosão hídrica, que tem contribuído para o empobrecimento dos agrossistemas (SILVA et al. 2005). De acordo com Volk e Cogo (2008), a magnitude do processo erosivo hídrico pluvial depende de uma combinação da capacidade da chuva de causar erosão e da habilidade do solo em resistir à ação da chuva. São vários fatores que interferem nesse processo, regime de chuva, o tipo de solo, o comprimento e a inclinação do declive, a cobertura e o manejo do solo (WISCHMEIER E SMITH 1978; HUDSON, 1995 apud BAGATINE et al. 2011).

A erosão é um processo de superfície terrestre. As condições físicas da camada superficial do solo, externas e internas, são as que irão determinar as perdas de solo. Essas condições irão depender do tipo de uso da terra e da forma como o solo e a cultura são manejados (BAGATINE op.cit.).

O sistema agrícola sem práticas de conservação aumenta a erosão. Tal processo, contribui para o assoreamento e eutrofização dos corpos d'água. A falta de prática de conservação do solo pode levar à desertificação de áreas férteis (NACIONOVIC et al. 2014). Cerca de 1,5 bilhões de hectares, ou aproximadamente 10% da superfície terrestre, têm sido degradadas pela erosão. A erosão do solo aumenta ao longo do século XX. Cerca de 80% da degradação das terras no Planeta está associada com a erosão do solo (ANGINA, et al. 2003).

O uso do solo de forma adequada desempenha um papel importante no combate a erosão. A retirada da vegetação reduz significativamente a capacidade de infiltração de água no solo e aumenta o escoamento superficial e a erosão. O resultado da erosão é a perda de fertilidade e degradação do solo (SANTOS, 2011).

A pesquisa realizada pelo INSA (Instituto Nacional de Semiárido), com base no censo demográfico de 2010, revela que a região semiárida possui 1.135 municípios distribuídos no espaço geográfico de nove unidades da Federação: Bahia, Alagoas, Ceará, Paraíba, Pernambuco, Piauí, Rio Grande do Norte, Sergipe e Minas Gerais, juntos possuem uma população de 22. 598. 318 habitantes, representando aproximadamente 12% da população brasileira (MCTI, 2012). Nesta área são consumidos grandes quantidades de produtos agrícolas e florestais. Para atender a demanda, a vegetação é extraída da Caatinga sem nenhum manejo adequado, essa prática resulta em degradação do solo. O desmatamento indiscriminado da Caatinga para a formação de novas lavouras, além da retirada da madeira para obter lenhas e as queimadas tem contribuído para acelerar a erosão do solo (ALBUQUERQUE et al. 2002).

2.7 A erosividade das chuvas

A erosão do solo e a subsequente degradação das terras contribuíram para o colapso da sociedade e são uma das principais causas de desertificação nas regiões áridas e semiáridas (Gao et al. 2017). A magnitude desse processo tem sido considerada uma ameaça à própria existência da humanidade, contribuindo para urgência de se quantificar e controlar as causas do processo erosivo (ALBUQUERQUE et al. 2005). A erosão do solo é um grave problema

ambiental em todo mundo, no qual, causa a perda das funções ecossistêmicas e a diminuição da produtividade agrícola (GAO et al. 2017).

Por essa razão foram criados modelos numéricos para determinar os fatores erosivos através da Equação Universal de Perda de Solo (EUPS), no qual, tem sido bastante utilizada. A EUPS é o modelo de erosão mais utilizado no mundo e fornece informações úteis para o planejamento adequado da conservação do solo (OLIVEIRA, 2013). Este modelo caracteriza-se por estabelecer uma estimativa da perda de solo média anual causada pela erosividade da chuva (KINNEL, 2010). Na EUPS o fator (R) representa a influência climática na erosão do solo relacionados com a água (LU; YU, 2002). As distribuições espaciais e temporais de erosividade da chuva podem ser utilizados como indicadores de variações regionais em potencial de erosão (MORGAN, 2005).

Embora a resistência do solo à erosão hídrica dependa da erosividade da chuva, da topografia, da vegetação e atividade antrópica, as propriedades inerente ao solo tais como: textura e matéria orgânica, são também determinantes muito importantes (MORGAN, op cit). A erodibilidade do solo define sua resistência quanto ao seu desprendimento e transporte pela precipitação e escoamento superficial comumente quantificada pelo fator de erodibilidade (K) que é amplamente aplicado em modelos para prever a erosão do solo (LIU et al. 1999, WANG et al. 2001 e PARYSOW et al. 2003). Portanto, Erodibilidade do solo é um indicador essencial para uma gestão global. A distribuição do tamanho de partículas do solo é a principal propriedade do solo erodido. As partículas maiores são resistentes ao transporte pela água, devido à maior força exigida para movê-la. As partículas de argilas combinadas com a matéria orgânica formam agregados de solo, e a estabilidade deste determina sua resistência e as partículas menos resistentes são constituída de areia fina (GAO et al. 2017).

A erosividade, que é diferente da erodibilidade, diz respeito a capacidade da água, do vento e de outros fatores em provocar erosão, ou seja, são processos que agredem os espaços que possuem fragilidades intrínsecas, a exemplo da chuva, quanto ao termo erodibilidade é aquilo que é frágil por princípio. A erosividade acentua a degradação de setores de um território sujeito localmente a uma marcante erodibilidade (AB'SABER, 2006). A erosividade das chuvas é um fator importante para estimar as taxas de erosão do solo. Compreender a distribuição espacial e as tendências temporais da erosividade das chuvas é importante para a avaliação do risco de erosão do solo e para o planejamento da conservação do solo (QIN et al. 2016).

O índice de erosividade da chuva (R) é um componente da EUPS, no qual expressa à capacidade da chuva esperada em um determinado local capaz de causar erosão em áreas sem vegetação. Este índice estima os valores de erosividade com relativa precisão, são utilizados os valores acumulados de chuva, que são dados obtidos facilmente (SILVA et al. 2005). Hudson (1961) faz uma definição simples sobre a erosividade, como sendo a habilidade da chuva em causar erosão.

Os danos irreversíveis ao solo e a diminuição dos rendimentos agrícolas ocorrem por causa da erosão, sendo por isso necessário a implementação de programas de controle a erosão hídrica para o desenvolvimento de uma agricultura estável. O conhecimento aprofundado dos agentes erosivos é ponto inicial para qualquer programa de conservação do solo. Sendo de extrema importância ao estudo das características da chuva, pois estas podem determinar grande parte dos efeitos erosivos. Porém, os padrões hídricos do Brasil são poucos estudados (HICKMANN et al. 2008).

A produção de sedimentos pode ser aumentada pelo uso inadequado do solo (com práticas agrícolas e desmatamento) afetando o seu desenvolvimento e a diminuição da capacidade de recuperação das áreas afetadas, portanto acelera o processo de degradação da paisagem (BOARDMAN; POESEN, 2006).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Caracterização da área de estudo

A área do presente estudo compreende os municípios de Cabaceiras e Barra de São Miguel, inseridos na microrregião dos Cariris Velhos e Mesorregião da Borborema, Estado da Paraíba (Figura 1). Cabaceiras tem como coordenadas geográficas: 7° 29' 20" S e 36° 17' 14" W; e Barra de São Miguel: 7° 45' 04" S e 36° 19' 05" W (AESAs, 2015).

A população do município de Cabaceiras - PB em 2010 era de 5.035 habitantes, dos quais 2.217 habitavam a zona urbana e 2.818 a zona rural e a densidade demográfica de 11,12 hab./km². Barra de São Miguel possuía, em 2010, uma população de 5.611 habitantes, dos quais 2.364 habitavam na zona urbana e 3.247 na zona rural e a sua densidade demográfica era de 9,43 hab./km². A população dos dois municípios totalizava 10.646 habitantes, numa área de 1.048,13 km², com mais de 50% da população vivendo na zona rural (IBGE, 2010).

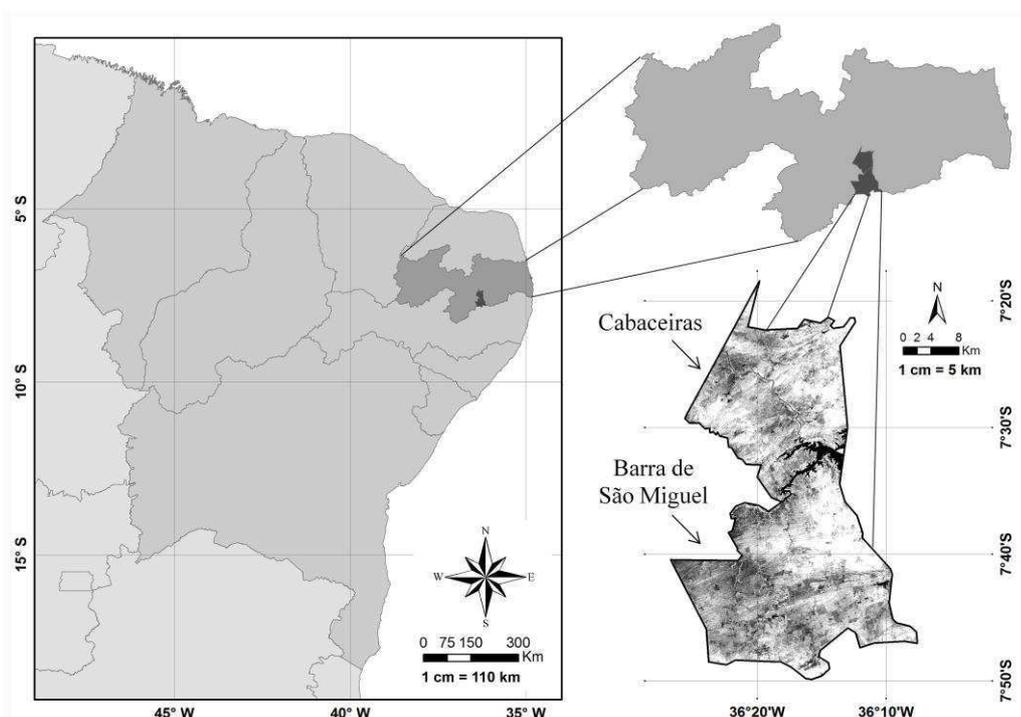


Figura 1 Localização dos municípios de Cabaceiras e Barra de São Miguel, no Estado da Paraíba.

Grande parte da região do cariri paraibano está inserida na bacia hidrográfica de contribuição para o açude Epitácio Pessoa (Boqueirão), que apresenta a montante, duas bacias contribuintes, a do rio Paraíba e a do rio Taperoá que corta o município de Cabaceiras, Figura 2. De acordo com a classificação climática de Köppen (1928), o clima da região de estudo é do tipo semiárido quente (BHs), onde a temperatura média mensal do mês mais frio é superior a 18°C, a estação chuvosa ocorre entre janeiro a abril e a precipitação média anual é inferior a

600 mm. As precipitações dessa região é caracterizada por serem de curta duração com forte intensidade, causando muita influência nos cultivos e no desenvolvimento de processos erosivos (ALVES; AZEVEDO, 2013).

Os principais elementos da geologia e estrutura da mesorregião da Borborema, onde estão inseridos os municípios em estudo, correspondem ao complexo granito-gnáissico-migmatítico de Pernambuco-Alagoas, dentre outras localidades. Esse embasamento é cristalino de idade Pré-Cambriana. Esta área tem como característica a impermeabilidade, facilitando o escoamento superficial (PIRES, 2009).

Do ponto de vista geomorfológico o relevo dos municípios apresenta-se predominantemente suave ondulado e ondulado, e a classe de solo mais representativa é o Luvisolo Crômico, predominantemente em grande parte da região. Os Vertissolos predominam nas partes mais baixas no entorno do açude Epitácio Pessoa. Nas áreas mais acidentadas ocorrem os Neossolo Litólico.

Na área dos municípios são encontrados basicamente três classes de solos: Neossolo Litólico - ocorrem em toda região do semiárido, principalmente nas áreas mais acidentadas, onde são encontrados afloramento rochoso. São solos muito rasos, não hidromórficos, que apresenta um horizonte A assente diretamente sobre a rocha R; Vertissolos - São solos minerais com séria restrição temporária à percolação de água, com 30% ou mais de argila ao longo do perfil, que apresentam pronunciada mudança de volume, de acordo com a variação do teor de umidade (OLIVEIRA et al. 1992); e Luvisolos - são solos rasos e pouco profundo, com horizonte B textural de cores vivas e argila de atividade alta, apresentando horizonte A fraco, de cor clara e com revestimento pedregoso. São altamente suscetíveis aos processo erosivos, em virtude da grande diferença textural entre o horizonte A e o horizonte Bt e da atividade das argilas (EMBRAPA, 2014; RIBEIRO et al. 2009).

Quanto a vegetação predomina a Caatinga hiperxerófitas, a maioria das plantas dessa vegetação perdem suas folhas e flores para reduzir a perda de água nos períodos de estiagens, renovando-as durante o período chuvoso (LEAL et al, 2005). As práticas agrícolas desenvolvidas na região dependem da estação chuvosa, a maioria da produção é de auto-consumo em condição de sequeiro. As principais lavouras temporárias são: milho, feijão e batata-doce, as permanentes: banana, coco-da-baía, manga, maracujá e goiaba. A principal atividade de destaque na economia da região é a pecuária, principalmente de caprinos (IBGE, 2015).

3.2 Material

Para o desenvolvimento desta pesquisa foram utilizados os seguintes materiais: dados bibliográficos, produtos de sensores orbitais (imagens do TM/Landsat-5), mapas temáticos, GPS (*Global Positioning System*) Garmin Etrex Summit para georreferenciar os alvos e uma câmera digital para o registro, além do suporte computacional físico (*hardware*) e lógico (*software*).

3.3 Métodos

Para a análise socioeconômica foi realizado um levantamento de dados estatísticos oficiais obtidos em órgãos públicos nacionais e internacionais, como o IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, PNUD – Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento, IPEA – Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. Para a análise foram utilizados indicadores (como renda, produção agrícola, pecuária, etc.), e índices como, por exemplo, o IDEB – Índice de Desenvolvimento da Educação Básica. Também foi realizada pesquisa bibliográfica e a análise dos dados foi feita a partir de confecção de tabelas e gráficos realizados no Excel.

3.4 Dados de Satélite

Foram empregadas imagens do mapeador temático (TM) do satélite Landsat 5, referentes ao ponto 215 e órbita 65, obtidas junto ao site do INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) e ao site *Earth Explorer* do USGS (*United States Geological Survey*), respectivamente. A Tabela 1, apresenta os dias selecionados e suas características.

Tabela 1. Descrição das imagens de satélites empregadas no estudo.

Data	DOA	Satélite	Hora Local	E (°)	Z (°)
02/08/1989	214	Landsat 5	09:02:02	45,62	44,38
18/06/1990	169	Landsat 5	08:55:24	42,28	47,72
29/04/1995	119	Landsat 5	08:43:35	45,29	44,71
17/10/1999	290	Landsat 5	09:11:50	60,62	29,38
29/07/2005	210	Landsat 5	09:23:09	49,20	40,80
28/10/2009	301	Landsat 5	09:25:28	63,97	26,03
22/04/2010	112	Landsat 5	09:26:06	55,15	34,85

* DOA - Dia Juliano. *E (°) - Ângulo de Elevação. *Z (°) - Ângulo Zenital.

Foi empregado o software livre, Quantum Gis 2.8.2 para tratamento e processamentos das imagens obtidas, as quais foram submetidas a tarefas de reprojeção, empilhamento, recorte e georreferenciamento. Por fim foram computados o NDVI (*Normalized Difference*

Vegetation Index), o albedo da superfície e o TGSÍ (*Topsoil Grain Size Index*). Ao longo da pesquisa tentou-se utilizar imagens do Landsat-8, mas os resultados convergiram com o Landsat 5. Ao comparar os resultados do Landsat 5 e 8 percebeu-se que os valores de NDVI estavam bem maiores em relação aos valores do Landsat 5, dando uma ideia de recuperação da vegetação. Por exemplo, quando foi comparada as imagens de 1999, 2009 (Landsat 5) com a de 2015 (Landsat 8), para o período seco, percebeu-se um acréscimo anormal da vegetação arbórea. Em 1999 (precipitação de 201,04 mm e 317,5 mm para Cabaceiras e Barra de São Miguel) a vegetação arbórea representava apenas 1,84%. Em 2009 (677,8 mm e 463,2 mm) 13,63%, fato este que pode ser explicado por ter sido um ano muito chuvoso. Por fim, em 2015 ano muito seco (187,9 mm e 151,6 mm) e no entanto a vegetação arbórea teve um valor expressivo de 27,14%. Fato este que levou a não trabalhar por enquanto com o Landsat 8.

3.5 Processamento das Imagens Landsat 5 - TM

As imagens Landsat 5 - TM, obtidas junto ao INPE, necessitaram de uma conversão de seu número digital (ND) para valores de radiância espectral por meio de um processo de calibração radiométrica proposto por Chander & Markham (2003), na qual se utilizou a seguinte equação:

$$L_{\lambda i} = G_{rescale} \times Q_{cal} + B_{rescale}$$

Onde: $L_{\lambda i}$ = radiância espectral de cada banda ($Wm^{-2}sr^{-1}\mu m^{-1}$); Q_{cal} = número digital; $G_{rescale}$ ($Wm^{-2}sr^{-1}\mu m^{-1}DN^{-1}$) e $B_{rescale}$ ($Wm^{-2}sr^{-1}\mu m^{-1}$) = fatores de calibração, mostrados na Tabela 2 a seguir.

Tabela 2. Valores de calibração radiométrica para o Landsat 5 TM.

Radiância Espectral em $W/(m^2 \cdot sr \cdot \mu m)$				
Data de Processamento	de 1 de março de 1984 à 4 de maio de 2003		depois de 5 de maio de 2003	
Banda	$G_{rescale}$	$B_{rescale}$	$G_{rescale}$	$B_{rescale}$
1	0,602431	-1,52	0,762824	-1,52
2	1,175100	-2,84	1,442510	-2,84
3	0,805765	-1,17	1,039880	-1,17
4	0,814549	-1,51	0,872588	-1,51
5	0,108078	-0,37	0,119882	-0,37
6	0,055158	1,2378	0,055158	1,2378
7	0,056980	-0,15	0,065294	-0,15

Fonte: Chander; Markham, (2003).

A reflectância monocromática no topo da atmosfera pode ser obtida pelo modelo proposto por Chander e Markham (2003) para as bandas 1-5 e 7 do TM – Landsat 5:

$$\rho_{\lambda i} = \frac{\pi \cdot L_{\lambda i}}{ESUN_i \cdot \cos Z \cdot dr}$$

com $L_{\lambda i}$ = radiância refletida para cada banda do satélite ($\text{Wm}^{-2}\text{sr}^{-1}\mu\text{m}^{-1}$); $ESUN_b$ = irradiância solar média para cada banda ($\text{Wm}^{-2}\mu\text{m}^{-1}$) que podem ser encontrados na Tabela 3; Z = ângulo zenital do Sol e dr = quadrado da distância relativa Terra-Sol.

$$dr = 1 + 0,033 \cos\left(\frac{DOA \cdot 2\pi}{365}\right)$$

Tabela 3. Irradiância solar média no topo da atmosfera para o TM – Landsat 5.

<i>ESUN_i em W/(m².μm)</i>	
Modelo: Chance Spectrum CHKUR	
Banda	Landsat 5
1	1957
2	1826
3	1554
4	1036
5	215,0
7	80,67

Fonte: Chander e Markham, (2003).

3.5.1 Cálculo do albedo da superfície

O albedo foi calculado a partir da integração das reflectâncias das bandas utilizando uma função de ponderação. O que diferencia o albedo do topo em relação ao da superfície é a utilização do tipo de reflectância correspondente a cada um deles. Para o caso do Landsat 5 - TM calcula-se o albedo do topo da atmosfera (α_{toa}) inicialmente, pois suas bandas não possuem nenhum tipo de correção atmosférica.

$$\alpha_{toa} = \sum_{i=1}^n [\rho_{\lambda i} W_i]$$

com W_i = coeficiente de ponderação (Tabela 4), que representa a fração da radiação solar que ocorre na faixa espectral de cada banda.

Tabela 4. Constante W_i para o TM – Landsat 5 (TASUMI et al. 2008) .

W_i	Banda 1	Banda 2	Banda 3	Banda 4	Banda 5	Banda 6	Banda 7
<i>Landsat 5</i>	0,254	0,149	0,147	0,311	0,103	-	0,036

Fonte: Silva et al. (2016).

O albedo da superfície para o Landsat 5 - TM pode ser obtido a partir de uma correção do α_{toa} utilizando um método de correção atmosférica tal qual:

$$\alpha = \frac{\alpha_{toa} - A}{B}$$

Nesta correção, A e B são coeficientes obtidos por regressão linear quando se conhece o albedo de dois ou mais pontos da superfície. Bastiaanssen et al. (1998) assumem os valores de A como sendo o albedo da atmosfera, que varia de 0,025 a 0,04, e B como sendo o quadrado da transmissividade atmosférica (τ_{sw}). Bastiaanssen (2000) recomenda o valor de 0,03 para A .

A transmissividade τ_{sw} pode ser calculada de forma simples com auxílio do modelo de elevação digital (DEM – *Digital Elevation Model*) pela equação (ALLEN et al. 1998):

$$\tau_{sw} = 0,75 + 2 \cdot 10^{-5}z$$

3.5.2 Obtenção dos índices NDVI e TGSi

O NDVI é dado por uma relação entre a reflectividade das bandas do vermelho (*RED*) e do infravermelho próximo (*NIR – Near Infrared*) tal qual:

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}$$

Para o TM – Landsat 5 as bandas *RED* e *NIR* correspondem às bandas 3 e 4, respectivamente. O TGSi é calculado por uma relação entre as bandas do azul (*BLUE*), do verde (*GREEN*) e do vermelho (*RED*) tal qual:

$$TGSi = \frac{RED - BLUE}{RED + BLUE + GREEN}$$

Para o TM – Landsat 5 as bandas *RED*, *GREEN* e *BLUE* correspondem às bandas 3, 2 e 1, respectivamente.

3.6 Classificação do NDVI

O NDVI obtido por meio do processamento das imagens de satélite foi submetido a um processo de classificação baseado no método proposto por Chaves et al. (2008). O trabalho apresenta uma classificação morfo-estrutural que permite avaliar e descrever a vegetação da caatinga, que é predominante na região de estudo. Foram utilizados critérios de classificação similares aos do estudo apresentado em Chaves et al., (2013), para a região de Taperoá – PB. As Tabelas 5 e 6 apresentam as classificações adaptadas para os períodos úmido e seco e seus respectivos valores médios de albedo e TGSI, encontrados para o período de estudo.

Tabela 5. Descrição das classes de NDVI para a caatinga (período seco) e seus respectivos valores médios de albedo e TGSI.

Classes	NDVI	Albedo	TGSI
1. Água	< 0	0,15	-0,06
2. Solo Exposto	0 – 0,15	0,23	0,09
3. Caatinga Sub-Arbustiva	0,15 – 0,20	0,21	0,07
4. Caatinga Arbustiva	0,20 – 0,25	0,19	0,04
5. Caatinga Sub-Árborea	0,25 – 0,30	0,17	0,01
6. Caatinga Árborea	> 0,30	0,17	-0,01

Tabela 6. Descrição das classes de NDVI para a caatinga (período úmido) e seus respectivos valores médios de albedo e TGSI.

Classes	NDVI	Albedo	TGSI
1. Água	< 0	0,06	-0,15
2. Solo Exposto	0 – 0,30	0,18	0,04
3. Caatinga Sub-Arbustiva	0,30 – 0,40	0,16	0,01
4. Caatinga Arbustiva	0,40 – 0,50	0,14	-0,05
5. Caatinga Sub-Árborea	0,50 – 0,60	0,13	-0,09
6. Caatinga Árborea	> 0,60	0,12	-0,14

3.7 Metodologia de avaliação do risco de desertificação

O risco de desertificação dos municípios da área de estudo foi classificado em cinco níveis: sem risco, risco baixo, risco médio, risco alto e risco severo, de acordo com a metodologia proposta por Lamchin et al. (2016).

Segundo Xu et al. (2009), a árvore de decisões (AD) é uma das ferramentas mais eficaz para aproximação da classificação. A mesma apresenta várias regras em forma de uma estrutura hierárquica que divide os dados em classes homogêneas baseados num critério de seleção predefinido.

Para a construção da AD procedeu-se a análise dos valores de albedo e TGSi associados a cada classe de NDVI descrita nas Tabelas 5 e 6. Os dados mais frequentes dessas variáveis, representados por sua média em cada classe de vegetação, permitiram a construção de um padrão de classificação do risco de desertificação para os períodos úmido e seco.

Nas Figuras 2 e 3 são apresentadas as árvores de decisões para os períodos úmido e seco com base nos dados de NDVI, α e TGSi obtidos para o período de 1989 a 2010. As respectivas grades de risco ao processo de desertificação também são apresentadas.

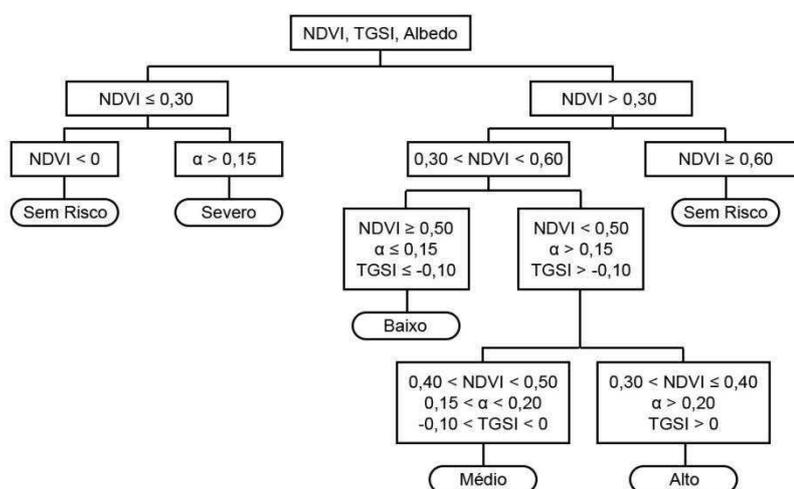


Figura 2. Diagrama para avaliação e classificação das grades de desertificação usando NDVI, albedo e TGSi para o período úmido.

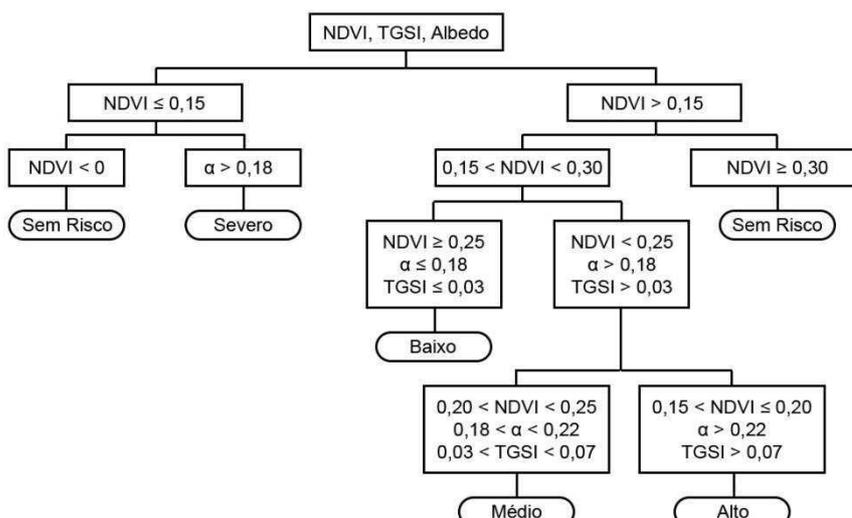


Figura 3. Diagrama para avaliação e classificação das grades de desertificação usando NDVI, albedo e TGSi para o período seco.

Para validar os resultados obtidos pelo TGSi, foram realizadas amostragem de solos para análises físicas no Laboratório de Irrigação e Salinidade do CTRN (Centro Tecnológico

de Recursos Naturais) da UFCG (Universidade Federal de Campina Grande) campus I Campina Grande. Para as análises foram obtidos valores de percentagens para areia, silte e argila. Foram coletados 40 amostras de solos, com profundidade de 20 cm. Para coleta das amostras utilizou-se a metodologia preconizada pela EMBRAPA (1997). Essas amostras foram coletadas contemplando os solos da classe Luvisolo Crômico, Vertissolo e Neossolos Litólico.

3.8 Metodologia para a obtenção do Índice de aridez (I_a)

O cálculo do Índice de aridez (I_a) foi baseado no Balanço Hídrico proposto por Thornthwite e Mather (1955), através da equação:

$$I_a = 100 \left(\frac{D_A}{ETo_A} \right)$$

Em que: D_A é o déficit hídrico anual e o ETo_A é a evapotranspiração anual. De posse dos Índices de aridez foi elaborada uma classificação do grau de risco à desertificação, Tabela 7.

Tabela 7. Níveis de risco á desertificação.

Índice de aridez (I_a)	Estado da aridez	Risco á desertificação
Menor que 0,07	Úmido	Muito baixo
0,07 a 30	Subúmido	Baixo
31 a 60	Semiárido	Moderado
61 a 85	Árido	Alto
Maior que 85	Hiper árido	Muito alto

Fonte: Adaptado de Almeida e Marinho (2014).

3.8.1 O cálculo da erosividade da chuva

A mensuração dos processos erosivos teve como suporte o cálculo da perda de solo por erosão, com base na EUPS proposta por

$$A = R * K * L * S * C * P$$

Em que:

A= perda de solo por erosão (ton/ha/ano);

R= erosividade da chuva;

K = erodibilidade do solo;

L = fator comprimento do declive;

S = fator grau de declividade a topografia;

C = fator uso e manejo;

P = fator prática conservacionista.

No presente trabalho foi calculado o índice médio mensal de erosão (EI_{30}), que corresponde ao coeficiente de chuva (Rc) ou erosividade da chuva como indicativo do fator R da EUPS, utilizou-se os postos pluviométricos de Cabaceiras e Barra de São Miguel.

A erosividade da chuva foi estimada a partir das análises de chuvas individuais entre os anos de 1994 e 2014. A precipitação foi dividida por sua duração e assim obteve-se a intensidade, dada em mm h^{-1} , conforme Foster et al. (1981). Para determinar o índice de erosividade (EI_{30}), multiplicou-se os dois parâmetros específicos das precipitações erosivas: energia cinética total da chuva (E_c), em $\text{MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$ e intensidade máxima em 30 min (I_{30}), em mm h^{-1} . De acordo com Wischmeier e Smith (1978) também foi considerada a equação:

$$E_c = 0,119 + 0,0873 \log I$$

Em que:

E_c - energia cinética em $\text{MJ ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$;

I - intensidade de chuva em mm hora^{-1} .

A energia cinética por incremento de chuva foi determinada através da equação:

$$E_{ci} = E_{ct} \cdot Vol$$

Em que:

Vol - quantidade de chuva do incremento (lâmina precipitada), mm;

E_{ct} - energia cinética por milímetro de chuva, $\text{MJ ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$.

A energia cinética total foi obtida pelo somatório da energia de cada incremento:

$$E_{ct} = \sum E_{ci}$$

Logo, o EI_{30} foi calculado pela equação:

$$EI_{30} = Ect \cdot I_{30}$$

Em que:

EI_{30} - índice de erosão, $MJ \text{ ha}^{-1} \text{ mm}^{-1} \text{ hora}^{-1}$;

E_c - energia cinética por milímetro de chuva, $MJ \text{ ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$;

I_{30} - intensidade máxima da chuva em 30 min $\text{mm}^{-1} \text{ hora}^{-1}$.

Foram consideradas todas as chuvas com intensidade superior a 10 mm, calculou-se a energia cinética, duração e intensidade máxima em 30 min dessas chuvas. Para cada precipitação foi calculado o índice EI_{30} em $MJ \text{ ha}^{-1} \text{ mm}^{-1} \text{ hora}^{-1}$. Somou-se os índices EI_{30} de todas as chuvas individuais e erosivas de cada mês para obter a erosividade mensal das chuvas ou parâmetros (R) para os municípios estudados. O coeficiente de chuva ou índice médio mensal de erosão (R_c) foi calculado pelo método proposto por Lombardi Neto (1977), dado pela equação:

$$R_c = \frac{Pm^2}{Pa}$$

Em que:

R_c - coeficiente de chuva (mm);

P_m - precipitação média mensal (mm);

P_a - precipitação média anual.

E por fim, a relação direta entre o coeficiente de chuva ($R_c = Pm^2/Pa$) e o índice de erosividade (EI_{30}) possibilitou a determinação do potencial erosivo da chuva em Cabaceiras e Barra de São Miguel. O potencial erosivo da chuva foi classificado a partir das Tabelas 8 e 9.

Tabela 8. Classes de interpretação para índice de erosividade

Intervalo ($\text{tm mm há}^{-1} \text{ ano}^{-1}$)	Classes de erosividade
$I_e < 250$	Fraca
$250 < I_e < 500$	Média
$500 < I_e < 750$	Média a Forte
$750 < I_e < 1000$	Forte
$I_e > 1000$	Muito Forte

Fonte: Carvalho, 1994

Tabela 9. Classificação do potencial erosivo anual da chuva

Erosividade de ($MJ \text{ mm (ha h)}^{-1}$)	Classe de erosividade
$R \leq 2452$	Fraca
$2452 < R \leq 4905$	Moderada
$4905 < R \leq 7357$	Moderada a Forte
$7357 < R \leq 9810$	Forte
$R > 9810$	Muito forte

Fonte: Carvalho, 2008

Para converter um valor de erosividade fornecido no sistema métrico ($\text{tm mm ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) para o sistema internacional ($MJ \text{ mm há}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$), multiplica-se o valor por 9,81 e para

converter um valor do sistema internacional para o sistema métrico, divide-se por 9,81, conforme indicado por Foster et al. (1981).

3.9 Análise do risco a erosão

Os valores de riscos foram atribuídos através da metodologia de Crepani (2001) com um pequeno ajuste. Neste trabalho optou-se pela palavra "Risco" por apresentar um termo mais adequado, já que o termo vulnerabilidade está mais associado aos seres vivos que ficam vulneráveis diante de um risco. Portanto, a Tabela 10 apresenta as classes e seus respectivos valores de risco.

Tabela 10. Categorias de risco à erosão

Intervalo entre as classes	Grau de Risco
1	Sem Risco
1 < 1,4	Risco Muito Baixo
1,41 < 1,7	Risco Baixo
1,71 < 2,3	Risco Médio
2,31 < 2,7	Risco Alto
2,71 < 3,0	Risco Severo

Fonte: Adaptado de Crepani et al, 2001, Ribeiro; Campos, 2007 e Huang et al. 2016

Para a realização da análise do risco à erosão na área de estudo, foi aplicada a metodologia de Crepani et al. (2001) que é fundamentada no conceito de Tricart (1977). Este conceito compreende a dinâmica dos ambientes através de um balanço entre os processos pedogênese e morfogênese. Portanto, estes processos apresentam critérios para a atribuição de valores de risco para as unidades territoriais, cujos os temas são: Geologia, Geomorfologia, Pedologia, Vegetação e Clima. As informações geológicas dos municípios de Cabaceiras e Barra de São Miguel foram extraídas do mapa geológico do Estado da Paraíba elaborado pelo CPRM (Serviço Geológico da Paraíba) na escala de 1:5000.000. As informações pedológicas foram obtidas através da vetorização do mapa de solos elaborados pela SUDENE (Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste) e EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária) na escala 1:400.000. Para a classificação do relevo foram considerados como descritores: a altitude do terreno, a amplitude do relevo e a declividade. Estas variáveis foram obtidas a partir de processamentos dos dados do Topodata (Valeriano, 2008), realizados no software ArcGis 9.3.

Para a análise da distribuição da precipitação foram utilizados as médias de chuvas fornecidas pela AESA (Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba. O

diagnóstico da cobertura vegetal foi realizado através do NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) médio das imagens do satélite Landsat 5 TM entre os anos de 1989 a 2010 para os períodos úmido e seco. Após a confecção dos mapeamentos, foi realizado o processamento destes no ArcGis 9.3, no qual os dados *shapfile* foram transformados para o formato *Raster* (Solos, Geologia e distribuição e intensidade das chuvas). Após a conversão foram atribuídos pesos para o risco à erosão através das tabelas propostas por Crepani et al., (2001), os pesos variam de 1,0 a 3,0, sendo 1 para os atributos considerados sem risco a risco baixo, onde predomina a pedogênese, 2 para o intermediário e 3 para os riscos severo com predominância de morfogênese.

A partir do mapeamento dos atributos (Figura 4): Vegetação, Declividade, Geologia, Pedologia e Pluviosidade para os municípios de Cabaceiras e Barra de São Miguel-PB, foram atribuídos valores de risco a erosão para cada variável para se obter o mapa de risco da área estudada.

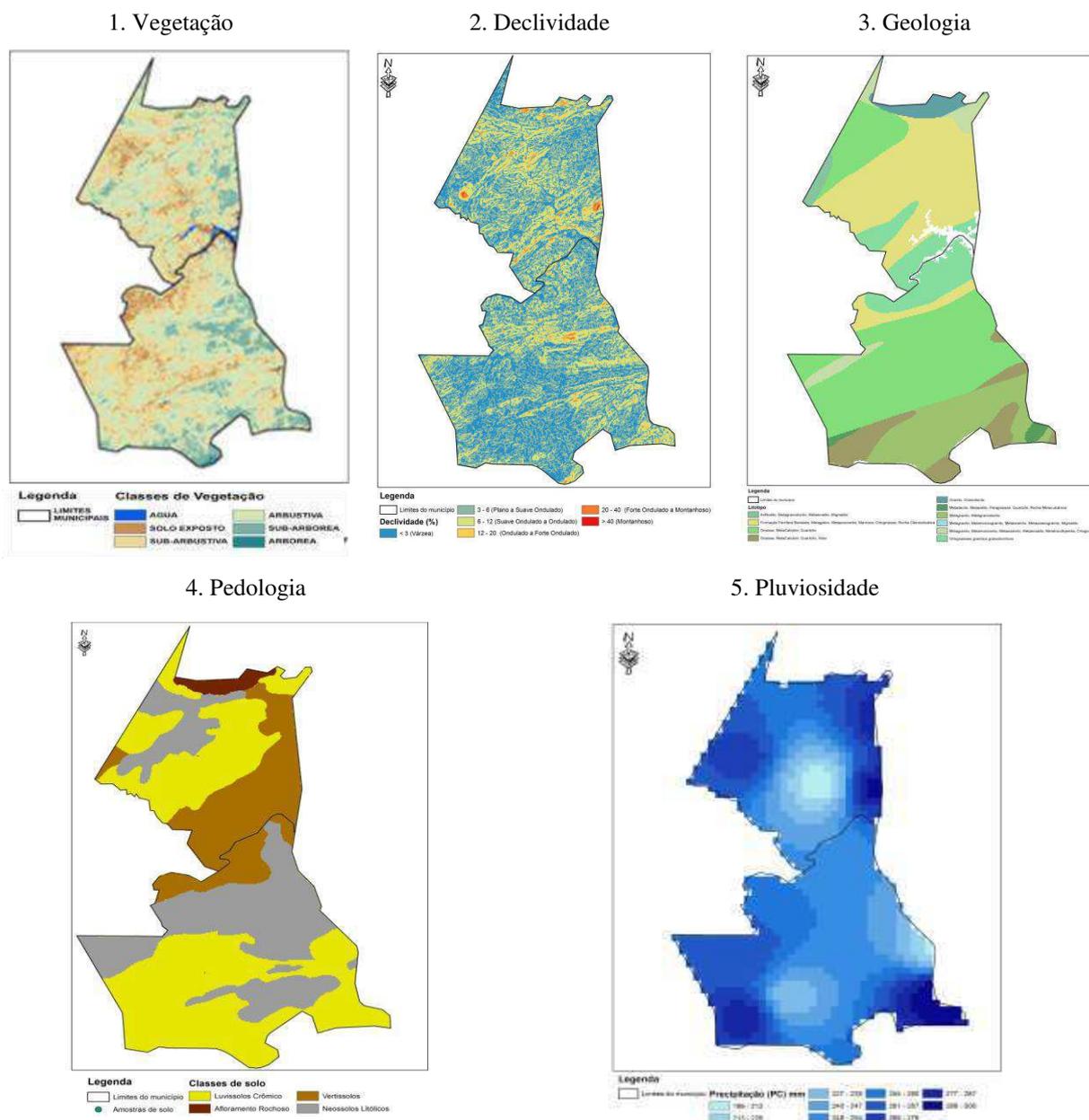


Figura 4. 1. Mapeamento da Vegetação a partir do NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*), 2. Mapeamento da Declividade, 3. Mapeamento da Geologia, 4. Mapeamento da Pedologia e 5. Mapeamento da distribuição hídrica dos municípios de Cabaceiras e Barra de São Miguel-PB.

O mapa de risco à erosão foi gerado após a álgebra de mapas das grades de vulnerabilidade à erosão para os temas supracitados e esta álgebra consistiu na média simples dos cinco mapas através da calculadora *raster* conforme a equação:

$$R = \frac{G + D + S + V + C}{5}$$

Em que:

R = Risco, G = Risco ao tema Geologia, D = Risco ao tema Declividade, S = Risco ao tema Solo, V = Risco ao tema Vegetação e C = Risco ao tema Clima. Na Figura 5 está representado o fluxograma do cálculo do risco.

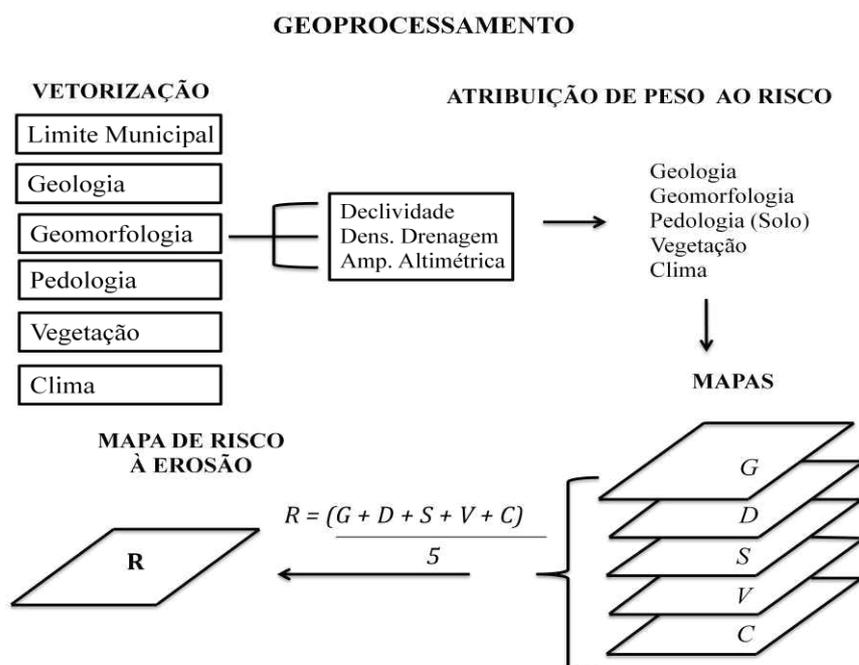


Figura 5. Fluxograma do cálculo do risco
Fonte: Adaptado de Armessen (s.d)

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 O quadro socioeconômico

A pobreza pode ser considerada um fenômeno social. O seu conceito está agregado ao sofrimento de uma sociedade desprovida de recursos financeiros que impedem sua dignidade. Em geral, as definições de pobreza utilizadas em estudos tanto nacionais como internacionais se baseiam na capacidade que um indivíduo tem em adquirir bens e serviços e desse cálculo tem-se a linha de pobreza. O Banco Mundial define a linha de pobreza como sendo uma renda menor que U\$ 1,00/dia por pessoa. O Brasil tem-se como base o valor de meio salário mínimo de renda per capita como medida de pobreza (LOUREIRO, SULIANO, 2009), o que equivale em valores atuais a cerca de R\$ 1,20/dia.

4.1.1 indicadores de vulnerabilidade à desertificação e à seca

Na Paraíba, segundo o Atlas de Desenvolvimento Humano (2013), o percentual de pessoas pobres caiu 39,4% nas duas últimas décadas. O número de pessoas pobres em 1991 representava 68,29% da população e passou para 28,93% em 2010 (Tabela 11).

Tabela 11. Percentual de pessoas pobres e vulneráveis na Paraíba 1991-2000-2010.

Ano	Extremamente pobre	Pobre	Vulneráveis a pobreza
1991	41,18%	68,29%	84,68%
2000	25,17%	49,61%	72,39%
2010	13,39%	28,93%	53,65%

Fonte: Atlas de Desenvolvimento Humano (2013).

Na Paraíba a população em situação de extrema pobreza, pessoas que vivem com menos de U\$ 1,00/dia (conforme o Banco Mundial e no caso do Brasil menos que meio salário mínimo), despencou de 41,18% em 1991 para 13,4% em 2010. Mesmo com algum avanço, o estado ainda continua tendo a sétima pior renda per capita do Brasil (R\$ 682,00), estando apenas na frente dos estados do Acre, Alagoas, Ceará, Pará, Piauí e Maranhão. Estes compõem as piores rendas per capitas do país registradas pelo IBGE em 2014, sendo a maior renda a do Distrito Federal, com R\$ 2.055,00. Assim, o percentual de pessoas vulneráveis à pobreza na Paraíba ainda continua muito alto.

Os municípios de Cabaceiras e Barra de São Miguel não fogem à regra quanto à pobreza geralmente atribuída para toda região semiárida. Os percentuais de pessoas pobres

para os dois municípios caíram 38,11% e 38,37%, respectivamente, e mesmo assim, ainda continuam elevados, com a maioria da população dos municípios apresentando-se vulnerável à pobreza (Tabela 12).

Tabela 12. Percentual de pessoas pobres e vulneráveis à pobreza 1991-2000-2010.

Ano	Cabaceiras			Barra de S. Miguel		
	Pobres	Vulneráveis à pobreza	Extremamente pobres	Pobres	Vulneráveis à pobreza	Extremamente pobres
1991	72,43%	88%	48,39%	70,14%	89%	32,12%
2000	56,32%	79,37%	23,00%	61,51%	84%	31,21%
2010	34,32%	59,72%	15,73%	31,77%	57%	13,83%

Fonte: Atlas de Desenvolvimento Humano (2013).

Diante do que foi exposto, e de acordo com os resultados do IBGE (2010), apesar das tendências de redução observada nos últimos anos a desigualdade de renda ainda é acentuada. Outro indicador preocupante é a escolaridade, pois o percentual de pessoas com mais de 18 anos sem o ensino fundamental completo em tais municípios é muito elevado. Entretanto, estes percentuais estão diminuindo (Tabela 13).

Tabela 13. Percentual de pessoas acima de 18 anos sem ensino fundamental completo

Ano	Cabaceiras	Barra de São Miguel
2000	74%	79%
2010	62%	73%

Fonte: Atlas de Desenvolvimento Humano (2013).

Em termos quantitativos, no que concerne à educação, os municípios obtiveram uma evolução significativa nos últimos 20 anos. No município de Cabaceiras a quantidade de crianças em idade escolar entre 5 e 6 anos, apenas 46,54% frequentavam a escola em 1991; enquanto em 2000 já alcançava 92,1% e em 2010, todas as crianças nessa faixa etária estavam na escola. O número de jovens nos anos finais, com ensino fundamental e médio aumentou consideravelmente, mas está longe do que poderia ser o ideal para o desenvolvimento dos municípios (Figura 6 'A' e 'B').

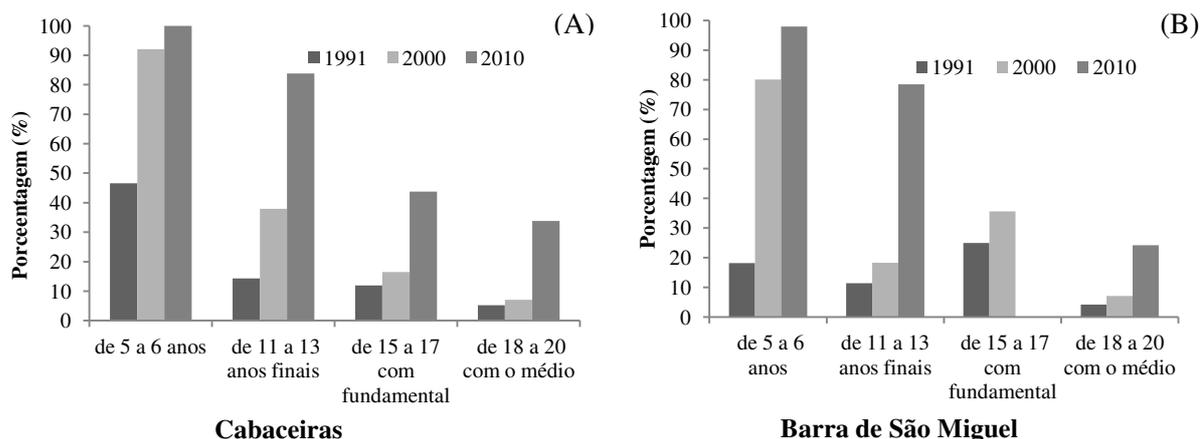


Figura 6- Fluxo Escolar por Faixa Etária em Cabaceiras e Barra de São Miguel-PB.
Fonte: PNUD e IPEA (2010).

Uma das condicionalidades para a frequência e permanência das crianças e adolescentes na escola é a garantia do Programa Bolsa Família. Este foi criado em 2003, no governo do Presidente Luiz Inácio Lula da Silva, com a fusão de quatro programas sociais federais já existentes (Bolsa Escola, Fome Zero, Bolsa Alimentação e Vale Gás) criados a partir de 1998, durante o governo do Presidente Fernando Henrique Cardoso. O Bolsa Escola era um subsídio de renda mínima relacionada à educação primária, enquanto o Fome Zero, a Bolsa Alimentação e o Vale Gás eram destinados à subsistência das famílias. Desde então, até o final de 2006, o Bolsa Família foi ampliado para incluir 11 milhões de domicílios (SOARES et al. 2010). Considerando cada domicílio com cinco pessoas, esse número pode atingir 55 milhões de beneficiários, o que corresponde a 28,2% da população brasileira, atualmente.

A educação é primordial para o desenvolvimento de uma sociedade. Falta em todo país um investimento adequado e planejado, principalmente na educação básica, pois é o alicerce do desenvolvimento social, econômico e ambiental. Embora os índices educacionais venham crescendo nos últimos anos no Brasil, ainda estão muito tímidos em relação aos países desenvolvidos. As regiões Norte e Nordeste têm os piores índices de desenvolvimento educacional do país e, conforme o Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento - PNUD (2010), a Paraíba ocupa a 24^a posição no ranking nacional, na frente apenas do Piauí, Pará e Alagoas.

Para os municípios pesquisados, os dados do Índice de Desenvolvimento da Educação Básica - IDEB (anos iniciais e anos finais do ensino fundamental) entre os anos de 2005 a 2013 obtiveram crescimento significativos na qualidade de ensino. Em Cabaceiras a média

obtida em 2005 pelos alunos das séries iniciais foi de 2,6 e passou para 5,6 em 2013, bem acima da média nacional para os municípios que é de 4,9 para as séries iniciais. Quanto ao município de Barra de São Miguel ficou um pouco abaixo da média nacional, com nota 4,8 em 2013. Para os anos finais do ensino fundamental, tanto Cabaceiras como Barra de São Miguel ficaram bem acima da média nacional para os municípios que é de 3,8. Pode ser percebido que nos dois municípios há uma evolução na qualidade de ensino, de acordo com o IDEB (Tabela 14).

Tabela 14. Índice de Desenvolvimento da Educação de Cabaceiras e Barra de São Miguel 2005- 2013.

Municípios	2005		2007		2009		2011		2013	
	5º Ano	9º Ano								
Cabaceiras	2,6	2,7	3,4	3,6	4,9	3,9	5,4	4	5,6	4,8
B. de S.Miguel	2,5	2,8	4,4	3,4	3	2,8	4,8	3,9	4,8	4,9

Fonte: IDEB/INEP, (2015).

A Educação é um indicador de escolaridade da população adulta, 18 anos ou mais com ensino fundamental completo, que compõe o IDHM. Esse indicador carrega o peso das gerações mais antigas de menor escolaridade. De acordo com o Atlas de Desenvolvimento Humano (2013), entre os anos de 2000 e 2010 esse percentual passou de 18,33% para 33,59% no município de Cabaceiras, e em Barra de S. Miguel passou de 17,73% para 24,49%, enquanto no Estado da Paraíba passou de 39,76% para 54,92%. Em Cabaceiras, em 1991, a população com mais de 25 anos com ensino fundamental incompleto e os analfabetos era de 33,6%; enquanto em Barra de São Miguel era de 48%. Em 2010, esses números passaram para 22,7% e 29,3%, respectivamente (Figura 7 'A' e 'B').

Destaca-se que o percentual de pessoas sem instrução diminuiu, o que é um bom sinal quanto a este indicador. A educação formal é entendida como uma condição necessária para a melhoria do bem estar de uma sociedade. Razão pela qual, é indispensável para a capacitação e o aprimoramento da mão de obra demandada por um mercado cada vez mais competitivo e exigente. A educação pode ser entendida como um dos fatores que fortalece as relações sociais como também a construção da cidadania (CORRÊA, 2014). No entanto, os municípios de Cabaceiras e Barra de São Miguel estão distante de um futuro promissor. O percentual de pessoas com o ensino superior completo é insignificante apesar dos incentivos do governo.

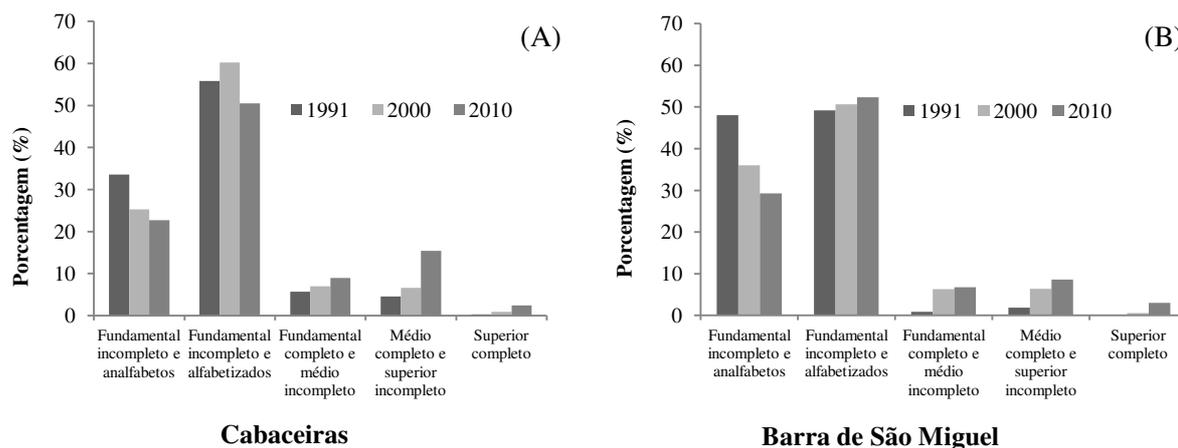


Figura 7. Escolaridade da população adulta de 25 anos ou mais.

Fonte: PNUD e IPEA (2010).

De acordo com os dados do PNUD (2010), os municípios de Cabaceiras e Barra de São Miguel ocupam os piores lugares no ranking nacional do IDHM (Índice de Desenvolvimento Humano Municipal), mesmo tendo evoluído no IDHM nos últimos 20 anos, ou seja, cresceram menos do que os outros municípios brasileiros, (Tabela 15). Em 1991 o município de Cabaceiras ocupava a 3.244^o posição com o índice de 0,352, em 2000 passou a ocupar a 3.636^o com o índice de 0,470 e em 2010 a 3.884^o posição com o índice de 0,611. Como pode ser percebido, Cabaceiras desceu no ranking.

A situação de Barra de São Miguel é bem pior do que a de Cabaceiras, em 1991 ocupava a 5.018^o posição com o índice de 0,247, em 2000 4.290^o com o índice de 0,429 e em 2010 a 4.802^o posição com o índice de 0,572. Quanto ao município de Barra de São Miguel, subiu no ranking em 2000 e voltou a cair em 2010. Os municípios ainda ocupam as piores posições no ranking nacional. Ambos os municípios passaram de baixíssimo para médio desenvolvimento, um pouco abaixo do IDH da Paraíba (0,658) e muito aquém da média nacional (0,744). A dimensão que mais contribuiu para o IDHM dos municípios foi a longevidade seguida de renda. Quanto a dimensão educação, é de baixo desenvolvimento, muito longe do desejado. Pode-se afirmar que Cabaceiras e Barra de São Miguel enfrentam situações preocupantes de vulnerabilidade socioeconômica.

Diante desse contexto, pode-se afirmar que a população em condições vulneráveis à pobreza não reivindica melhores condições de vida, de trabalho, de saúde e entre outros. De acordo com Sampaio (2003), os municípios com baixo IDHM são mais propícios à degradação/desertificação, considerando que a população utiliza mais recursos naturais. A redução da taxa de analfabetismo funcionais e investimento na educação pode indicar o

quanto uma determinada população pode ampliar sua compreensão em relação à prática de conservação e o uso sustentável dos recursos naturais.

Tabela 15. Evolução do IDHM dos municípios de Cabaceiras e Barra de São Miguel – 1991 a 2010.

Ano	IDHM		Renda		Longevidade		Educação	
	Cabaceiras	Barra de S. Miguel	Cabaceiras	Barra de S. Miguel	Cabaceiras	Barra de S. Miguel	Cabaceiras	Barra de S. Miguel
1991	0,352	0,247	0,452	0,458	0,572	0,481	0,168	0,068
2000	0,47	0,429	0,507	0,502	0,684	0,591	0,3	0,266
2010	0,611	0,572	0,574	0,584	0,759	0,728	0,523	0,44

Fonte: PNUD, 2010.

O PIB (Produto Interno Bruto) é a soma dos bens e serviços que um determinado território produz em um período, na agropecuária, indústria e serviços. O PIB *per capita* é o total produzido dividido pela quantidade de habitantes. Ao analisar os dados do PIB (*per capita*) dos municípios percebe-se que houve um decréscimo. Os dados foram observados levando em consideração o salário vigente. O salário mínimo aumentou 411,9% nos anos de 2000 a 2012, enquanto que o PIB *per capita* não acompanhou o crescimento do salário mínimo, seu percentual foi de 327,7%. Para uma melhor compreensão, na Tabela 16, é mostrado o PIB *per capita* e o salário mínimo correspondente para cada ano. Dividiu-se o valor do PIB pelo salário mínimo, obtendo o valor que corresponde a quantidade de salários. Dessa forma, tem-se uma ideia geral quanto à evolução do PIB.

Tabela 16. PIB *Per capita* de Cabaceiras e Barra de São Miguel-PB – 200 a 2012.

Ano	Valor salário mínimo vigente R\$	PIB Per Capita			Qtd. de Salário Mínimo		
		Cabaceiras	Barra de S. Miguel	Paraíba	Cabaceiras	Barra de S. Miguel	Paraíba
2000	151	1.737,03	1.587,75	2.711,39	11,5	10,5	17,9
2001	180	1.911,03	1.903,91	3.127,70	10,6	10,6	17,4
2002	200	2.149,96	2.107,32	3.557,66	10,7	10,5	17,8
2003	240	2.691,75	2.729,56	4.023,70	11,2	11,4	16,8
2004	260	2.886,87	2.613,52	4.241,02	11,1	10,1	16,3
2005	300	3.185,50	2.905,07	4.691,14	10,6	9,7	15,16
2006	350	3.644,73	2.982,00	5.506,55	10,4	8,5	15,7
2007	380	4.197,45	3.104,61	6.082,37	11	8,2	16
2008	415	4.176,28	3.933,52	6.865,98	10	9,5	16,5
2009	465	4.662,40	4.583,14	7.617,76	10	9,8	16,4
2010	510	4.983,91	4.765,10	8.481,83	9,7	9,3	16,63
2011	540	5.464,33	5.226,70	9.348,69	10	9,7	17,3
2012	622	5.692,26	5.494,92	10.151,88	9,2	8,8	16,3

Fonte: IBGE, adaptado, 2015.

De acordo com os dados do IBGE supracitados, os municípios estão bem abaixo da média paraibana. Somente a capital João Pessoa e os municípios de Campina Grande e Cabedelo são responsáveis por gerar 51% do PIB estadual (IBGE, 2015); ou seja, apenas três municípios do total de 223 existentes no Estado. Na Figura 8, é mostrado a discrepância do PIB *per capita* da Paraíba em relação aos dois municípios estudados.

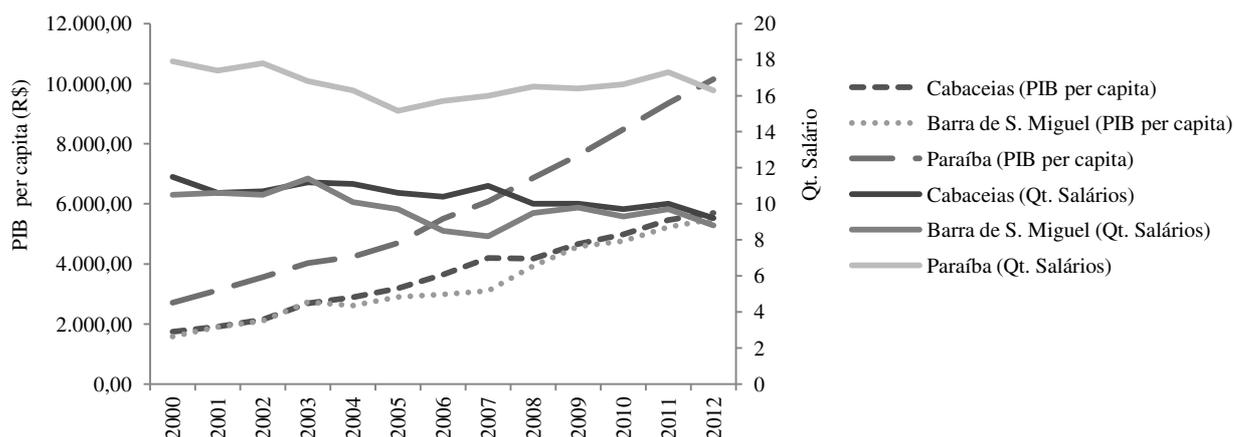


Figura 8. PIB *per capita* correlacionado ao salário mínimo vigente.
Fonte: IBGE, 2015.

Segundo o IBGE (2010), a renda per capita média de Cabaceiras cresceu 112% nas duas últimas décadas, passando do equivalente de R\$ 133,54 em 1991, para R\$ 187,65 em 2000, e para R\$ 283,93 em 2010. Para o IBGE o município obteve um crescimento significativo, mas ao analisar os dados entre 2000 e 2010, relativizando com o salário vigente, percebe-se que houve um decréscimo na renda per capita.

4.1.2 Estrutura Fundiária: terras e seca

Os municípios de Cabaceiras e Barra de São Miguel estão inseridos no Cariri paraibano, uma região caracterizada por grande número de pequenas propriedades que não correspondem a um (1) Módulo Rural. O tamanho do Módulo Rural varia para cada município e depende das condições de produção tais como: disponibilidade de água, solo, infraestrutura, tecnologia, enfim, quanto mais esses recursos estiverem disponíveis, menor é o tamanho da área (INCRA, 2015). Para Cabaceiras e Barra de São Miguel o Módulo Rural corresponde a 60 ha.

Em Cabaceiras, os produtores familiares correspondem a 80,4% do total de estabelecimentos, mas ocupam apenas 20% da área total. O caso de Barra de São Miguel

ainda é mais agravante, pois os produtores correspondem a 70,7% do total de estabelecimentos, mas, ocupam apenas 9% da área total (Tabela 17).

Tabela 17. Concentração das terras de Cabaceiras e Barra de São Miguel - 2006.

Classes de Área (ha)	Cabaceiras			Barra de São Miguel		
	Nº. de Imóveis	Área total (ha)	%	Nº. de Imóveis	Área total (ha)	%
1 a 20	235	1.169	11,84	284	1.668	2,75
20 a 50	162	5.988	15,52	81	2.358	5,3
50 a 100	37	2.529	6,55	62	4.450	10
100 a 200	27	3.828	9,92	32	4.479	10,06
200 a 500	18	5.495	14,24	34	9.969	22,4
500 a 1000	7	4.775	12,34	16	9.683	21,75
Mais de 1000	8	11.805	30,59	7	9.405	21,13
Produtor sem área	122	-	-	138	-	-
Total	494	35.309	-	516	44.512	-

Fonte: Censo Agropecuário - IBGE, 2006.

A Lei 11.326/2006 estabelece diretrizes e critérios para a formulação da política nacional da agricultura familiar. Para que um empreendimento rural se encaixe nas diretrizes da Lei é necessário no mínimo um Módulo Rural e no máximo 4 Módulos. Diante do pressuposto, é percebido que grande parte dos produtores rurais da área estudada sequer possui um módulo Rural (60 ha), o que dificulta o desenvolvimento de uma agricultura familiar sustentável.

4.2 Dimensões econômica e produtiva relacionadas com o clima

A economia dos municípios de Cabaceiras e Barra de São Miguel é baseada, principalmente, na caprinocultura e na agricultura familiar de baixo rendimento. Em períodos de seca, essas atividades se tornam difíceis, causando a falência das lavouras e a morte dos animais. É perceptível a importância da caprinocultura na Região Nordeste do Brasil, a qual detém 91,6% do efetivo nacional (IBGE, 2014). Portanto, esta representa uma atividade econômica de grande representatividade na região. A caprinocultura, geralmente, é considerada uma atividade eficiente para os pequenos agricultores, pois ela pode ser um elemento de erradicação da pobreza. É sabido que a cabra é considerada o "animal dos pobres". O sistema de produção de caprinos tem diversas finalidades, como produção de leite, carne e pele. Além disso, o esterco é de ótima qualidade para o desenvolvimento de plantas (DUBEUF et al. 2014).

Os caprinos são bem adaptados em regiões semiáridas, como ocorrem em Cabaceiras e Barra de São Miguel, e os investimentos para desenvolver sua produção são inferiores ao gado bovino. Nas Figuras 9 e 10, no qual, estão destacados o número de rebanhos efetivos e galináceos para os dois municípios, percebe-se que os rebanhos caprinos e ovinos são mais representativos do que o bovino. Cabaceiras é conhecida nacionalmente pela caprinocultura e pela festa do “Bode Rei”, que atraem muitos turistas e criadores de bodes.

Nas Figuras, também estão apresentadas a relação da pluviosidade com a criação de animais. A caprinocultura se mostrou mais equilibrada em relação aos períodos secos. Ao observar o intervalo de tempo de 40 anos, apenas nos anos de 1993, 1998 e 2012 houve uma redução significativa na criação de caprinos no município de Cabaceiras. Esse fato se deu pela ausência extrema de chuva, aqueles anos foram muito secos com uma precipitação bem abaixo da média (409,46 mm); e para o município de Barra de São Miguel não foi diferente, o desenvolvimento da caprinocultura se mostrou estável em períodos de estiagens. Este fato reforça que os caprinos são adaptados a áreas semiáridas.

A criação de galináceos (frangos, galinhas, pintos e galos) é de grande potencial para os pequenos agricultores por ser de fácil comercialização, de grande aceitação no mercado e adaptável ao clima. A grande maioria dos agricultores cria galinhas de capoeira para a subsistência, como complemento da renda vende os ovos.

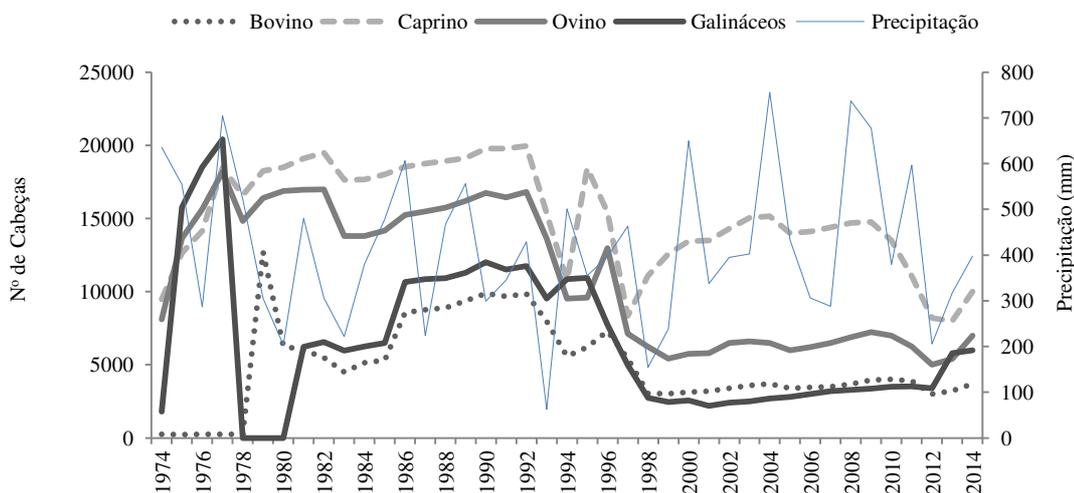


Figura 9. Efetivos dos rebanhos e galináceos de Cabaceiras-PB de 1974 a 2014.

Fonte: IBGE E AESA (2015).

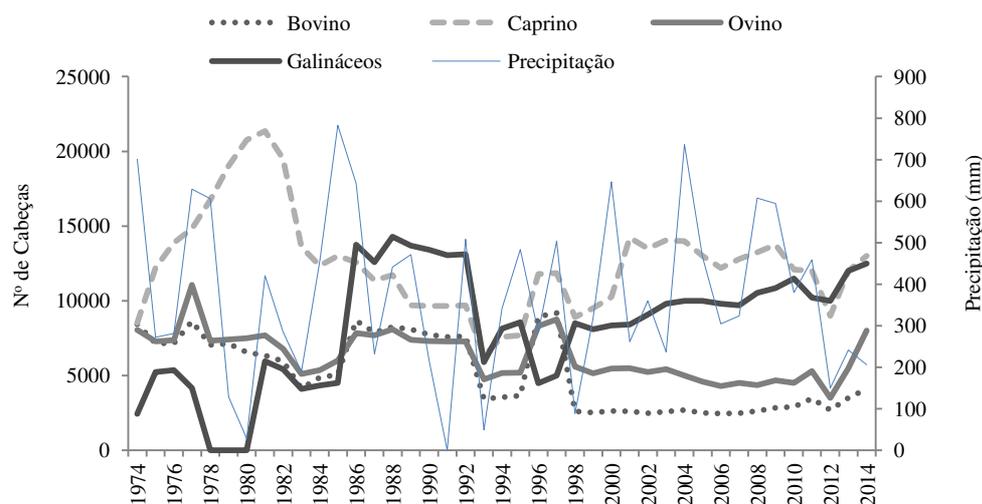


Figura 10. Efetivos dos rebanhos galináceos de Barra de S. Miguel-PB de 1974 a 2014.
Fonte: IBGE E AESA (2015).

De acordo com o Plano Territorial de Desenvolvimento Rural Sustentável (s/d), o Cariri paraibano tem um ótimo potencial para a criação de abelhas devido à disponibilidade da mesma na Caatinga que conta com uma diversidade de flora. Os entraves encontrados para a produção do mel são vários, um deles é a cultura extrativista dos meleiros, que destroem os enxames e as árvores para a extração do mel. O desmatamento que avança a cada ano contribui para o desaparecimento da flora nativa e, conseqüentemente, o desaparecimento das abelhas. Não há incentivo e nem assistência técnica especializada. A produção do mel e o número de apicultores ainda são pouco expressivos.

Na Figura 11, é mostrado o valor da produção e a comparação com o salário vigente de cada ano. Percebe-se que o valor do salário não acompanhou o crescimento do custo da produção. Isto porque o valor da produção dividida pelo valor do salário gerou uma quantidade de salários decrescente a partir de 2002. Fato este, ocorrido devido o progressivo aumento do valor do salário mínimo.

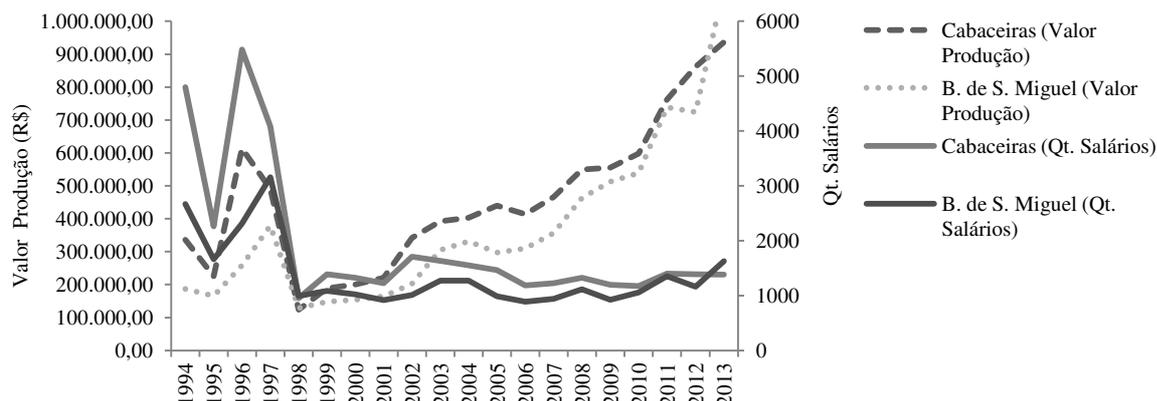


Figura 11. Produção de origem animal Cabaceiras e B. de S. Miguel.

Fonte: IBGE (2015)

Os principais produtos de origem animal da região são: ovos, leite e mel. Quanto à produção de mel, os municípios produziam em média 100 litros/ano, conforme a Figura 12, Barra de São Miguel chegou a produzir mais de mil litros em 1996 e 1997, a partir de 2008 os dados para a produção de mel não foram disponibilizado.

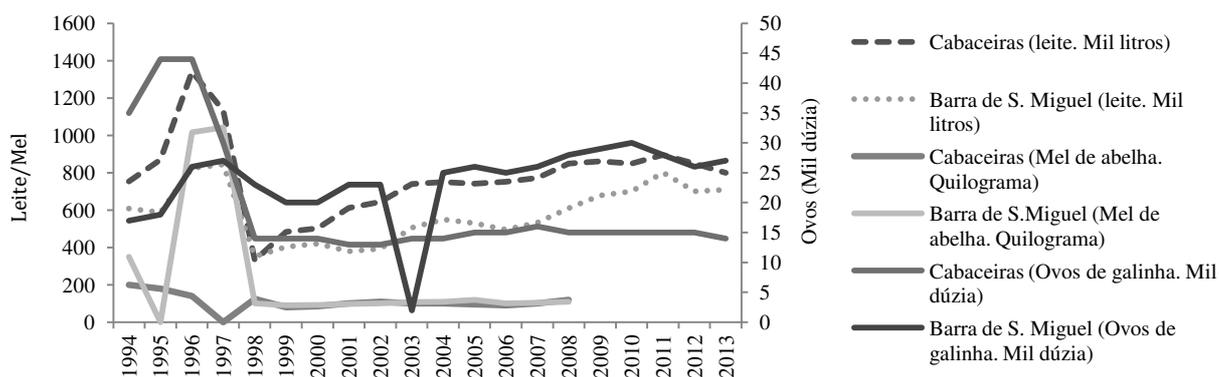


Figura 12. Principais produtos de origem animal.

Fonte: IBGE (2015).

A agricultura familiar no Brasil é responsável por 70% dos alimentos consumidos pela população. As pequenas propriedades agrícolas na região semiárida são consideradas o setor mais vulnerável aos impactos das variações climáticas, à seca. Esses impactos vão desde a redução da produção à emigração de mão de obra devido ao aumento da tensão econômica (BURNEI et al. 2014). Embora a seca venha assolando as atividades agrícolas, esta ainda é a principal atividade da economia local.

Burnei et al. (op. cit.), caracterizam a vulnerabilidade dos pequenos agricultores do semiárido nordestino brasileiro em função de três fatores. Primeiro, pela sensibilidade dos sistemas de produção às variedades climáticas, segundo pelos níveis de pobreza (ou seja, a

falta de capacidade de enfrentamento) e, por fim, a debilidade institucional, levando a uma falta de capacidade de adaptação. Diante disso, percebe-se que os pequenos agricultores necessitam de apoio técnico para o convívio com a estiagem, embora muita coisa esteja sendo feita como, por exemplo, a construção de cisternas, mas não são suficientes. As chuvas que ocorrem no semiárido são irregulares no tempo e no espaço e, muitas vezes, basta a ocorrência de chuva que os gestores distribuem sementes, na maioria das vezes quando a próxima chuva não cai, todo o preparo do solo e plantio são desperdiçados.

A economia agrícola dos municípios pesquisados está baseada na produção de grãos (milho e feijão) e batata-doce de baixo rendimento. São lavouras temporárias que necessitam de chuvas regulares. O feijão e o milho são culturas importantes desenvolvidas no semiárido e são muito exigentes em água. Portanto, possuem riscos elevadíssimos de perdas. O desenvolvimento dessa região é fortemente dependente das precipitações pluviométricas, as suas variações implicam prejuízos socioeconômicos. Desse modo, as atividades agrícolas na região são marcadas pelas incertezas. No entanto, o milho constitui um elemento fundamental na alimentação dos agricultores e animais. Tanto o milho quanto o feijão levam em média 90 dias para ficar no ponto de colheita. Durante esse período é necessário que a terra fique úmida. A quadra mais chuvosa nessa região vai de fevereiro a maio.

Nas Figuras 13 e 14, precisamente em Cabaceiras, percebe-se que no período de 1996 a 1999 a média de chuvas nesses quatro anos foi de 313 mm, e praticamente não houve produção devido à irregularidade das chuvas. Os picos de produção foram mais acentuados nos anos de 1994, 1995, 2000, 2008, 2009 e 2011, esses anos obtiveram uma média pluviométrica de 586,35 mm, bem acima da média climatológica de 409,4 mm (média dos últimos 30 anos de 1984 a 2014), mantendo assim, o favorecimento da agricultura. Enquanto que nos anos de 1998, 1999, 2012 e 2013 a perda foi total para a cultura do milho e do feijão quando a média de precipitação desses anos foi de 228,8 mm, bem abaixo da média climatológica. Para Barra de São Miguel não foi muito diferente.

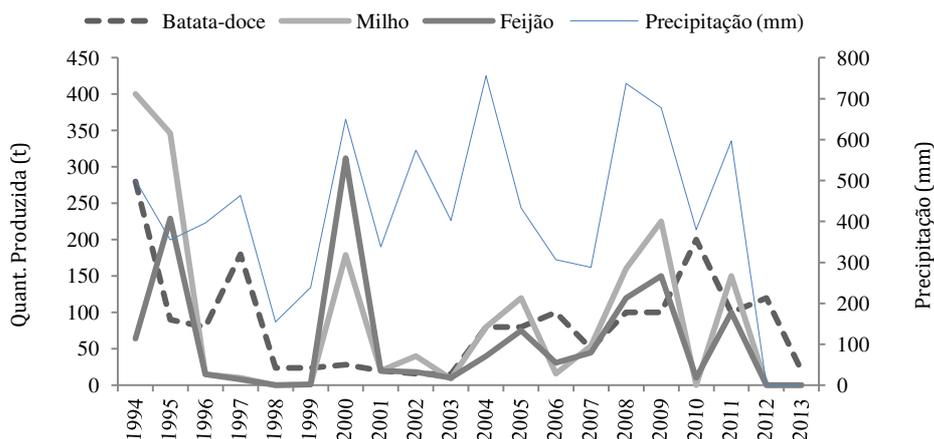


Figura 13. - Quantidade produzida da lavoura temporária de Cabaceiras-PB entre 1994 a 2013.
Fonte: IBGE, adaptado (2015).

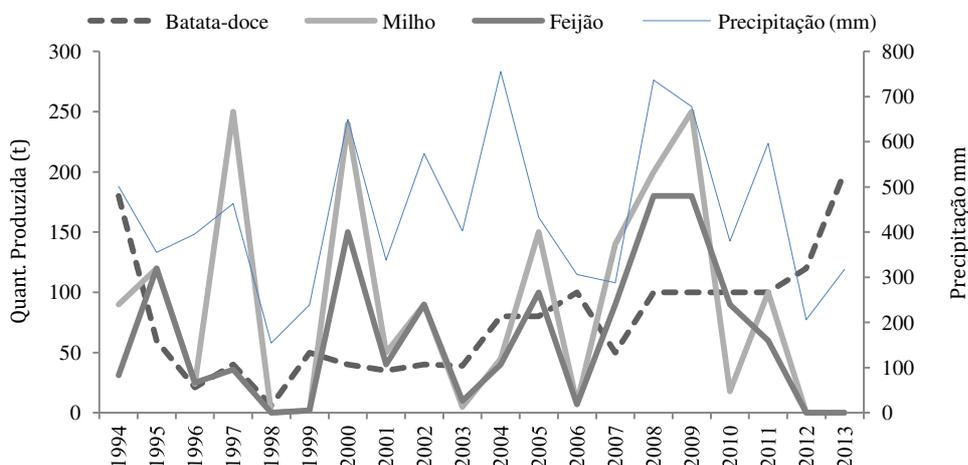


Figura 14. Produção da lavoura temporária e Precipitações em Barra de São Miguel – 1994-2013.
Fonte: IBGE, adaptado (2015).

Os pequenos agricultores enfrentam grandes períodos de estiagens, difícil acesso ao crédito, poucas sementes nativas, atraso das entregas das sementes do governo no período de inverno (fato esse, que pode explicar a baixa produtividade mesmo nos períodos chuvosos), armazenamento dos grãos em garrafas pets (apropriados para o consumo familiar e não para o plantio); falta de planejamento, desorganização da produção, volume de produção insuficiente, desmate e queima de novas áreas, redução da fertilidade em áreas já exploradas, atividades geralmente individualizadas, e a maior parte da produção é comercializada por atravessadores. Enfim, foram elencadas algumas dificuldades que são enfrentadas pelos agricultores que impedem o seu desenvolvimento. Quanto a cultura da batata doce, é uma das mais importantes depois do milho e feijão. A batata doce é uma planta resistente às pragas e

de fácil trato, geralmente são plantadas em lugares próximos a rios e açudes, no caso de Cabaceiras, é comum ver plantios em leito de rio seco, no rio Taperoá (PTDR, s/d).

4.3 Indicadores biofísicos de degradação/desertificação

A Caatinga é um ecossistema dinâmico apresenta grande variação nos índices de vegetação ao longo do ano. A maioria das plantas da caatinga perdem suas folhas e flores para reduzir a perda de água nos períodos de estiagens, renovando-as durante o período chuvoso (LEAL et al. 2005).

4.3.1 Análise do NDVI e albedo (α)

Os municípios de Cabaceiras e Barra de São Miguel fazem parte desse bioma. A variação da vegetação muda consideravelmente de acordo com a quantidade de chuva. Na Figura 15, é mostrado o volume de chuva durante os 30 dias que antecedem à passagem do satélite e, na Figura 16, está apresentado o volume de chuva anual no período estudado.

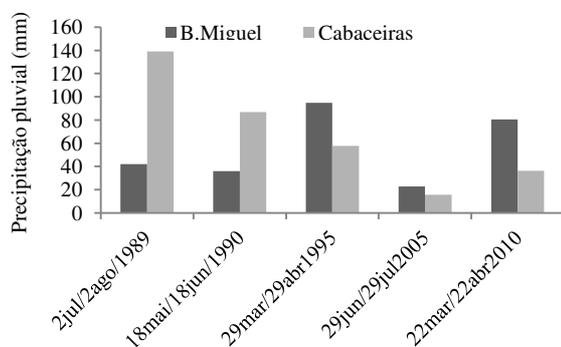


Figura 15. Precipitações de 30 dias antes da passagem do satélite.

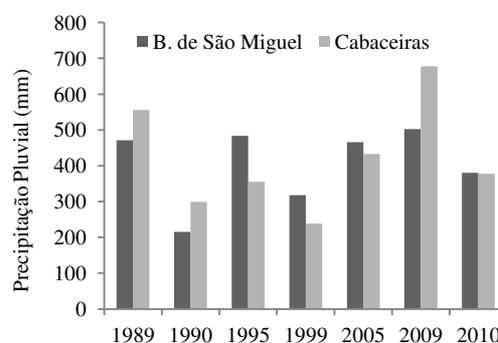
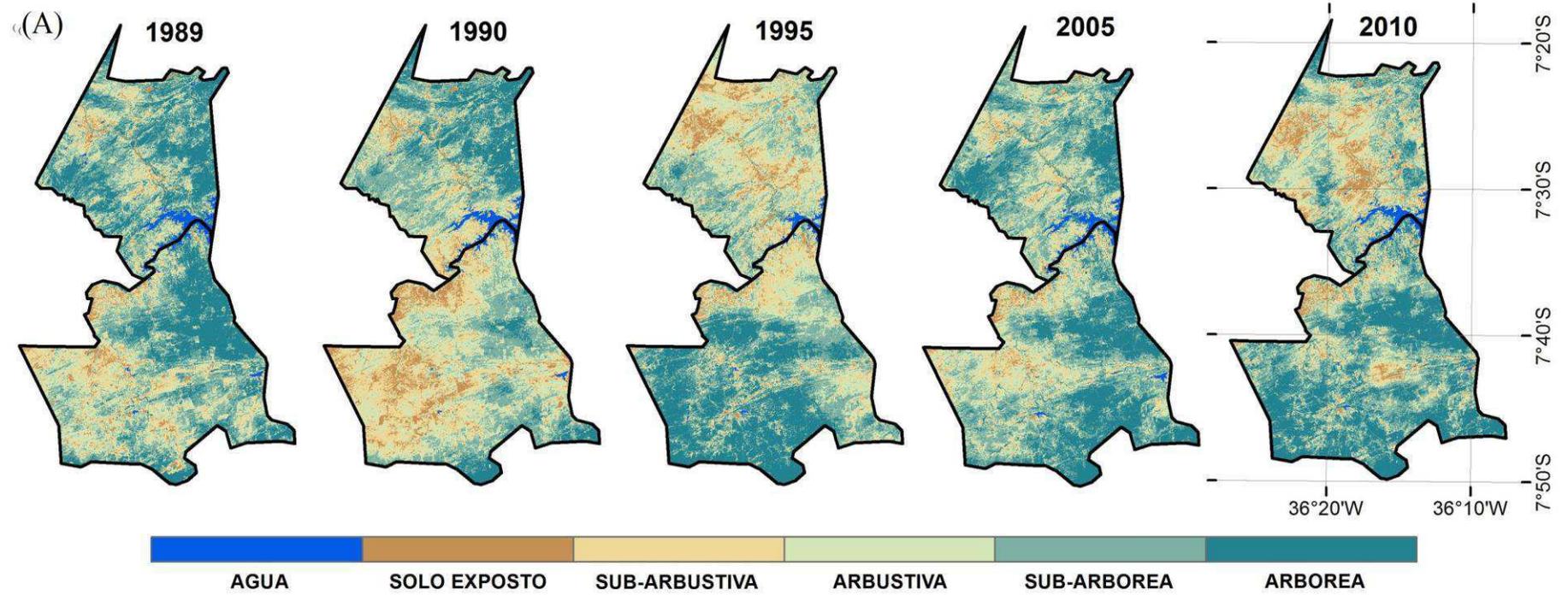


Figura 16. Precipitação pluvial nos municípios de Cabaceiras e Barra de São Miguel

A Figura 17 'A', refere-se à distribuição do NDVI (Cabaceiras ao norte e Barra de São Miguel ao sul da imagem) para os anos de 1989, 1990, 1995, 2005 e 2010 (imagens obtidas durante o período úmido). Os anos de 1989, 1995 (com exceção de Cabaceiras) e 2005 foram os anos que obtiveram precipitações acima da média e os anos de 1990, 1995 (com exceção de Barra de São Miguel) e 2010 tiveram precipitações abaixo da média. Na Figura 17 'B',

estão representadas as imagens para o período seco de 1999 e 2009. É possível identificar nas imagens a resposta rápida do NDVI aos eventos de precipitações.



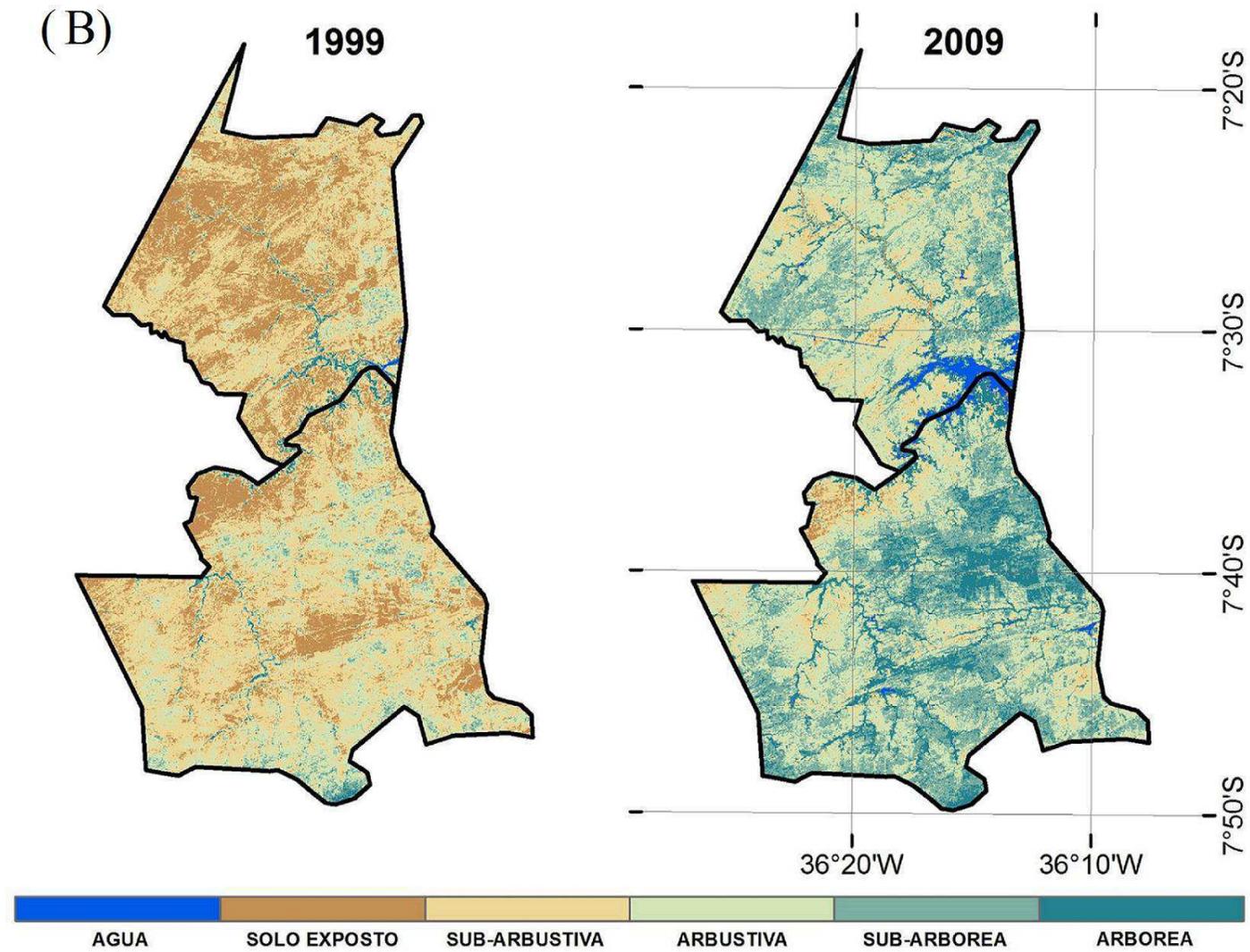


Figura 17. (A) NDVI período úmido, (B) período seco

A escolha das imagens para o período úmido levou em consideração os meses que ocorreram chuvas durante a passagem do satélite, independentemente dos totais das precipitações anuais. No ano de 1990 ocorreu seca intensa para ambos os municípios, os quais apresentaram precipitações abaixo da média climatológica, ou seja, 215,4 mm e 299,1 mm, respectivamente. No entanto, a média do NDVI foi elevada. Isso se deve ao fato de ter ocorrido chuva durante a passagem do satélite, por essa razão a imagem foi classificada para o período úmido. Em relação ao ano de 2009 os municípios apresentaram precipitações acima da média climatológica (isto é, Barra de São Miguel - 502,56 mm e Cabaceiras - 677,8 mm), mas durante o mês em que a imagem foi capturada não houve precipitação, classificando-a para o período seco (Figura 18 'A'). Desta forma os valores de NDVI foram baixos. A explicação está no tipo de vegetação que perdem suas folhas rapidamente. De acordo com Trovão et al. (2007), as plantas da Caatinga apresentam diversas adaptações fisiológicas às condições estressantes. O conhecimento dessas variáveis fisiológicas possibilita o entendimento de como essas espécies conseguem se estabelecer neste ambiente. Infelizmente existem poucos trabalhos envolvendo o comportamento das espécies da Caatinga.

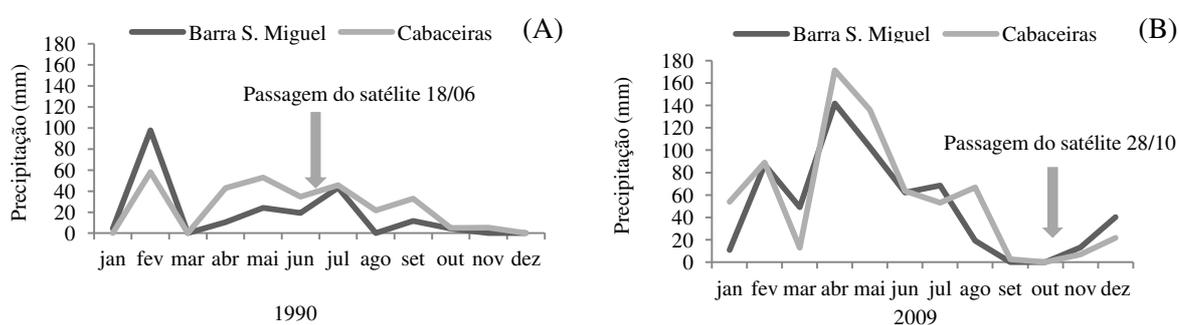


Figura 18. Comportamento das chuvas e a passagem do satélite

Nas Tabelas 18 e 19 estão apresentados os valores do NDVI para o período úmido e seco com seus respectivos anos. Para os valores máximos de $NDVI \geq 0,78$ nos períodos seco pode ser explicado pela presença de algarobas (*Prosopis juliflora*), as quais tem seu sistema radicular profundo conseguindo capturar a água do lençol freático da região. Esta espécie exótica se adaptou as condições de clima semiárido e estão sempre presentes nas planícies aluviais e apresentam alta densidade foliar em qualquer época do ano. Rodrigues et al. (2009) estudaram a região semiárida e encontraram valores próximos a 0,80 de NDVI. É importante destacar que os valores negativos nas tabelas abaixo se referem aos corpos hídricos.

Tabela 18. Dados anuais da série período úmido (NDVI) Barra de São Miguel e Cabaceiras-PB.

Barra de S. Miguel					Cabaceiras				
Ano	Mínimo	Máximo	Média	Desvio	Ano	Mínimo	Máximo	Média	Desvio
1989	-1,76	0,83	0,50	0,15	1989	-1,65	0,82	0,51	0,19
1990	-1,31	0,82	0,43	0,14	1990	-1,65	0,8	0,48	0,19
1995	-1,4	0,83	0,54	0,13	1995	-1,12	0,8	0,42	0,12
2005	-1,65	0,86	0,52	0,14	2005	-1,56	0,85	0,50	0,16
2010	-1,31	0,85	0,55	0,13	2010	-1,50	0,83	0,43	0,16

Tabela 19. Dados anuais da série período seco (NDVI) Barra de São Miguel e Cabaceiras-PB.

Barra de S. Miguel					Cabaceiras				
Ano	Mínimo	Máximo	Média	Desvio	Ano	Mínimo	Máximo	Média	Desvio
1999	-0,24	0,78	0,18	0,04	1999	-0,5	0,79	0,18	0,04
2009	-0,73	0,81	0,25	0,07	2009	-1,13	0,81	0,25	0,07

A média climatológica foi calculada com os dados da AESA, utilizou-se a média anual dos últimos 30 anos; surpreendentemente a média climatológica de Barra de São Miguel (383,27) foi menor do que Cabaceiras (409,45). Em alguns estudos, Cabaceiras é considerado como um dos municípios mais secos do Brasil (REBELLO et al. (2008).

Vários estudos de Barbosa et al. (2006, 2015 e 2016), têm avaliado a variabilidade interanual e as tendências do NDVI em relação aos parâmetros meteorológicos. Eles analisaram os padrões espaço-temporal da dinâmica da vegetação e exploraram as relações entre os dados de chuva mensais e o NDVI obtido através das imagens do NOAA-AVHRR. Chegaram à conclusão que o NDVI é largamente influenciado por anomalias de precipitações relacionadas com ENOS (El Niño - Oscilação Sul). Os anos de El Niño (aquecimento das águas do Oceano Pacífico equatorial, fenômeno que influencia para os anos de seca na Região Nordeste do Brasil) estão associados aos valores de NDVI abaixo da média, enquanto os eventos de La Niña (esfriamento das águas do Oceano Pacífico equatorial) influenciam no aumento do NDVI. O NDVI está bem correlacionado com a chuva, a causa dessa correlação é o fato da vegetação da caatinga responder rapidamente aos eventos de precipitações. De acordo com a Figura 19, os valores de NDVI na Caatinga respondem rápido mesmo quando ocorre pouca quantidade de precipitação.

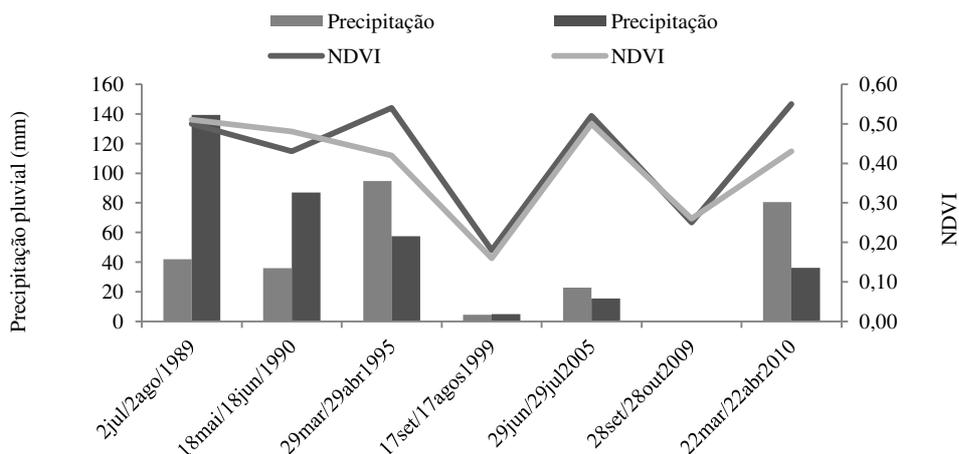


Figura 19. Comportamento médio do NDVI em relação a precipitação pluvial mensal

A dinâmica do uso das terras para o período úmido mostrou que entre 1989 e 2010 houve flutuações nos valores entre as classes (Tabela 20). A classe de Solo Exposto, por exemplo, obteve um forte incremento entre 1989 e 1990, em apenas um ano, isso pode ser explicado pelo fato de 1990 ter sido um ano de baixa pluviosidade, enquanto que em 1989 as precipitações foram acima da média para a região. Entre 1995 e 2005 houve um decréscimo brusco para a classe de Solo Exposto, isso se deve ao fato de que em 2005 as precipitações foram acima da média. Enquanto, ao comparar 2005 e 2010 observa-se um forte incremento para a classe de Solo Exposto.

Ao analisar a mesma dinâmica para o período seco, percebe-se também que houve variações de acordo com as precipitações ocorridas durante o ano. Ao comparar o ano de 1999 e 2009 houve um forte incremento negativo para a classe de Solo Exposto. Para ambos os municípios 1999 foi um ano muito seco com precipitações bem abaixo da média, enquanto que 2009 foi um ano muito chuvoso, choveu quase todos os meses do ano, exceto setembro e outubro. Fica claro e evidente que as precipitações não constituem parâmetros para delimitar as áreas de Solo Exposto. Por isso, torna-se complexo analisar a vegetação da Caatinga, apenas com duas imagens.

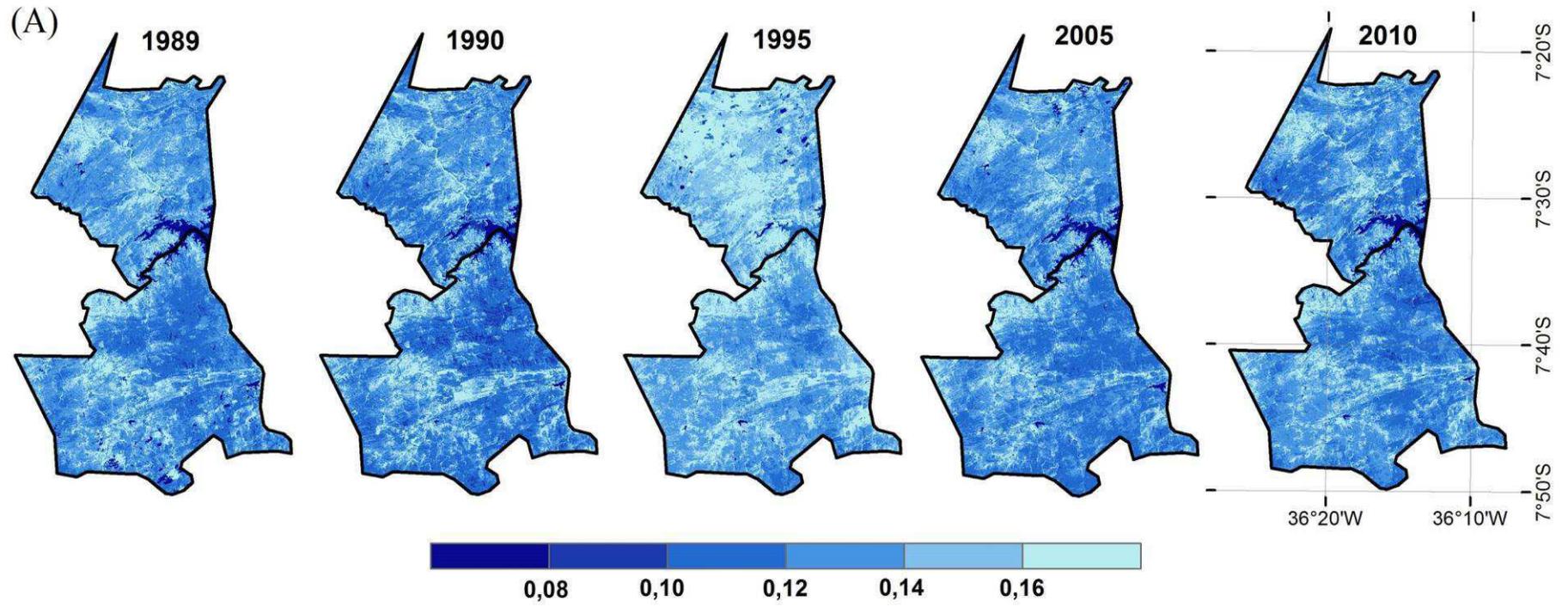
Tabela 20. Distribuição das classes de vegetação (períodos úmido e seco).

Classe	Área em km ² das classes de vegetação							
	Período Úmido					Período Seco		
	1989	1990	1995	2005	2010	1999	2009	
Água	20	17	9	18	15	0,8	18	
Solo Exposto	42	91	61	28	68	268	14	
Sub-Arbustivo	129	214	159	105	133	494	126	
Arbustivo	232	268	263	240	215	182	396	
Sub-Arbóreo	292	268	258	336	278	37	310	
Arbóreo	285	143	250	272	290	18	136	
Área Total	999,1	1000,34	999,25	999,89	999,17	1000,16	999,62	

Fonte: Elaborado pela autora com base nas imagens Landsat 5.

O albedo de superfície (α) é definido como a razão entre radiação solar refletida na superfície da terra e a radiação solar incidente total sobre todo o espectro solar (DICKINSON, 1983). Os processos biofísicos afetados por impactos induzido pelo homem sobre o ecossistema são o foco em climatologia ecológica, tendo o α como o parâmetro biofísico mais importante (CHARNEY, 1975 apud LIU et al. 2016).

O α mais elevado causado pela exposição do solo torna-se um fator importante na detecção do processo de desertificação (LIU et al. 2016). Nos estudos de Lamchin et al. (2016), o método da AD mostrou as tendências do processo de desertificação com base nas fortes correlações entre o TGSI e α . Tanto o α como o NDVI avaliados sazonalmente a longo prazo, podem ser importantes indicadores de risco ao processo de desertificação (BEZERRA et al. 2014) Na Figura 20 ('A' e 'B'), são mostrados a distribuição espacial do α da superfície para os anos de 1989, 1990, 1995, 2005 e 2010, estação úmida e para os anos de 1999 e 2009 estação seca.



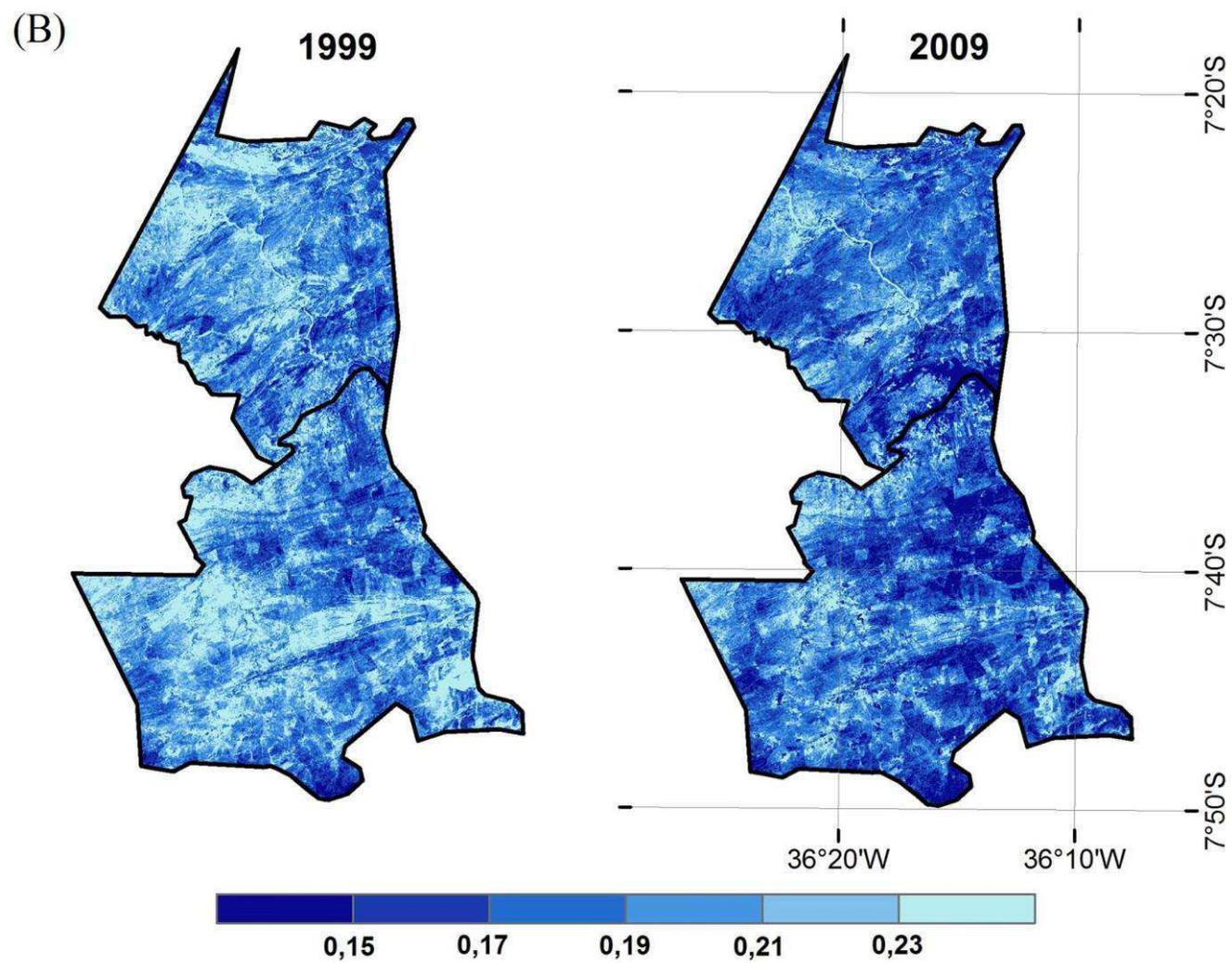


Figura 20. (A) Mapas de albedo para os períodos úmido e (B) seco.

Govaerts e Lattanzio (2008), estudando a região do Sahel, compararam o α da superfície de 1984 (ano de extrema seca) com o de 2003 (este ano obteve taxas de precipitações semelhantes aos anos que antecederam a seca) e constataram um aumento significativo de α entre 1984 e 2003 de cerca de 6%. Similarmente, também foi observado um aumento nos valores de α da superfície cerca de 5,7% em comparação entre o período úmido e seco na região estudada. Os maiores valores de α foram detectados no período de estiagem nas áreas de solo exposto, as médias encontradas para os períodos úmido e seco foram de 13,3% e 19%, respectivamente.

Ao comparar o α de 1989 a 2010 (período úmido) percebe-se que há pouca diferença entre si. Enquanto que os valores de α de 1999 e 2009 (período seco) houve mudanças significativas em relação ao período úmido (Tabelas 21 e 22). A variabilidade do α está associada à própria dinâmica de ocupação do espaço como também a sazonalidade da vegetação da caatinga em resposta à pluviosidade.

Tabela 21. Dados anuais do albedo (α) período úmido para Barra de São Miguel e Cabaceiras-PB.

Barra de São Miguel (%)					Cabaceiras (%)				
Ano	Mínimo	Máximo	Média	Desvio	Ano	Mínimo	Máximo	Média	Desvio
1989	0	80	13	0,02	1989	0	49	14	0,03
1990	0,01	37	12	0,02	1990	0,01	46	13	0,02
1995	0,01	36	14	0,02	1995	0	76	15	0,03
2005	0,01	37	13	0,02	2005	0	46	13	0,03
2010	0	33	13	0,02	2010	0	43	13	0,02

Tabela 22. Dados anuais do albedo (α) período seco para Barra de São Miguel e Cabaceiras-PB.

Barra de São Miguel (%)					Cabaceiras (%)				
Ano	Mínimo	Máximo	Média	Desvio	Ano	Mínimo	Máximo	Média	Desvio
1999	0,02	45	20	0,03	1999	0,02	50	20	0,03
2009	0,02	92	18	0,03	2009	0,01	50	18	0,03

Os padrões de variações do α são altamente relacionados com as estações seca e úmida no NEB. Na Figura 21 'A', é percebido que o mês que não houve precipitação pluvial o α aumentou, independentemente do ano mais chuvoso (2009) como é mostrado na Figura 21 'B'. Li et al. (2000), desenvolveram um experimento na região da Mongólia Interior na China, utilizaram quatro lotes de terra (200 x 75m) e em cada lote um número específico de ovelhas (0, 3, 6 e 9) durante 3 anos. Constataram que no último lote (9 ovelhas) a cobertura vegetal permaneceu inferior devido ao pisoteio, ocorreu erosão muito grave, quase 0,5 ha (33% da

área) tinha sido degradada até o final do experimento. Encontraram valores críticos de α de 30% para a pastagem experimental.

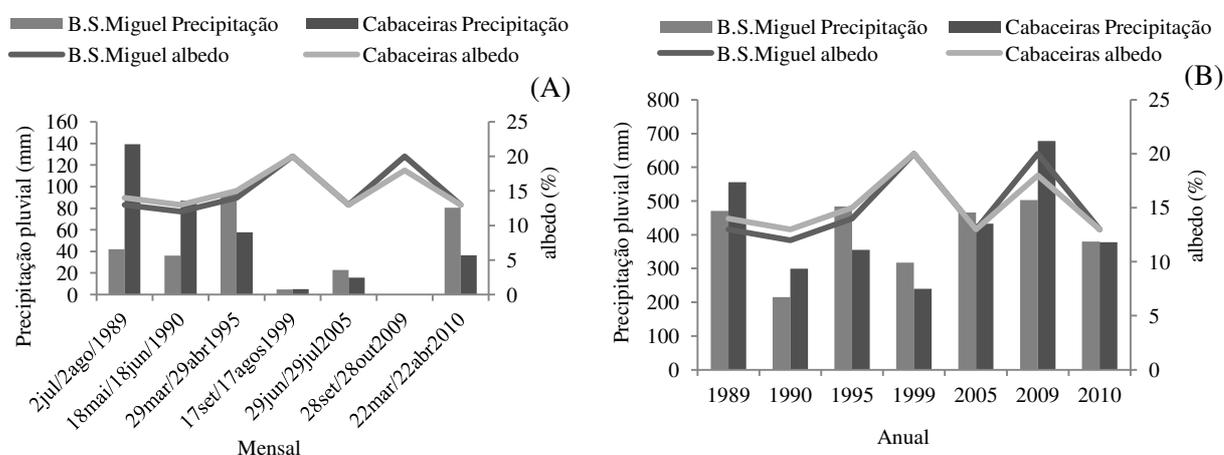


Figura 21. Relação entre o albedo e precipitação pluvial mensal e anual

Os municípios de Cabaceiras e Barra de São Miguel, juntos possuem uma população de 10.646 habitantes numa área de 1.048,13 km², com densidade demográfica de 10,15 hab/km² e 57% da população vivem no campo. Esses municípios estão entre os maiores produtores de caprinos e ovinos da Paraíba, juntos possuem um total de 38.000 cabeças, além das 7.800 cabeças de bovino, totalizando 45.800 cabeças em 2014, bem superior ao número de habitantes. No final da década de 1980 e início de 1990, os municípios contavam com 71.165 cabeças de gado entre caprinos, ovinos e bovinos (IBGE, 2014).

Ao relacionar com o experimento de Li et al. (2000), seguindo o mesmo raciocínio lógico dos autores, percebe-se que nos municípios existe uma grande potencialidade gerada pelo sobrepastoreio que se reflete no aumento do albedo. O sobrepastoreio significa que existe mais gado que a capacidade de suporte e uma compreensão rigorosa desses impactos negativos é muito difícil, porque esses tipos de interação entre animais e plantas ocorrem ao longo de dezenas ou até mesmo de centenas de anos (IMESO; FURFS, 2006).

Nos estudos de Rodrigues et al. (2009), foram encontrados valores de α variando de 26% a 36% na região semiárida do Ceará e Bezerra et al. (2012) encontraram valores entre 20% e 25% para solo exposto. Esses valores são um indicativo de zona desprotegida, isso também depende da sazonalidade da vegetação de Caatinga.

4.3.2 O comportamento das chuvas e do índice de aridez

Na Figura 22, pode ser observado duas tendências temporais das precipitações em Cabaceiras, a primeira decrescente até a década de 1960 e a segunda crescente, ou seja, acréscimo da precipitação pluvial. De acordo com Alves (2015), esse comportamento pode ser justificado com a construção da barragem Epitácio Pessoa, no município de Boqueirão, entre os anos de 1951 e 1956. Como o município de Cabaceiras está localizado a montante da barragem, pode estar havendo transporte de umidade, como também pode estar associado à erros de medições no posto pluviométrico.

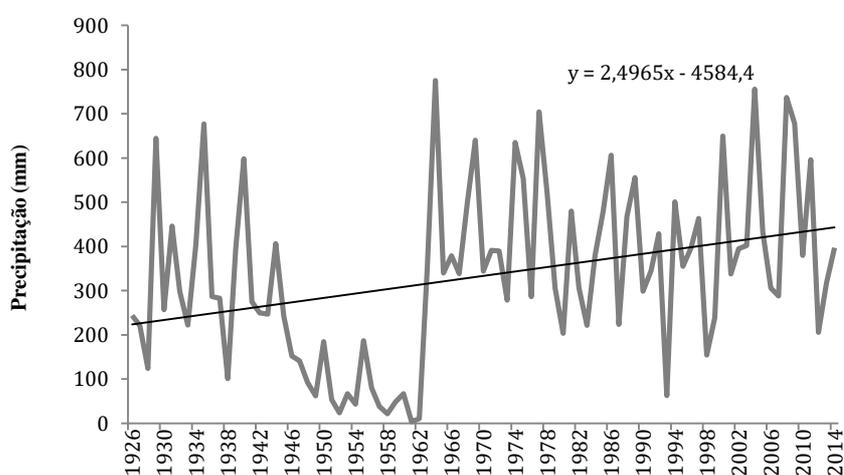


Figura 22. Comportamento das chuvas em Cabaceiras-PB. Período 1926-2014.

Ao analisar a Figura 23, percebe-se que há uma tendência decrescente para o índice de aridez. Isso pode indicar que a região se tornou menos árida ao longo dos 64 anos. Cabaceiras é um dos municípios considerados mais seco do Brasil, no entanto, nos últimos tempos tem apresentado uma tendência de aumento nas precipitações.

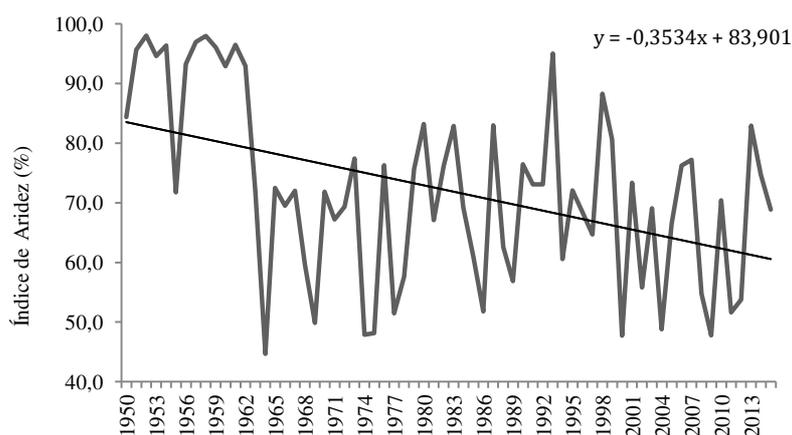
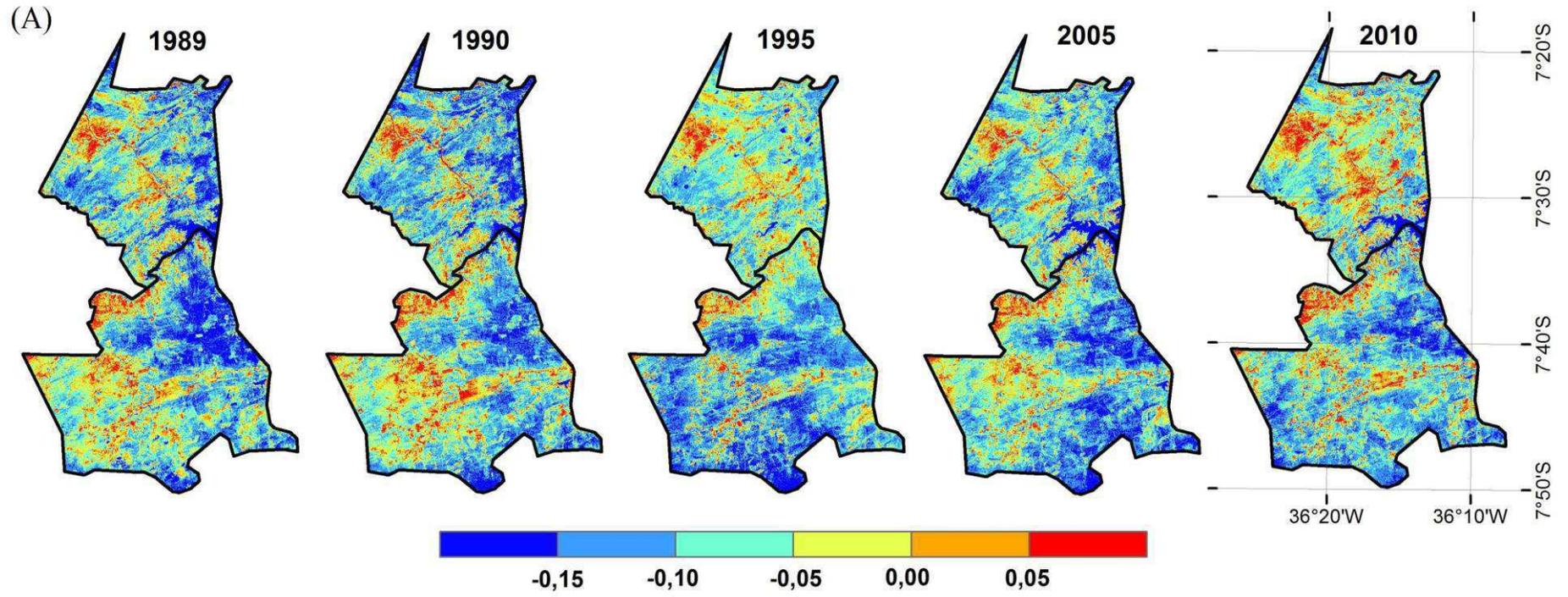


Figura 23. Índice de aridez do município de Cabaceiras, período de 1950 a 2014.

4.3.3 Análise física dos solos e TGSÍ

O TGSÍ e o α são fortemente correlacionados (LAMCHIN et al. 2016). Valores elevados de TGSÍ e α correspondem à área com alto teor de areia fina na camada superficial do solo ou baixo teor de argila (HADEEL et al. 2011). O TGSÍ foi amplamente utilizado na região da Mongólia Interior da China e Sul do Iraque, onde há muito solo arenoso. No entanto, é muito eficaz e eficiente para detectar a presença de areia fina. A erosão pelo vento e depósitos eólicos são as principais causas de irreversibilidade do solo nessas regiões (HADEEL et al. 2011). A textura do solo está intimamente relacionada com a degradação da terra (XIAO et al. 2006). Ao analisar os mapas de TGSÍ e de textura do solo (Figuras 24 e 25), percebe-se que nas áreas onde os valores de TGSÍ foram elevados há maior concentração de areia e onde os valores de TGSÍ foram baixos, geralmente, são áreas com cobertura vegetal com alto teor de argila e silte. É perceptível que, onde há maior concentração de areia (área representada pela seta) maior α e menor NDVI.



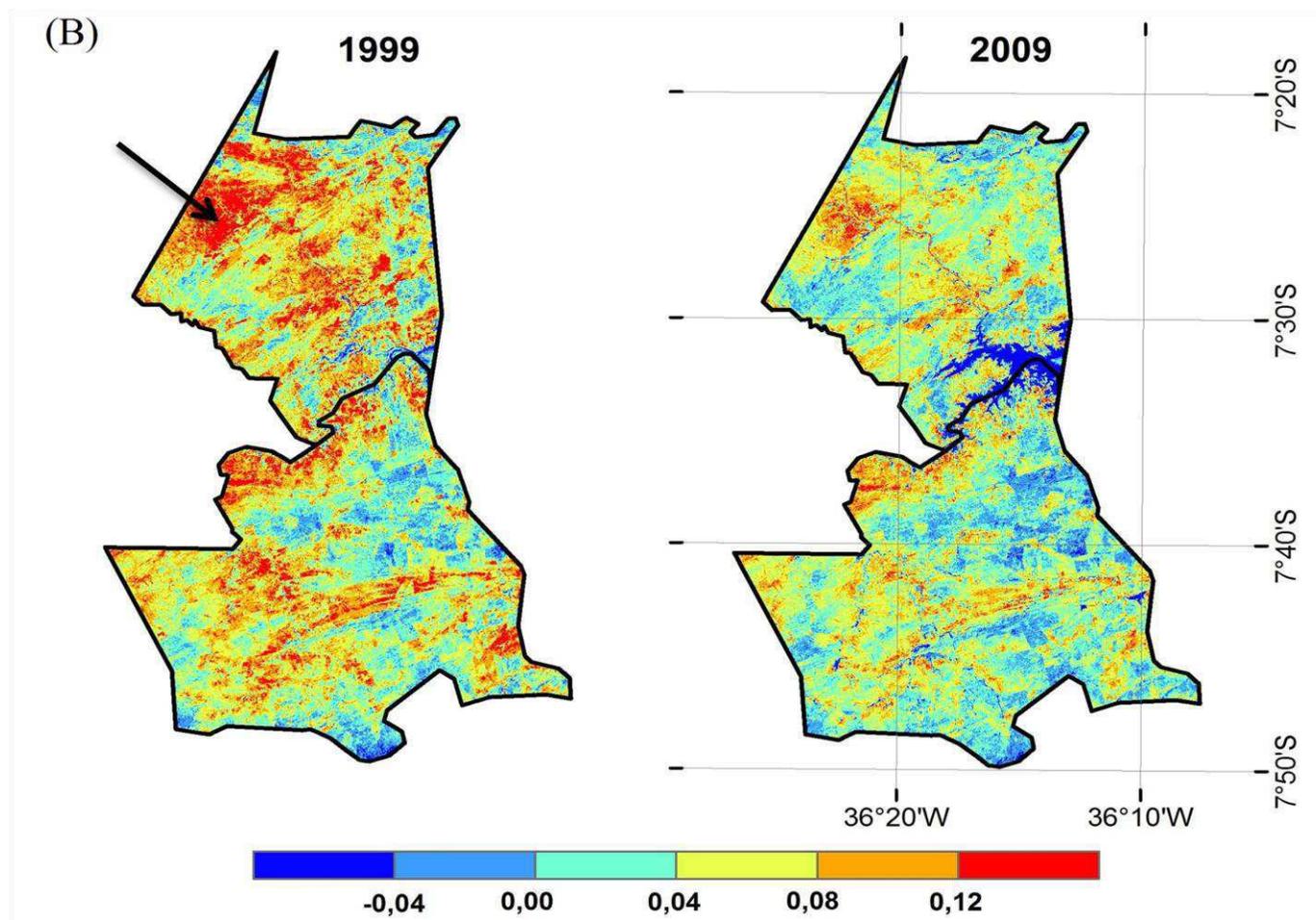


Figura 24. (A) Mapas de TGSI período úmido, (B) período seco.

Na Figura 25, está apresentada a distribuição espacial da textura dos solos da região de estudo. Os resultados obtidos nas análises físicas do solo estão de acordo com os resultados obtidos através do TSGI, confirmando sua eficácia. As áreas com forte presença de areia, geralmente, são os leitos de rios. O enriquecimento de areia pode se dar pela remoção da argila e do silte pelo escoamento superficial.

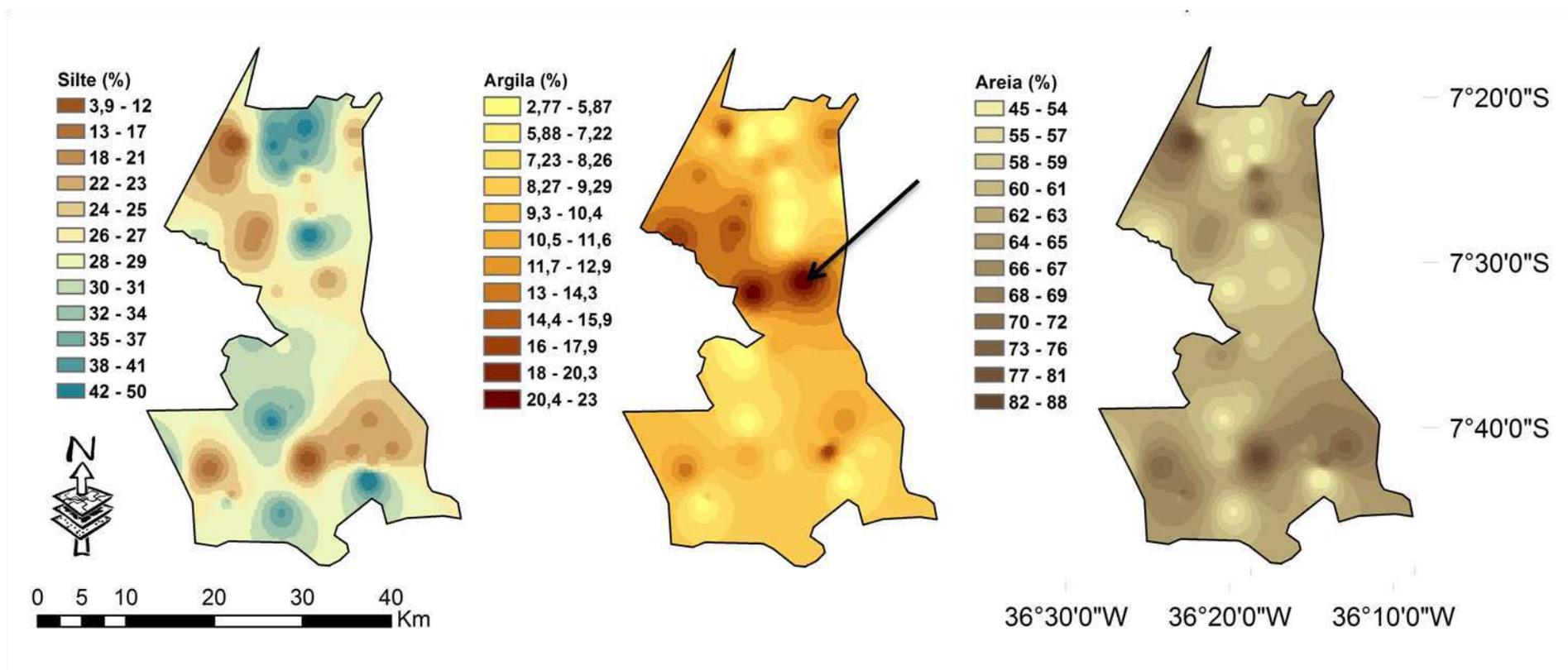


Figura 25. Mapas da textura do solo

Os solos dos municípios de Cabaceiras e Barra de São Miguel estão na sua totalidade classificados pela EMBRAPA (2014) como Luvisolos Crômicos, Vertissolos e Neossolos Litólicos conforme pode se observar na Figura 26 'A' e na Figura 26 'B' estão representados os pontos de coleta de solo. Os Luvisolos são solos rasos e pouco profundos e ocupam grande extensão nas áreas cristalinas do sertão nordestino, onde é frequente a presença de revestimento pedregoso na superfície do solo ou dentro do horizonte A, possuem consistência muito dura o que dificulta o desenvolvimento do sistema radicular das plantas. São muito utilizados para pecuária extensiva e plantio de milho, feijão e palma forrageira e são altamente erodíveis. Nas áreas que estes solos são mal manejados, podem ser observados sulcos profundos e até mesmo voçorocas. Este tipo de solo apresenta altos teores de silte (EMBRAPA, 2010). Nos resultados obtidos para os Luvisolos, percebeu-se alto teor de areia, representando 33% das amostras da classe Luvisolos (Pontos: 01B-74,13%, 11B-72,57%, 12B-72,46%, 02A-86,72%, 04A-70,06% e 06A-72,11%) e baixo teor de silte (5,74% a 19,26%), isso reforça que há indício de degradação do solo. 28% das amostras apresentaram teores de areia entre 61,5% a 68,64% (21B, 22B, 23B, 24B e 5A) e silte entre 16,95% a 23,92% e apenas o ponto 5A com 32,29%. E por fim, 39% das amostras apresentaram teores de areia entre 49,75% a 57% (05B, 13B, 17B, 18B, 25B, 3A e 8A) e valores de silte entre 30,12% a 42,6%. Na Tabela 16, a média dos valores para silte é de 26,6%.

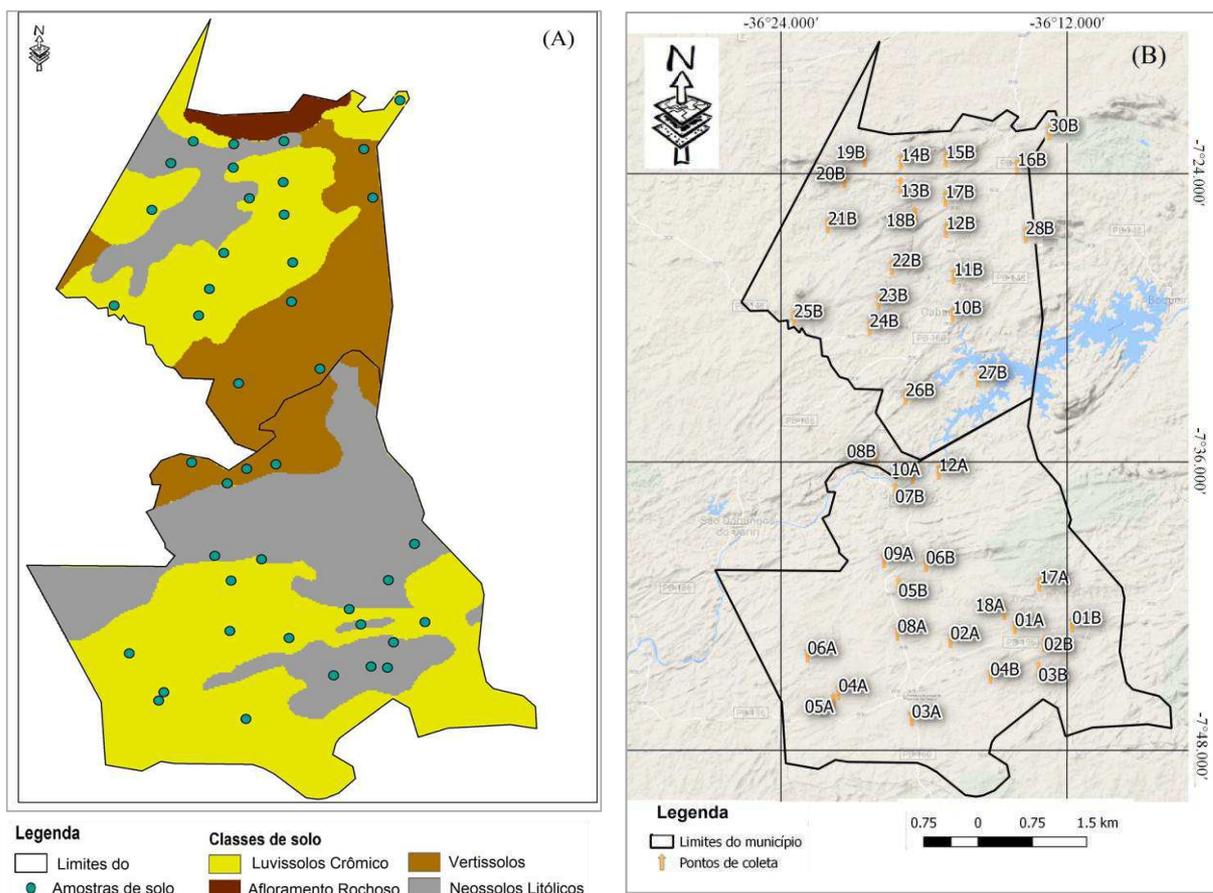


Figura 26. (A) Classes de solos, (B) pontos de coleta.

Os Luvissoles são solos rasos e pouco profundo e ocupam grande extensão nas áreas cristalinas do sertão nordestino, onde é frequente a presença de revestimento pedregoso na superfície do solo ou dentro do horizonte A, possuem consistência muito dura o que dificulta o desenvolvimento do sistema radicular das plantas. São muito utilizado para pecuária extensiva e plantio de milho, feijão e palma forrageira e são altamente erudíveis. Nas áreas que estes solos são mal manejados, podem ser observados sulcos profundos e até mesmo voçorocas. Este tipo de solo apresenta altos teores de silte. Nos resultados obtidos para os Luvissoles, percebeu-se alto teor de areia, representando 33% das amostras da classe Luvissoles (Pontos: 01B-74,13%, 11B-72,57%, 12B-72,46%, 02A-86,72%, 04A-70,06% e 06A-72,11%) e baixo teor de silte (5,74% a 19,26%), isso reforça que há indício de degradação do solo. 28% das amostras apresentaram teores de areia entre 61,5% a 68,64% (21B, 22B, 23B, 24B e 5A) e silte entre 16,95% a 23,92% e apenas o ponto 5A com 32,29%. E por fim, 39% das amostras apresentaram teores de areia entre 49,75% a 57% (05B,13B, 17B, 18B,25B, 3A e 8A) e valores de silte entre 30,12% a 42,6%

Os Vertissolos são solos desenvolvidos normalmente em bacias sedimentares ou a partir de sedimentos com predominância de materiais de granulometria fina e com altos teores de cálcio e magnésio. Ocorrem distribuídos em diversos tipos de clima, dos mais úmidos ao mais seco, tendo grande expressão na bacias sedimentares da região semiárida do Nordeste brasileiro. A textura é normalmente argilosa ou muito argilosa, embora possa ser média com um conteúdo mínimo de argila de 300g kg^{-1} após mistura e homogeneização do material de solo, nos 20 cm superficiais nos horizontes superficiais, o que corresponde 30% (SBCS, 2014).

Os valores encontrados nas amostras revelaram um baixo teor de argila conforme a Tabela 16. Nos pontos 07B-3,46%, 08B-3,53%, 10B-3,51% e 28B-1,45%, os resultados foram bem abaixo da média obtida das amostras (10,5%) que por sua vez está aquém do valor mínimo de 30%, conforme a Tabela 23. Isso prova que existe degradação. Quanto aos Neossolos Litólicos, são solos pouco evoluídos, rasos, não hidromórficos, horizonte A diretamente sobre a rocha, sem horizonte B, ocorrem em toda região do semiárido, principalmente nas áreas mais acidentadas, onde são encontrados afloramento rochoso, moderadamente a excessivamente drenado de textura predominantemente média, podendo também ocorrer solos de textura arenosa, siltosa ou argilosa. Podem ser distróficos ou eutróficos, ocorrendo, geralmente, em áreas de relevo suave ondulado a montanhoso (EMBRAPA, 2010). Nos resultados esse solo se mostrou muito arenoso. Todos os solos estudados se apresentaram como Franco Arenoso com exceção do ponto 20B, Areia Franca. O Neossolo Litólico, pela sua variedade de texturas possíveis, não é uma boa classe para análise do TGSI, diferentes dos Luvisolos e Vertissolos.

Tabela 23. Análise física do solo (média da textura para as 40 amostras)

Classe de solo	Areia	Silte	Argila
Luvisolo Crômico	63,60%	26,60%	9,90%
Vertissolo	60,30%	29,20%	10,50%
Neossolo Litólico	63%	28%	9%

Fonte: Análises feita no Laboratório de Irrigação e Salinidade do CTRN/UFMG

Nas Tabelas 24 e 25, são mostrados os valores de TGSI para os períodos úmido e seco. Estes resultados estão dentro da classe de médio risco ao processo de desertificação de acordo com a AD. Os valores médios para o período úmido são negativos, isso indica áreas com cobertura vegetal, enquanto que os valores positivos indicam áreas desnuda. Os valores de TGSI, NDVI e α flutuaram entre períodos úmidos e secos. Esses resultados reforçam a ideia de que é muito complexo estudar regiões de Caatinga.

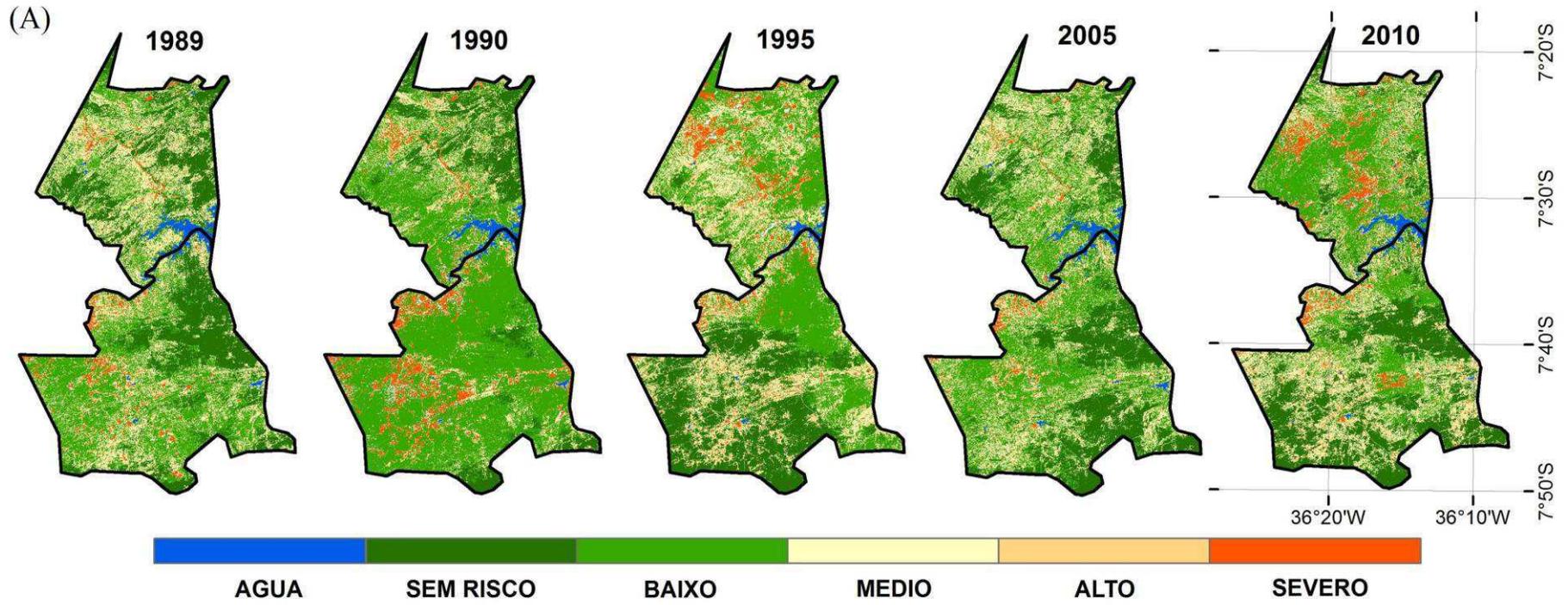
Tabela 24. Dados anuais de TGSi durante o período úmido para Barra de São Miguel e Cabaceiras-PB.

Barra de São Miguel					Cabaceiras				
Ano	Mínimo	Máximo	Média	Desvio	Ano	Mínimo	Máximo	Média	Desvio
1989	-0,4	0,18	-0,08	0,06	1989	-0,33	0,25	-0,07	0,07
1990	-0,58	0,35	-0,07	0,06	1990	-0,42	0,25	-0,08	0,07
1995	-0,28	0,27	-0,09	0,06	1995	-0,56	0,53	-0,05	0,05
2005	-0,34	0,18	-0,08	0,06	2005	-0,53	0,58	-0,07	0,06
2010	-0,31	0,37	-0,08	0,06	2010	-0,54	0,21	-0,05	0,06

Tabela 25. Dados anuais de TGSi durante o período seco para Barra de São Miguel e Cabaceiras-PB.

Barra de São Miguel					Cabaceiras				
Ano	Mínimo	Máximo	Média	Desvio	Ano	Mínimo	Máximo	Média	Desvio
1999	-0,36	0,22	0,05	0,04	1999	-0,19	0,23	0,07	0,04
2009	-0,35	0,41	0,03	0,04	2009	-0,22	0,21	0,03	0,04

A região de estudo apresenta alta variabilidade pluviométrica, tanto espacial quanto temporal, dificultando a análise dos resultados obtidos. Ao verificar os mapas para o período úmido (1989 a 2010) percebe-se que não houve muita variação, enquanto que para o período seco (1999 e 2009) houve variações significativas. Na Figura 27 'A' e 'B' e na Tabela 26, são mostrados as áreas de cada classe de risco em km² para os períodos úmido e seco.



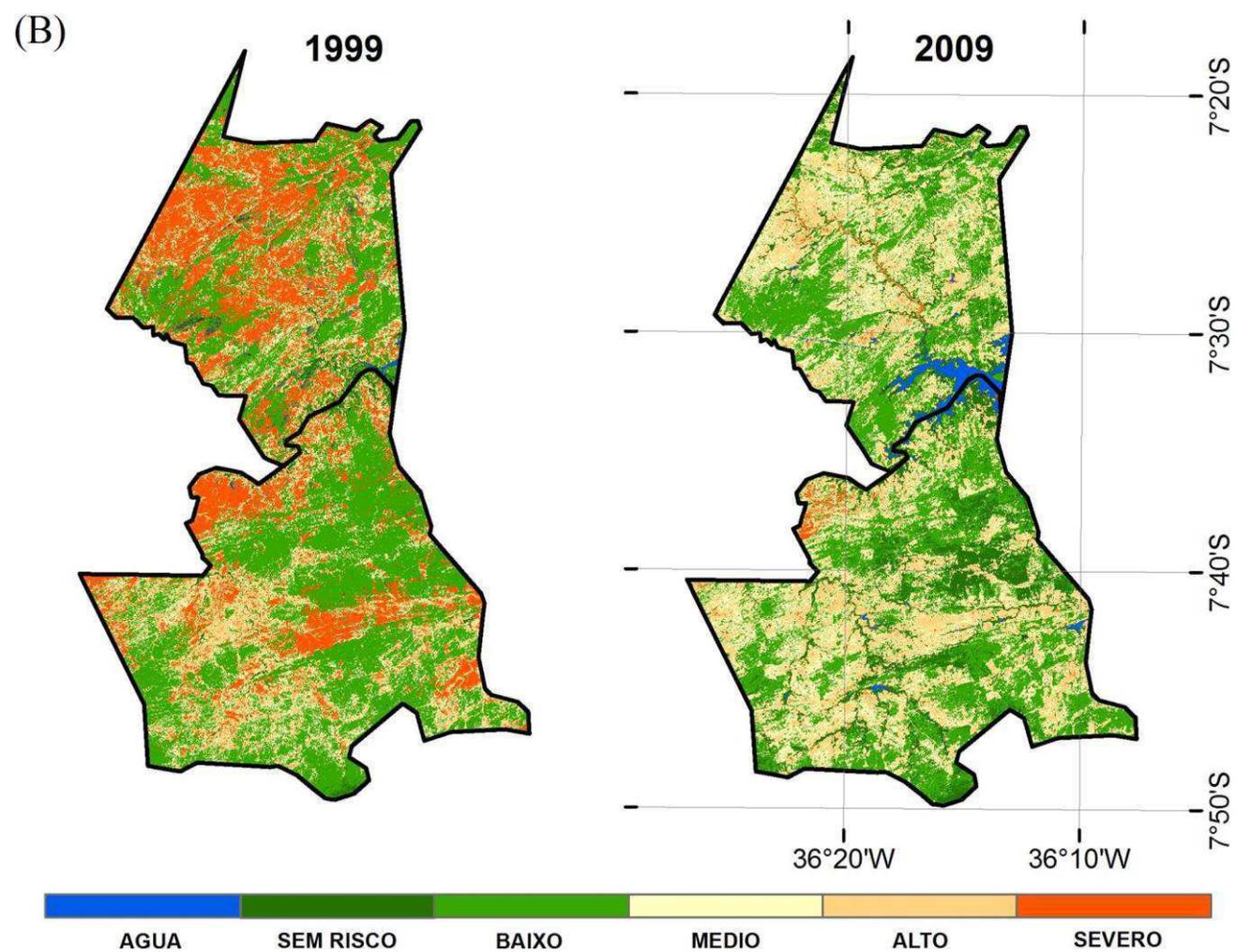


Figura 27. (A) Mapas de Riscos durante o período úmido, (B) mapas de Riscos durante o período seco

Na Tabela 26 e na Figura 27 'A' e 'B', os números apresentados para o período úmido mostram a predominância das áreas Sem Risco, Risco Baixo e Risco Médio, houve um incremento positivo nas áreas de Risco Alto e Risco Médio de 30 km². Enquanto que para o período seco há predominância para as classes Sem Risco, exceto para 1999, Risco Baixo, Risco Médio, Risco Alto e Risco Severo, exceto para 2009. Observa-se que o ano de 2009 teve um forte decréscimo na classe de Risco Severo de 248 km². Isso pode ser explicado por ter sido um ano muito chuvoso.

Tabela 26. Área de cada classe de risco (Km²)

Classe	Período Úmido						Período Seco		
	1989	1990	1995	2005	2010	Média	1999	2009	Média
Água	20	17	9	18	15	14	0,8	18	9
Sem Risco	285	143	250	272	290	250	18	136	77
Risco Baixo	339	593	362	372	318	359	443	345	393
Risco Médio	277	136	246	285	262	242	144	276	210
Risco Alto	36	20	71	25	45	75	126	209	168
Risco Severo	35	69	53	24	56	41	248	11	130

Nas Figuras 28 e 29, são mostrados em detalhe a evolução do Risco a desertificação. As classes das áreas de baixo riscos estão relacionadas às áreas de vegetação arbórea, subarbórea e arbustiva, onde as ações antrópicas são menos intensas. Observa-se que as classes de risco à desertificação sofrem flutuações de acordo com as precipitações.

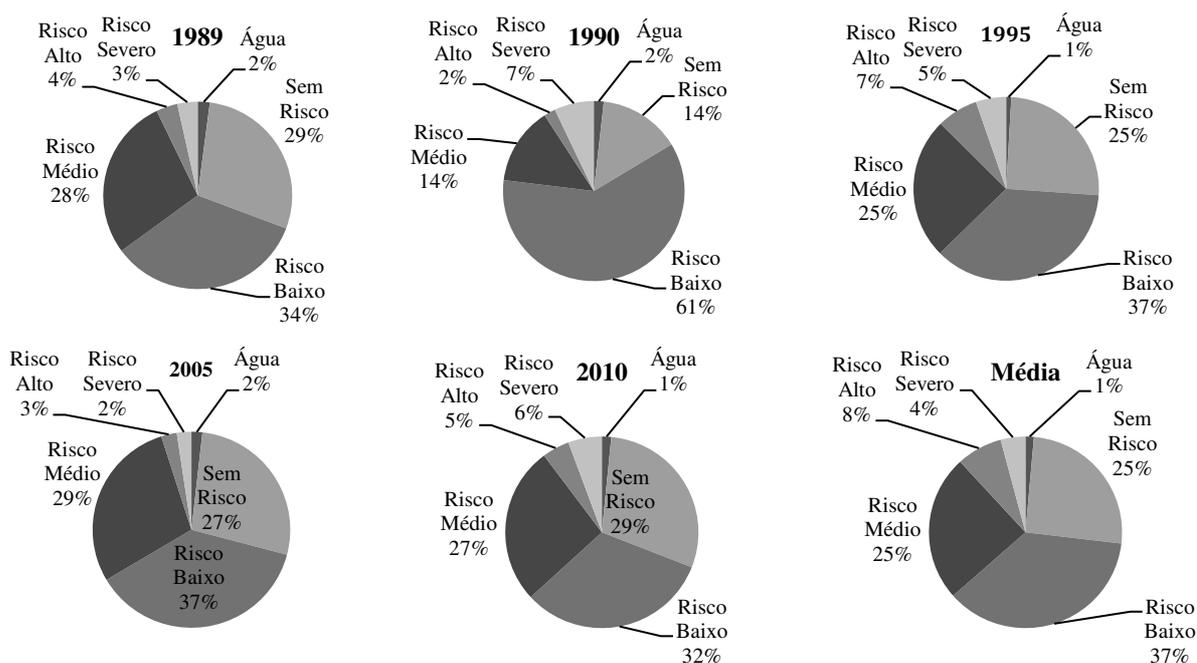


Figura 28. Evolução do Risco de desertificação para período úmido

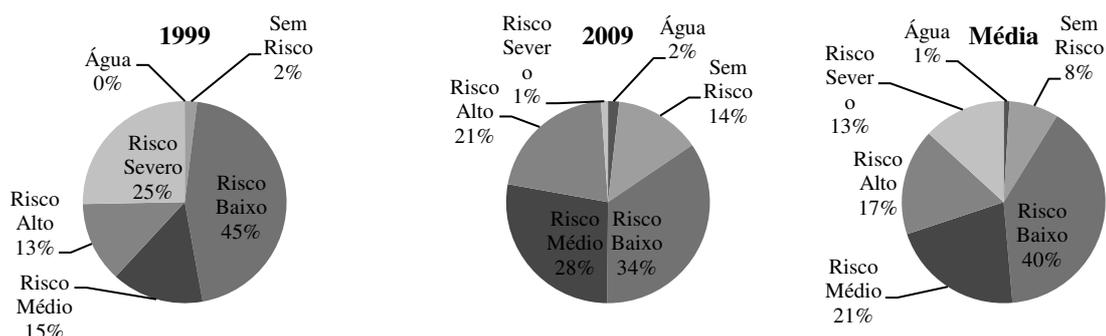


Figura 29. Evolução do Risco de desertificação período seco

No campo foram observadas áreas muito degradadas com intensa atividade de pastoreio. Devido a ocorrência de chuvas, o aspecto verde da vegetação acaba mascarando os resultados reais de algumas áreas através das imagens de satélite. Na Figura 30, isso pode ser percebido, visto que, as gramíneas tomam conta do solo exposto. A formação (cobertura) vegetal original está muito degradada, restando algumas espécies que formam uma cobertura rarefeita. Segundo Costa Filho et al. (2008), grande parte da área é ocupada por vegetação secundária como o pereiro (*Aspidosperma pyrifolium*), jurema (*Mimosa tenuiflora*) e catingueira (*Poincianella bracteosa*).



Figura 30. Característica da vegetação no período de chuva.

Fonte: Maria da Conceição Marcelino Patrício, 2016.

Na Figura 31, estão representadas as áreas com risco severo de desertificação. Relevo plano suavemente ondulado, solo exposto e forte presença de caprinos (indicado pela seta). Erosão laminar e sulcos profundos e o raquitismo da vegetação. Percebe-se ainda que a vegetação está verde, sinal que houve precipitações e mesmo assim o solo continua totalmente exposto.



Figura 31. Solo exposto (Risco Severo em Cabaceiras)
Fonte: Maria da Conceição Marcelino Patrício, 2016.

A compactação reduz a capacidade de infiltração, deixando os horizontes B e C altamente erodíveis e sem proteção. Estes são expostos à superfície sem nenhuma proteção da cobertura vegetal. Isso ocorre porque as funções hidrológicas do solo estão deterioradas e as erosões em sulcos e barrancos tornam-se frequentes (IMESO; FURFES, 2006). A Figura 32 é um exemplo desse tipo de erosão. O solo está totalmente desprotegido devido a retirada da vegetação para a abertura de estradas (indicado pela seta). Outra razão para esse tipo de erosão é o pisoteio, as pequenas plantas que vão nascendo nessa área acabam sendo a comida preferida dos caprinos e ovinos. Esta área também apresenta um risco severo ao processo de desertificação.

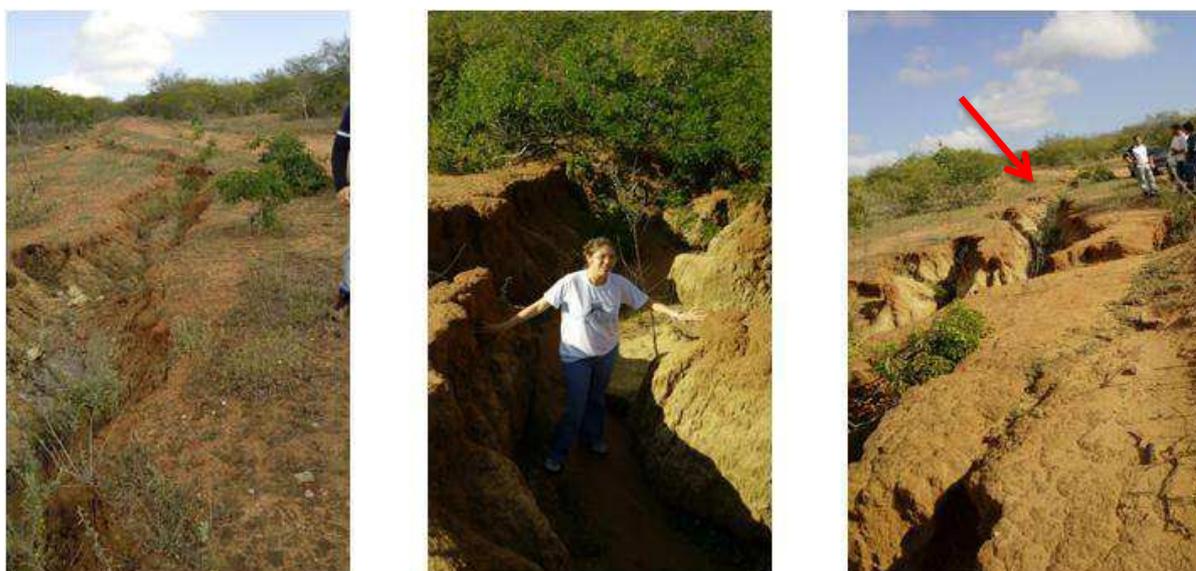


Figura 32. ¹Voçoroca em Barra de São Miguel (Risco Severo de desertificação)
Fonte. Maria da Conceição Marcelino Patrício, 2016.

¹ Voçoroca: são incisões com largura e profundidade superiores a 50 centímetro (OLIVEIRA, 1999).

As áreas com Risco Alto ao processo de desertificação estão apresentadas na Figura 33. A vegetação pode variar de arbustiva, subarbustiva até um tipo de capoeirão, com manchas de solo exposto. A erosão predominante é o escoamento superficial.



Figura 33. Áreas de Alto Risco ao processo de desertificação
Fonte: Maria da Conceição Marcelino Patrício, 2016

Na Figura 34 representa os aspectos das áreas consideradas de Médio Risco à desertificação. A vegetação é arbustiva e subarbustiva, onde também são encontrados solo exposto. Essa vegetação é um pouco mais fechada com espaço aberto e compactado devido a forte presença de caprinos. As setas indicam as fezes encontradas.



Figura 34. Área de Médio Risco ao processo de desertificação
Fonte: Maria da Conceição Marcelino Patrício, 2016

As áreas mostradas na Figura 35 representam uma paisagem com vegetação de porte arbóreo e subarbóreo, considerada sem risco, caracterizada pela uniformidade da cobertura vegetal. O acesso do homem torna-se mais difícil devido as condições geomorfológicas com relevo acidentado. A densidade da vegetação é de média a alta.



Figura 35. Solo com cobertura vegetal no período chuvoso, sem risco de desertificação (Cabaceiras)

Fonte: Maria da Conceição Marcelino Patrício, 2016.

A cobertura vegetal da Caatinga em época de estiagem perde totalmente as folhas, dando um aspecto acinzentado (Figura 36). As observações meteorológicas mostram que a variabilidade da distribuição das precipitações aumenta com a diminuição da precipitação média anual e em anos mais secos (CHAVES et al. 2013). Portanto, indiretamente afeta no resultado do diagnóstico da vegetação.



Figura 36. Solo com cobertura vegetal no período seco, médio risco de desertificação (Cabaceiras)

Fonte: Maria da Conceição Marcelino Patrício, 2016.

O processo de degradação das terras está mais presente nas proximidades de casas e ao longo das margens de rios, onde há umidade do solo que garante uma maior segurança à agricultura de sequeiro como o milho (indicado pela seta) e as forragens que alimentam o rebanho no período de estiagem. Outro problema encontrado é a presença maciça das algarobas (*Prosopis juliflora*) nas margens dos rios, onde há água mais abundante. Nestes locais elas se aglomeram e impede que outras plantas se desenvolvam (Figura, 37).



Figura 37. (A) Plantio de palma forrageira ao redor da casa. (B) Leito do rio Taperoá. (C) Presença de algarobas no leito do rio

Fonte: Maria da Conceição Marcelino Patrício, 2016.

4.3.4 Erosividade da chuva

Os resultados da análise da erosividade das chuvas (Fator R da Equação Universal de Perda de Solo - EUPS) para os solos dos municípios de Cabaceiras e Barra de São Miguel-PB indicam que o valor anual da erosividade encontrado foi de de $5.733 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$ e $3.122 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$ respectivamente, calculado para a média de uma série de 20 anos (1994-2014) de precipitação pluvial, que corresponde a uma perde de solo de $584,4 \text{ tm mm há}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ para Cabaceiras e $318,3 \text{ tm mm há}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ para Barra de São Miguel. De acordo com a Tabela 8, esses valores representam uma erosividade de Média a Forte para Cabaceiras e erosividade Média Para Barra de São Miguel. Vale ressaltar, que esses valores representam apenas o indicativo R da EUPS.

A variabilidade média mensal do EI_{30} é caracterizada pela sazonalidade da precipitação. Portanto, os maiores índices são esperados nos períodos de maiores precipitações. De acordo com as médias mensais das precipitações para a estação pluviométrica de Cabaceiras, Tabela 27, foi observado o menor valor médio de EI_{30} de $46,7 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$ no mês de novembro e o maior valor médio de EI_{30} de $1.095,9 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$ no mês de março e para a estação pluviométrica de Barra de São Miguel obteve-se o menor valor médio de EI_{30} de $3,8 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$ no mês de setembro e o maior valor médio de $643,1 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$ no mês de março, Tabela 28. Os extremos dos valores médios anuais do índice de erosividade para Cabaceiras foram de $12.897,3 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$ para o ano de 2008, e de $1.337,7 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$ para o ano de 1998 e para o município de Barra de São Miguel os valores extremos anuais foram de $6.113,1 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$ para o ano de 2004 e de $330,5 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$ para o ano de 1998.

Tabela 28. . Valores mensais, anuais e médios mensais do índice de erosividade EI_{30} (MJ mm ha⁻¹ h⁻¹) para a estação pluviométrica de Barra de São Miguel-PB

Ano	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	Total
1994	165,8	277,6	379,8	322,0	692,3	573,3	319,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2730,6
1995	0,0	1546,6	1585,6	797,6	151,8	91,1	303,8	0,0	0,0	0,0	147,6	0,0	4624,1
1996	0,0	0,0	1549,2	332,7	0,0	0,0	83,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1965,1
1997	349,9	144,4	1206,1	682,7	1015,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	144,4	250,0	3793,3
1998	0,0	0,0	0,0	0,0	173,3	157,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	330,5
1999	0,0	0,0	683,7	0,0	0,0	352,5	552,8	0,0	0,0	167,9	0,0	1099,5	2856,4
2000	992,6	196,4	1282,4	1025,8	0,0	426,0	200,7	358,7	0,0	0,0	0,0	454,6	4937,2
2001	0,0	0,0	979,0	0,0	125,6	379,8	127,7	130,8	0,0	121,4	0,0	0,0	1864,3
2002	917,1	285,8	323,0	0,0	789,5	130,8	414,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2861,0
2003	0,0	0,0	412,8	1006,7	124,5	0,0	0,0	106,1	0,0	0,0	0,0	0,0	1650,2
2004	2680,3	1096,3	773,4	395,2	383,2	491,8	293,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	6113,1
2005	827,0	0,0	1245,8	145,5	548,9	910,5	145,5	0,0	0,0	0,0	0,0	165,8	3989,0
2006	0,0	117,3	0,0	1226,7	281,5	644,5	0,0	115,3	0,0	0,0	0,0	0,0	2385,3
2007	0,0	396,0	635,8	0,0	443,7	0,0	0,0	0,0	80,3	0,0	0,0	0,0	1555,7
2008	0,0	999,2	1695,5	799,0	1579,6	81,2	110,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5264,7
2009	89,1	811,1	422,3	1309,9	892,2	263,6	471,8	89,1	0,0	0,0	112,2	348,2	4809,5
2010	277,2	195,1	83,2	710,5	0,0	1358,8	287,8	0,0	0,0	161,5	0,0	103,1	3177,2
2011	296,0	385,6	135,0	2497,3	0,0	0,0	398,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3711,7
2012	0,0	780,7	0,0	0,0	108,1	287,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1176,6
2013	0,0	0,0	0,0	1507,5	0,0	113,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1620,8
2014	335,6	484,1	112,2	0,0	292,1	0,0	130,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1354,8
Média	330,0	367,4	643,1	607,6	362,0	298,2	182,8	38,1	3,8	21,5	19,2	115,3	2989,1
Máx	2680,3	1546,6	1695,5	2497,3	1579,6	1358,8	552,8	358,7	80,3	167,9	147,6	1099,5	6113,1
Mín	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	330,5

Mello et al. (2013), estimaram a erosividade média anual das chuvas para as regiões brasileiras através de modelos multivariados. Os maiores valores de erosividade encontrados foram para as regiões Norte e Centro-Oeste com valores médios de erosividade aproximados de 12.000 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹. São regiões que possuem grandes volumes de chuva devido a influência da floresta amazônica, já para as regiões Sul e Sudestes os valores médios anuais encontrados são praticamente semelhantes (8.000 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹). E por fim a região Nordeste que apresentou valores médios de erosividade mais baixos, em relação as outras regiões (6.000 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹). A quantidade de chuva na região Nordeste é consideravelmente menor comparadas as outras regiões brasileiras. Entretanto, é muito mais concentrada, portanto a respectiva a erosividade pode ser significativa.

Nas Figuras 38 e 39 observa-se a distribuição mensal da erosividade e da precipitação pluvial para a estação pluviométrica de Cabaceiras e Barra de São Miguel, no qual foi estabelecida a relação entre o coeficiente de precipitação (R_c) e o índice de erosividade (EI_{30}). Percebe-se que nos períodos mais chuvosos apresentaram maior intensidade a erosão e nos meses de setembro, outubro e novembro os índices de erosividade são praticamente nulos,

devido a ausência de chuva. As precipitações que ocorrem entre fevereiro a abril, geralmente são intensas e torrenciais. No município de Cabaceiras, as médias de chuvas acima de 40 mm foram de janeiro a julho, o que explica maior erosividade em relação a Barra de São Miguel que obteve maior intensidade de chuva apenas nos meses de março e abril.

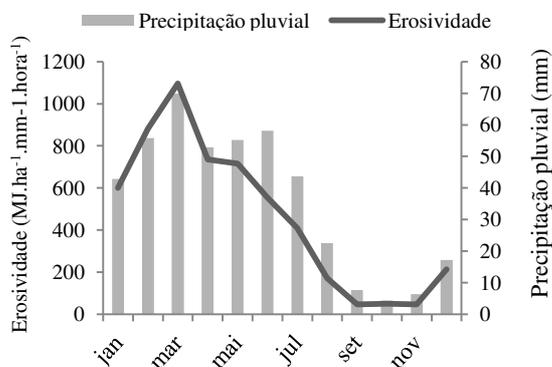


Figura 38. Médias mensais do índice de erosividade, Cabaceiras-PB. Médias do período de 1994 a 2014

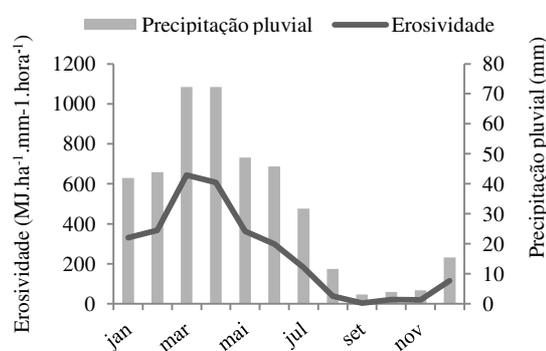


Figura 39. Médias mensais do índice de erosividade, Barra de São Miguel-PB. Médias do período de 1994 a 2014

Geralmente os valores do fator R encontrados para o semiárido brasileiro, são classificados em grande maioria como de erosividade moderada a moderada forte, são os casos do trabalho de Albuquerque et al., (2001) que encontraram um valor de 4.928 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ de erosividade em Sumé- PB (erosividade moderada a forte), Silva et al. (2009) para a bacia hidrográfica do rio Capiá entre os Estados de Pernambuco e Alagoas (erosividade moderada) e Alves e Azevdo (2013) para a bacia riacho dos Namorados no município de São João do Cariri-PB (erosividade fraca), fato esse que pode ser explicado pela ausência de chuva.

Nas Figuras 40 e 41 estão apresentadas a correlação entre o índice de erosividade (EI₃₀) médio mensal e o coeficiente de chuva (Rc) e foi obtida a partir das relação dos valores mensais dos índices para o período de 1994 a 2014 para as estações pluviométricas de Cabaceiras e Barra de São Miguel. A curva de ajuste foi do tipo potência, no qual, obteve-se um alto coeficiente de determinação para ambos municípios ($R^2 = 0,98$ e $0,97$)

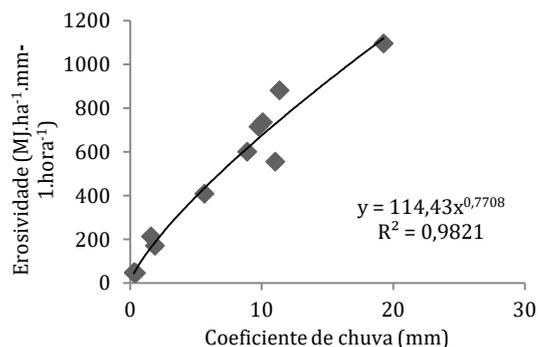


Figura 40. Relação entre o índice de erosividade médio mensal de chuva e o coeficiente de chuva para o município de Cabaceiras-PB.

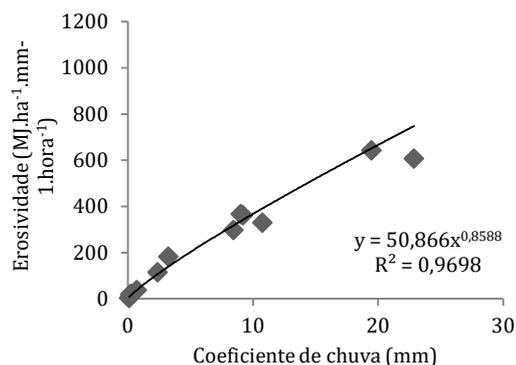


Figura 41. Relação entre o índice de erosividade médio mensal de chuva e o coeficiente de chuva para o município de Barra de São Miguel-PB.

O plantio de culturas como de hortaliças, feijão e milho (indicado pela seta) em áreas em declives e o pastoreio intensivo, principalmente, diminuem a cobertura vegetal (Figura 42 'A', 'B' e 'C'). Desse modo, facilita a desagregação do solo através da erosão por salpicamento, assim, posteriormente as partículas de solo são transportadas, fazendo a decomposição desta em áreas mais baixa.



Figura 42. (A) Plantações de milho às margens do rio Taperoá, (B) erosão provocada pela chuva (C) pisoteio de caprinos. Barra de São Miguel-PB.

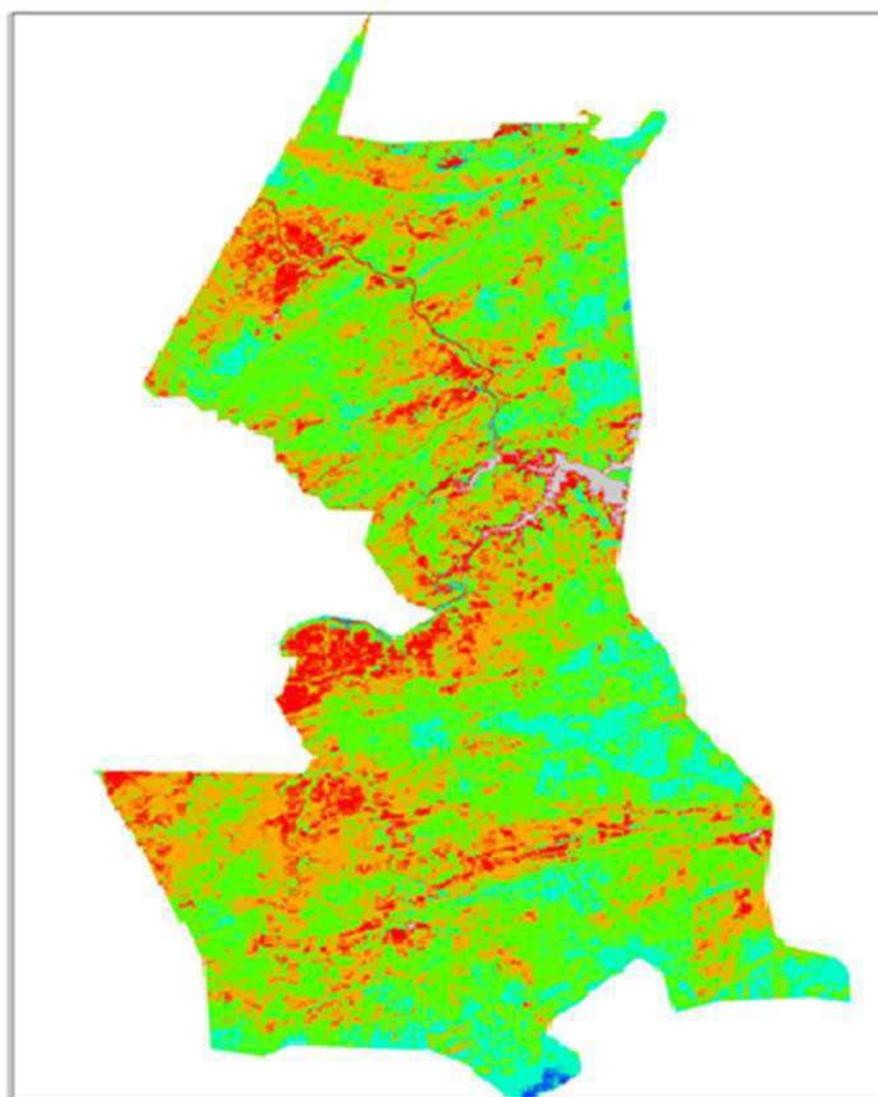
Fonte: Maria da Conceição Marcelino Patrício, 2016

Na região estudada, não foi observada práticas de conservação do solo. Sendo assim, é necessário que haja recomendações e sugestões sugeridas por Guerra (2004) para proteger o solo da ação da chuva, tais como; adotar medidas de reflorestamento; evitar queimadas; controlar o avanço de voçorocas através de construção de pequenos diques, manutenção da cobertura vegetal, cultivo em curva de nível; canalização da água em direção a áreas não suscetíveis a erosão; e aumento da rugosidade do solo através de plantios de espécies vegetais ou práticas de aragem do solo, para diminuir a ação dos ventos. Vale ressaltar que a vegetação da caatinga perdem suas folhas em épocas secas, sendo necessário que a serrapilheira decorrente desse processo seja mantida como cobertura para o solo.

4.3.5 Riscos à erosão

A classificação digital das imagens do Landsat 5, Figura 43 e Tabela 29, permitiu através dos valores ponderados para o risco à erosão do solo, mapear, discriminar e avaliar as 6 classes de uso do solo: Água, Solo Exposto, Caatinga Sub-Arbustiva, Caatinga Arbustiva, Caatinga Sub-arbórea e Caatinga Arbórea.

Com relação a cobertura vegetal observou-se que 47,9% da área é composta pela Caatinga Arbustiva, atribuindo-se um Risco Médio, seguida de Caatinga Sub-Arbustiva com 31,2% da área, considerada um Risco Alto. Risco Baixo e Muito Baixo foram atribuídos para as Caatinga Sub-Arbórea e Arbórea, ocupando uma área de 12,6% e 0,2% respectivamente e por fim o Solo Exposto, correspondendo a 7,8% da área com Risco Severo.



Legenda

	Limites do município		Risco Muito Baixo		Risco Alto
Grau de Risco			Risco Baixo		Risco Severo
	Sem Risco		Risco Médio		

Figura 43. Classes de Risco

Fonte: Maria da Conceição M. Patrício e Madson Tavares Silva

Tabela 29. Classes de vegetação e risco à erosão nos municípios de Cabaceiras e Barra de São Miguel.

Classe Vegetação	Classe de Risco	Área %	Valores de Risco
Água	Sem Risco	0,3	1,0
Solo Exposto	Risco Severo	7,8	3,0
Caatinga Sub-Arbustiva	Risco Alto	31,2	2,31
Caatinga Arbustiva	Risco Médio	47,9	2,0
Caatinga Sub-Arbórea	Risco Baixo	12,6	1,6
Caatinga Arbórea	Risco Muito Baixo	0,2	1,4

Fonte: Adaptado de Crepani et al. (2001), Ribeiro (2007) e Huang et al. 2016.

A Caatinga Arbustiva tem forte presença na região semiárida, possuem galhos retorcidos e perdem suas folhas em época seca, Figura 44 'A'. Tanto a Caatinga Arbustiva como a Sub-Arbórea, Figura 44 'B', trata-se de uma formação secundária, cujas árvores têm de 4 a 5 metros de altura e diâmetro dos troncos varia de 20 a 35 cm e apresentam alguns exemplares de 10 metros de altura (ALVES, 2009).



Figura 44. (A) Caatinga Arbustiva, (B) Caatinga Sub-Arbórea
Fonte: Maria da Conceição Marcelino Patrício, 2016

A Caatinga Arbórea, Figura 45 'A', ainda conserva traços originais o que parece nunca ter sido derrubada e a Caatinga do tipo Sub-Arbustiva, Figura 45 'B', é caracterizada por pequenos Arbustos em touceiras espaçadas e com altura entre 1 a 3 metros, corresponde a uma estepe com manchas de solos exposto entre a vegetação raquítica.



Figura 45. (A) Caatinga Arbórea, (B) Caatinga Sub-Arbustiva
Fonte: Maria da Conceição Marcelino Patrício, 2016

O solo exposto representa em média 7,8% da área estudada com Risco Severo de erosão. Na Figura 46 'A' é apresentada uma paisagem com manchas de solo exposto e vegetação raquítica em época chuvosa. É percebido o surgimento de sulcos provocado pela passagem da água da chuva devido ao solo está desprotegido. Na Figura 46 'B', apresenta uma paisagem em época seca. Essa área fica próxima ao leito do rio Taperoá, representado pela

seta, onde a presença de Algarobas (*Prosopis juliflora*) é marcante devido a presença de água. Nessa área ocorreu erosão do tipo laminar, provocando o afloramento de pavimento dendrítico e todo solo superficial foi transportado para o leito do rio, ocorrendo assim o assoreamento deste.



Figura 46. (A) solo exposto com presença de sulcos, (B) solo exposto com presença de erosão laminar.
Fonte: Maria da Conceição Marcelino Patrício, 2016

Na carta clinográfica, (Figura 47 e Tabela 30) é mostrado que a maior parte da área de estudo possui declividade de 0 a 12%, representando uma área de 96,53% e os valores atribuídos aos riscos oscilam entre 1 e 1,5 entre as classes Sem Risco a Risco Baixo, conforme a Figura 39, desta maneira pode-se afirmar que a área é representada por relevo plano a ondulado, não havendo risco significativo de erosão em relação a declividade. Sendo assim, por análise deste critério ocorre uma estabilidade com predominância da pedogênese.

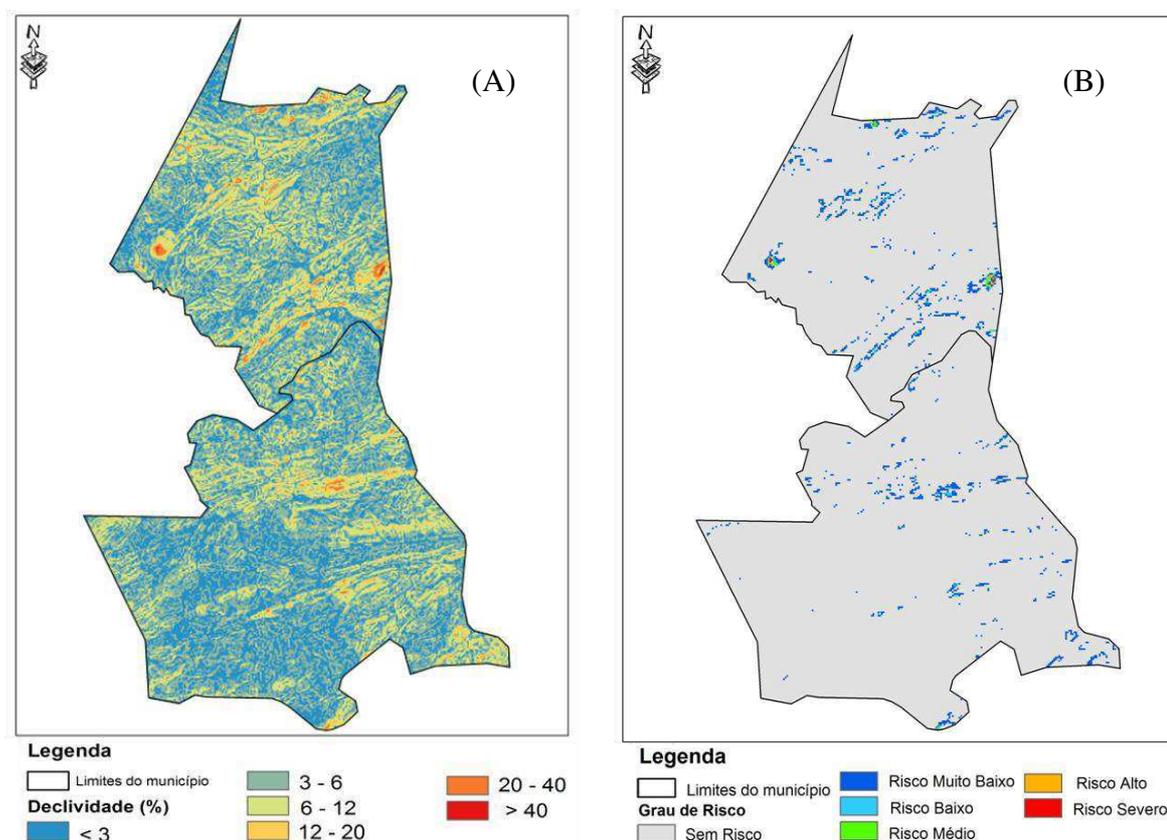


Figura 47. (A) Mapa da declividade, (B) mapa de risco do atributo declividade
Fonte: (A) geo.aesa.pb.gov.br. A partir da imagem SRTM, (B) Maria da Conceição M. Patrício

Tabela 30. Valores de risco à erosão da declividade

Declividade %	Área %	Valores de Risco
< 3 (Várzea)	30,5	1
3 - 6 (Plano a Suave Ondulado)	44,03	1,2
6 - 12 (Suave Ondulado a Ondulado)	21,5	1,5
12 - 20 (Ondulado a Forte Ondulado)	3,3	2
20 - 40 (Forte Ondulado a Montanhoso)	0,5	2,5
> 40 (Montanhoso)	0	3

Fonte: Adaptado de Crepani et al. (2001) e Ribeiro; Campos (2007).

A partir do mapa Geológico existente (Figura 48 'A') foi gerado um mapa de risco à erosão de cada classe geológica (Figura 48 'B') e seus respectivos valores que estão expressos na Tabela 31, no qual permitiu verificar que as classes PMs e PP2se são predominantes na região compondo 62,9% da área. Essas áreas se enquadram em Risco Baixo, praticamente não afetam o solo.

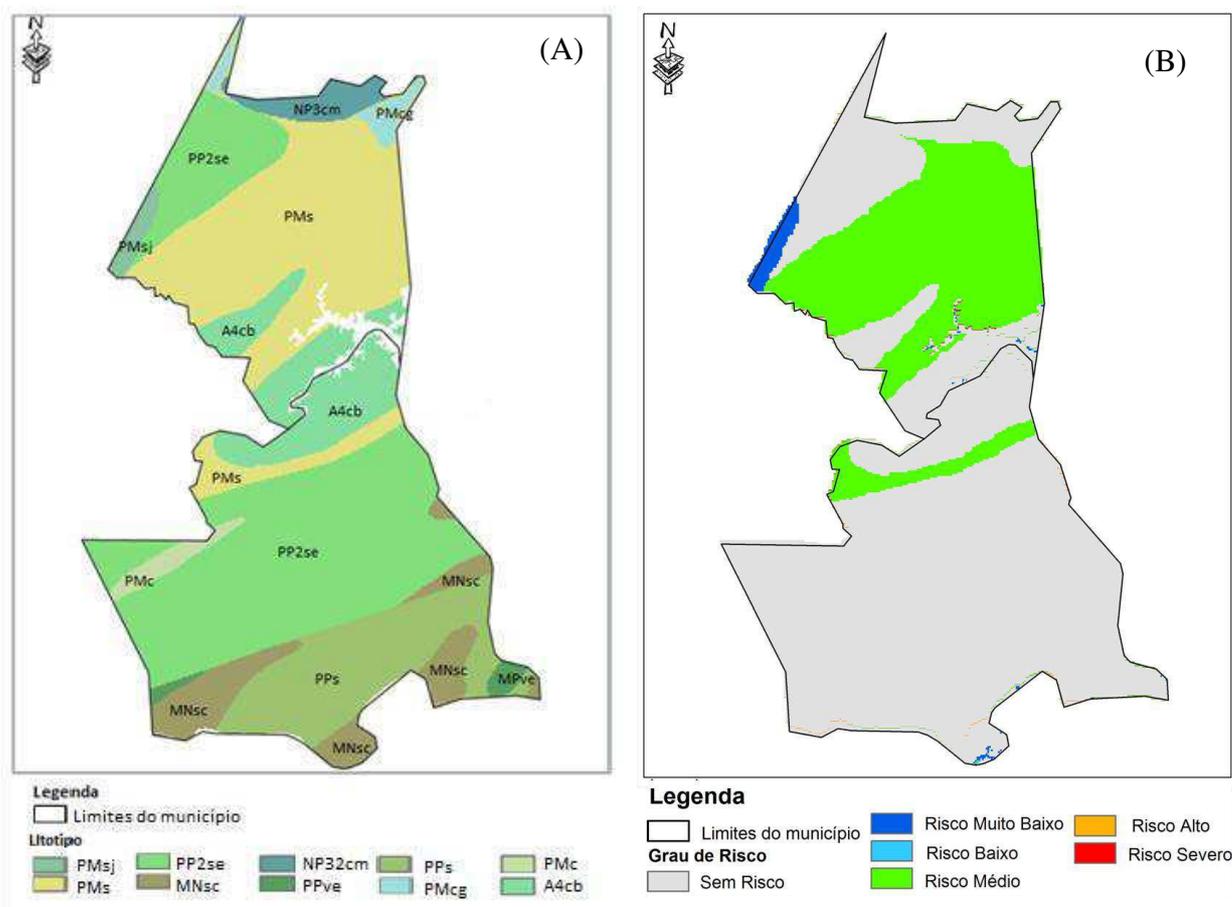


Figura 48. (A) Mapa Geológico, (B) mapa de risco geológico.

Fonte: (A) geo.aesa.pb.gov.br, (B) Maria da Conceição Marcelino Patrício e Madson Tavares Silva

Tabela 31. Valores de risco ao atributo Geologia

Classe	Área %	Valores de Risco
PMsj - Anfibolito, Metagranodiorito, Metatonalito	1,0	1,8
PMs - Formação Ferrífera Bandada, Metagabro, mármore	26,1	1,8
PP2se - Gnaisse, MetaCalcário, Quartzito	36,8	1,3
MNsc - Gnaisse, MetaCalcário, Quartzito, Xisto	6,3	1,3
NP32cm - Granito, Granodiorito	2,2	1,2
Mpve - Metadacito, Metapelito, Paragnaisse	0,9	1,3
PPs - Metagranito, Metagranodiorito	12,9	1,2
PMcg - Metagranito, Metamonzogranito, Metassienito	0,0	1,2
PMc - Metagranito, Metamonzonito	3,2	1,3
A4cb - Ortognaisses granítico-granodioríticos	10,5	1,2

Fonte: Adaptado de Crepani et al. (2001)

O mapa da Figura 49 'A', representa os tipos de solos da região, tais como: Afloramento Rochoso, Luvisolos Crômico, Neossolos Litólicos e Vertissolos que permitiu classificar o grau de Risco à erosão para cada tipo de solo. Na Figura 49 'B', estão representadas as áreas com as classes de riscos. Na área de estudo predominam os solos do tipo Luvisolo Crômico com 47,6% com valor de Risco Médio, enquanto que mais da metade da área (52,3%) possui Risco Severo à erosão conforme a Tabela 32.

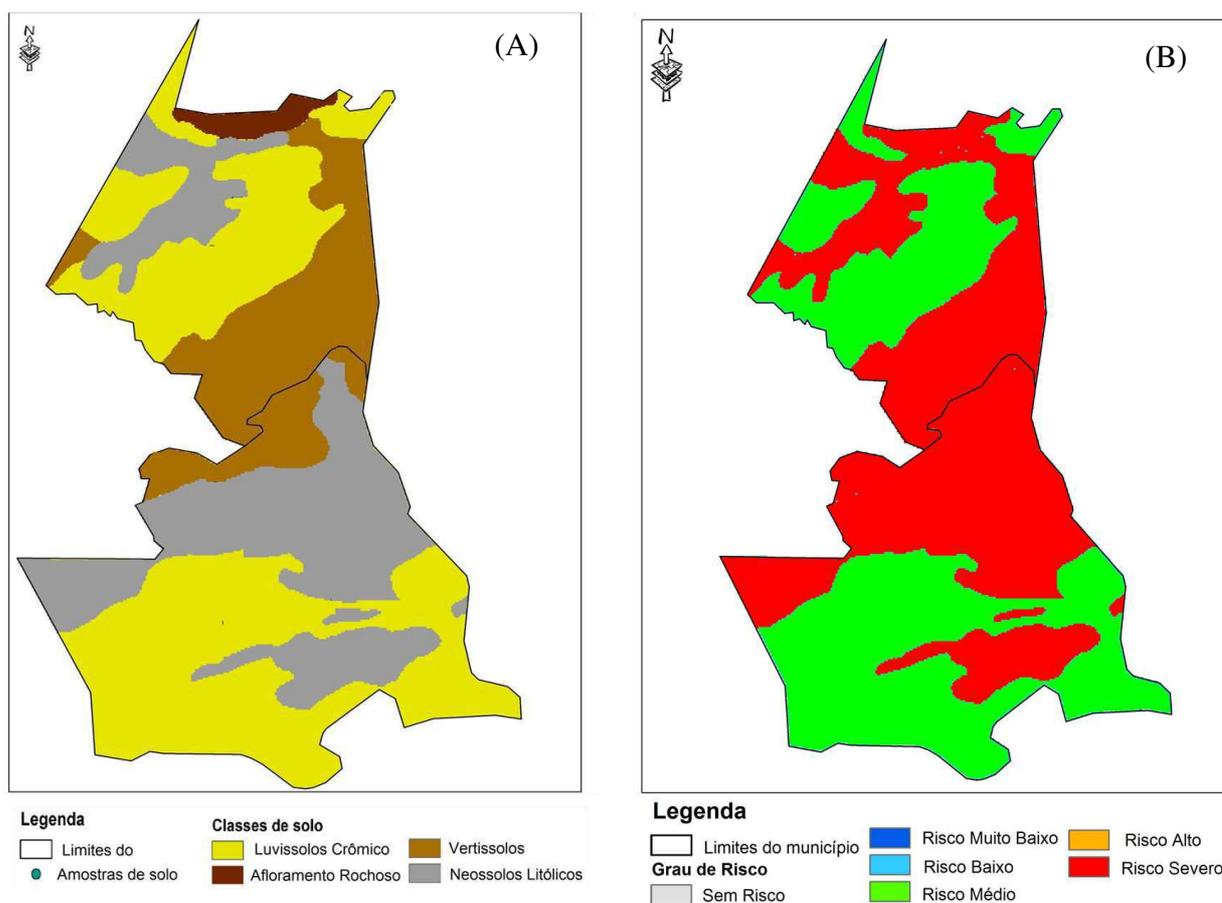


Figura 49 . (A) Mapa de solo, (B) mapa de risco ao tipo de solo.
Fonte: (A) geo.aesa.pb.gov.br, (B) Maria da Conceição e Madson Tavares Silva.

Tabela 32. Valores de risco à erosão do solo

Classe	Área %	Valor de Risco
Afloramento Rochoso	1,7	3
Vertissolo	19,5	3
Neossolo Litólico	31,1	3
Luvisolo Crômico	47,6	2

Fonte: Adaptado de Crepani et al. (2001)

E por fim, foi avaliado a intensidade pluviométrica dos municípios para obter os valores de Risco ao atributo Clima. As chuvas que ocorrem nessa região são irregulares e imprevisíveis. De acordo com a Tabela 33, o período mais chuvoso é de janeiro a junho, sendo que as ocorrências de chuvas intensas ocorrem mais nos primeiros meses, conforme a Tabelas 34.

Tabela 33. Médias mensais das precipitações entre 1994 e 2014.

Município	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	Total
Cabaceiras	42,8	55,8	69,9	52,9	55,2	58,1	43,7	22,5	7,7	4,4	6,3	17,2	436,6
B. de S. Miguel	40,1	41,8	69,4	69,6	47,4	44,5	30,7	11,7	2,9	3,7	4,3	14,7	380,6

O município de Cabaceiras registrou 4 episódios de chuvas intensas, entre 1994 e 2014, a ser destacado a precipitação que ocorreu no dia 18/03/2008. Este volume é praticamente o esperado para o ano inteiro (exemplo de 2012 com apenas 205 mm). Em um único dia choveu mais da metade da média climatológica (409 mm), podendo ser considerado um fato histórico. Em Barra de São Miguel houve mais ocorrência de chuvas intensas, porém, ao analisar a Tabela 34, percebe-se que Barra de São Miguel chove um pouco menos que Cabaceiras.

Tabela 34. Volume de chuva diário em Cabaceiras e Barra de São Miguel-PB.

Ocorrência de chuvas intensas dia/mês/ano				
Cabaceiras	15/01/2002	21/06/2006	18/03/2008	24/02/2009
	172 mm	65,2 mm	218,2 mm	82,2 mm
Barra de S. Miguel	09/02/1995	25/02/1995	05/03/1996	27/03/1997
	93 mm	128 mm	101,4	75 mm
	29/12/1999	15/01/2000	19/03/2000	19/03/2008
	80,5 mm	85 mm	92 mm	65,3 mm
	07/04/2009	18/06/2010	01/04/2011	07/04/2013
	74,2 mm	68,2 mm	81,5 mm	73,3 mm

A média de precipitação anual (1994-2014) é de 436,6 mm para Cabaceiras e 380 mm para Barra de São Miguel com uma média mensal (do período chuvoso) de 55,8 mm e 52,1 mm respectivamente, o que confere um valor de risco muito baixo (1,1) de acordo com a Tabela 35 de Crepani et al. (2001). O mapa de precipitação foi gerado através da interpolação da média pluvial do período chuvoso (janeiro a março, no qual, foi utilizado os valores extraídos das estações de observações pluviométricas do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia), ANA (Agência Nacional de Águas) e AESA (Agência Executiva de Gestão das Água do Estado da Paraíba), conforme a Figura 50 'A'. A partir do mapa de precipitação foi gerado o mapa de risco quanto ao clima, Figura 50 'B'.

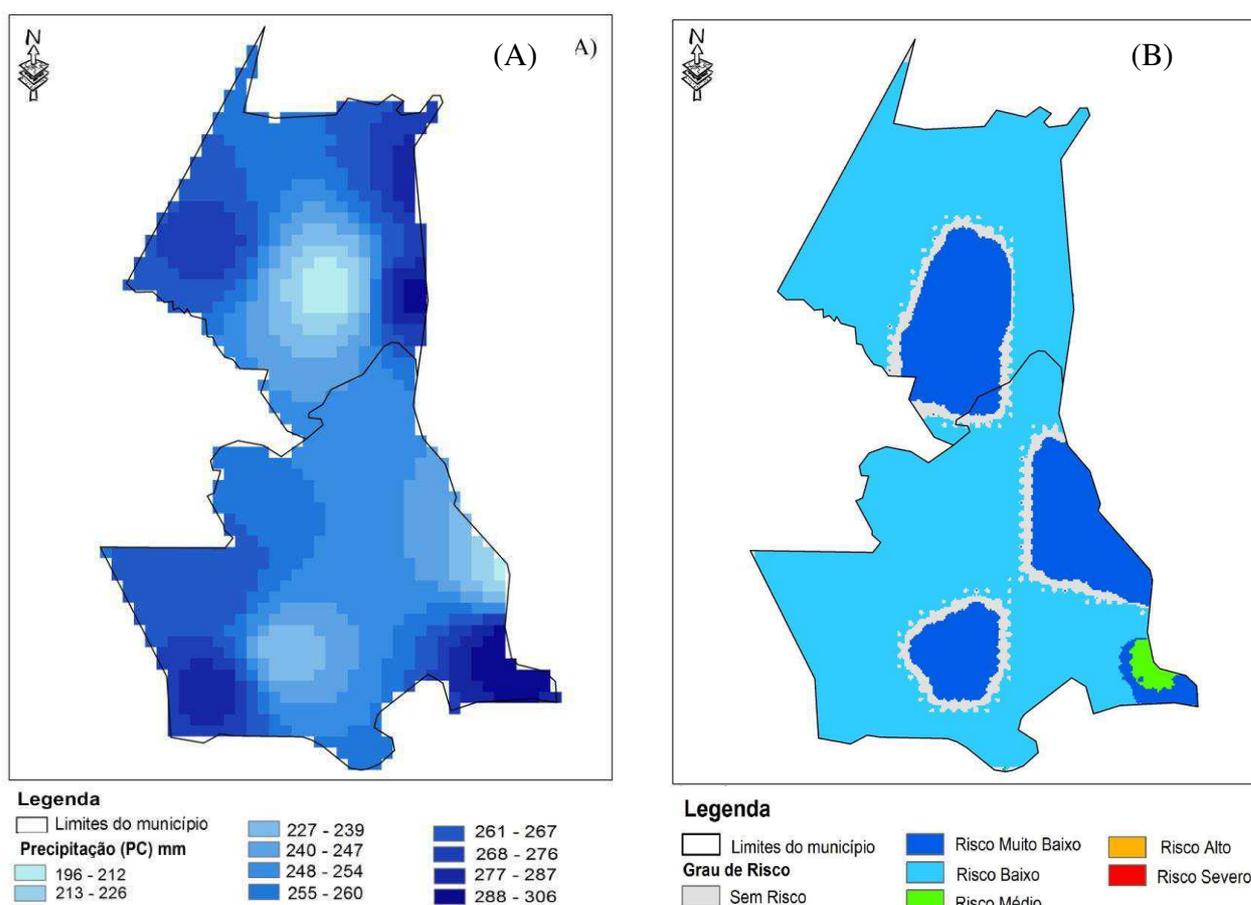


Figura 50. (A) Mapa da precipitação média do período chuvoso, (B) Mapa de risco ao atributo clima.
Fonte: Elaborado por Maria da Conceição M. Patrício e Madson Tavares Silva, 2016

Tabela 35. Escala de erosividade da chuva e valores de risco à erosão

Intensidade Pluviométrica (mm/mês ⁻¹)	Risco	Intensidade Pluviométrica (mm/mês ⁻¹)	Risco	Intensidade Pluviométrica (mm/mês ⁻¹)	Risco
< 50	1	200-225	1,7	375-400	2,4
50-75	1,1	225-250	1,8	400-425	2,5
75-100	1,2	250-275	1,9	425-450	2,6
100-125	1,3	275-300	2	450-475	2,7
125-150	1,4	300-325	2,1	475-500	2,8
150-175	1,5	325-350	2,2	500-525	2,9
175-200	1,6	350-375	2,3	>525	3

Fonte: Crepani et al. (2001)

Ao analisar os episódios de chuvas intensas isoladamente é percebido que há um forte potencial de erosividade, mesmo sendo este evento considerado pouco frequente. O que acontece é, quando o solo está desprotegido e ocorre um evento dessa magnitude todo solo é arrastado para as áreas mais baixas, ocorrendo assim, o processo de erosão, como é mostrado na Figura 51, no município de Barra de São Miguel.



Figura 51. Processo de erosão do solo devido as chuvas intensas.

Fonte: Maria da Conceição M. Patrício, 2016.

Para um melhor entendimento, na Figura 52 é mostrado separadamente os riscos de cada atributo: Geologia, Declividade, Pedologia, Vegetação e Clima. A partir desses resultados foi aplicado uma média aritmética nos valores de riscos dos mapeamento citados e dessa forma, obteve-se o mapa final de risco a erosão, Figura 53.

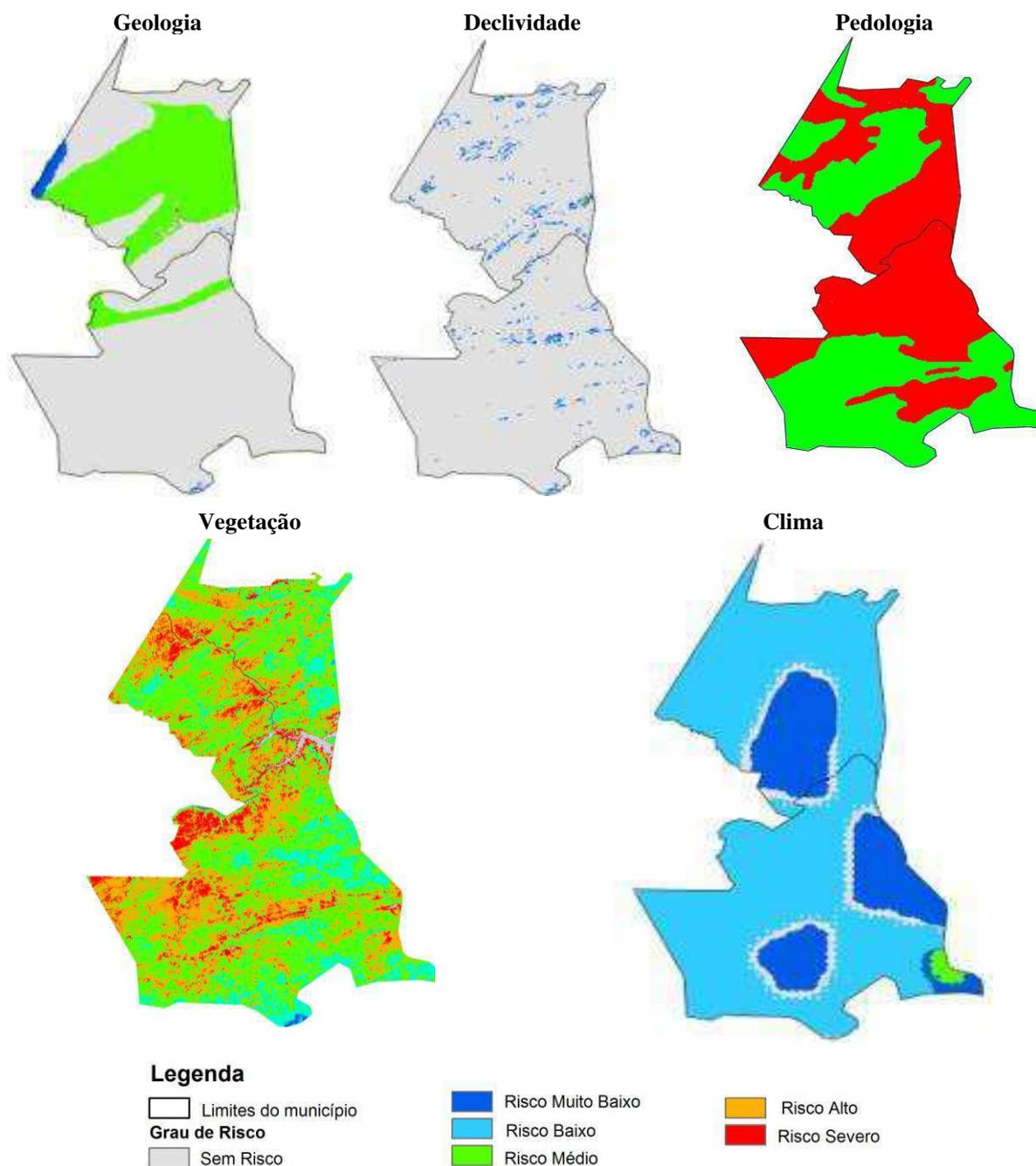


Figura 52. Mapas de risco de cada atributo.

Fonte: Elaborado por Maria da Conceição M. Patrício e Madson Tavares Silva, 2016

O mapa de risco a erosão do solo (Figura 53 e Tabela 36) permitiu constatar que o grau de risco variou entre 1,0 e 2,5, ou seja, sendo classificado respectivamente sem risco a risco alto. O grau de risco revelou que 83,2% da área são de risco muito baixo a risco baixo, 16,7% de risco médio e apenas 0,1 de risco alto, quase insignificante. Pode-se dizer que quase a totalidade da área não corre riscos alto ou severo.

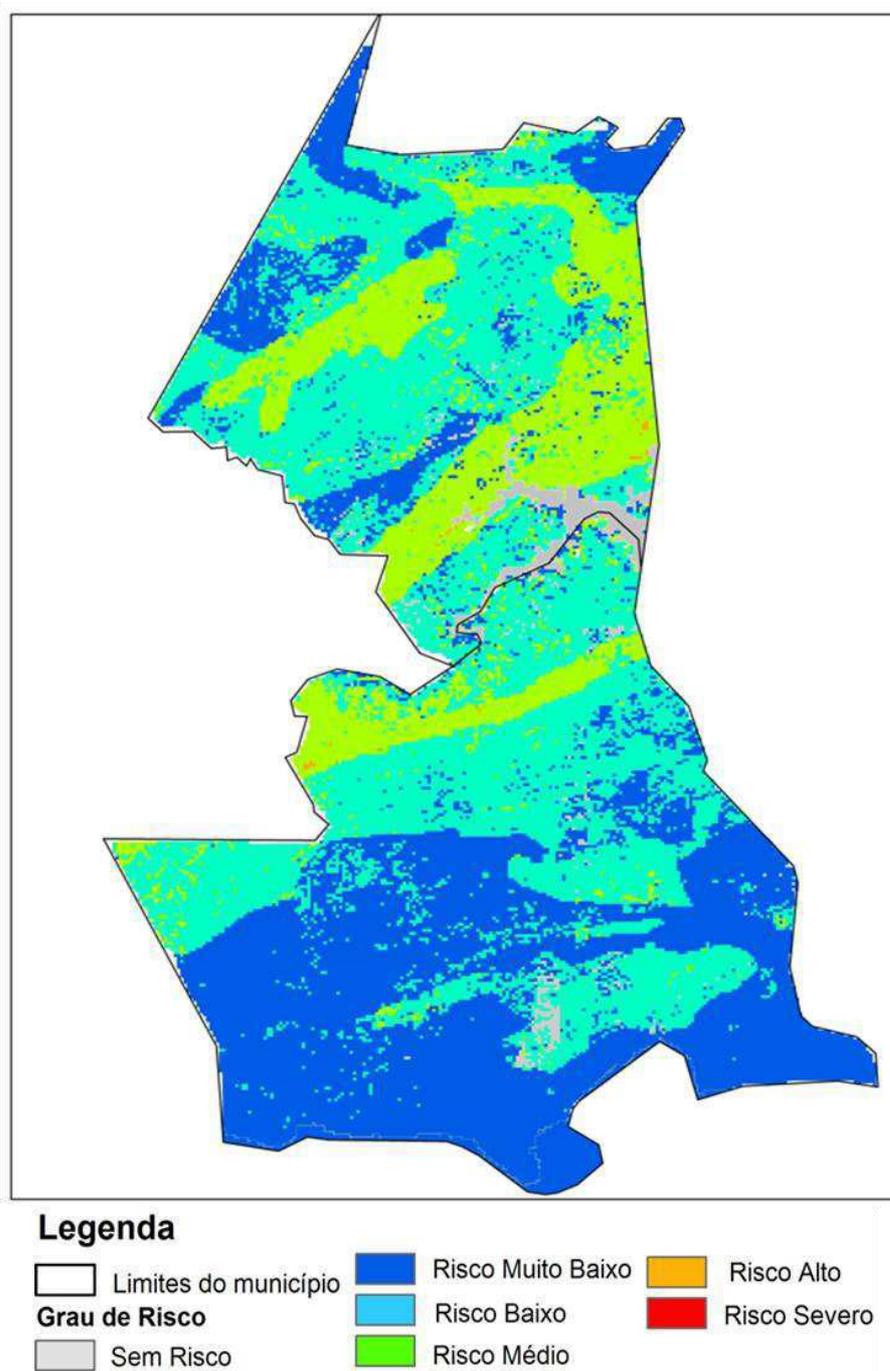


Figura 53. Mapa de risco à erosão do solo dos municípios de Cabaceiras e Barra de São Miguel.
Fonte: Elaborado por Maria da Conceição M. Patrício e Madson Tavares Silva, 2016

Tabela 36. Classes de risco do solo à erosão na área de estudo.

Área %	Valores de Risco	Grau de Risco
1,1	1,0	Sem Risco
38,1	1,4	Risco Muito Baixo
44,0	1,7	Risco Baixo
16,7	2,0	Risco Médio
0,1	2,5	Risco Alto

Fonte: Adaptado de Crepani et al. (2001)

4.4 Exploração e degradação dos recursos naturais

Os municípios de Cabaceiras e Barra de São Miguel fazem parte do bioma Caatinga que é exclusivamente brasileiro. É um bioma heterogêneo composto por um mosaico de arbustos e áreas de florestas sazonalmente seca, ocorrendo principalmente sob condições semiáridas. Independentemente das mudanças de cobertura do solo e o uso não sustentado de seus recursos naturais, o bioma Caatinga tem sido apontado como um dos menos conhecidos e mais negligenciadas dos biomas brasileiros (BEUCHLE et al. 2015).

A Caatinga, apesar de sua importância, vem sendo desmatada de forma acelerada nos últimos anos devido ao consumo de lenha nativa, explorada de forma ilegal e insustentável para fins domésticos e industriais. O desmatamento também é feito para dar lugar ao sobrepastoreio, pastagem e agricultura. Segundo os dados do MMA (Ministério do Meio Ambiente), o desmatamento chega a 46% da área do bioma, ou seja, quase a metade da Caatinga já foi desmatada. O uso da lenha e do carvão teve início com o processo de ocupação nessa região, quando a lenha e o carvão eram as únicas fontes energéticas disponíveis junto ao bagaço da cana (RIEGELHAUPT; PAREYN, 2010).

Quanto à produção extrativa vegetal, Barra de São Miguel apresentou uma produção de lenha bem maior em relação ao município de Cabaceiras. Segundo Travassos e Souza (2014), até a metade da primeira década de 1990 a região do Cariri Oriental paraibano se apresentava como a principal produtora de lenha da Paraíba. E a tendência reducionista na produção para os dois municípios, principalmente entre os anos de 2003 e 2014, pode estar atrelado aos efeitos do desmatamento, ou seja, à rarefação dos recursos naturais (Figura 54).

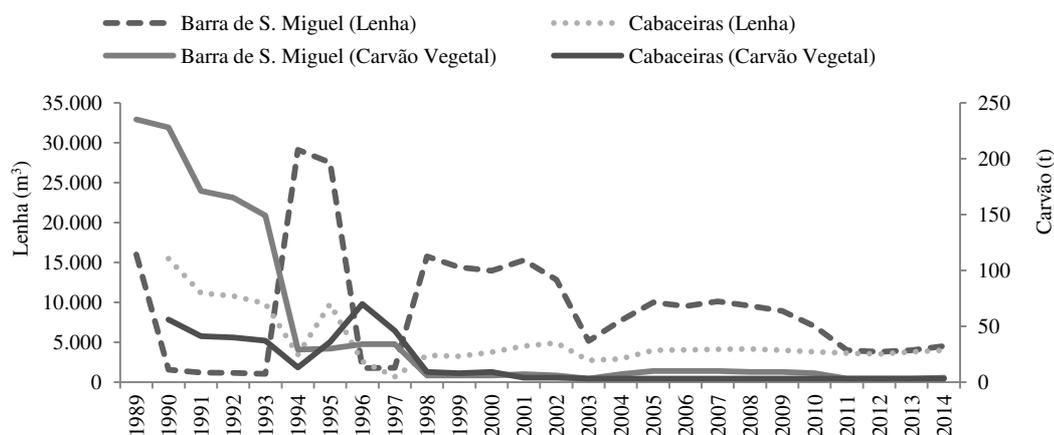


Figura 54. Produção extrativista vegetal em Cabaceiras e Barra de São Miguel.

Fonte: IBGE (2015)

Travassos e Souza (op. cit.), ao investigarem a dinâmica do processo de extração vegetal na região do Cariri Oriental, descobriram que grande parte da lenha retirada do Cariri é exportada para outros municípios. Dentre os quais destacaram Campina Grande-PB e os municípios do Polo Gesseiro do Araripe, em Pernambuco (Araripina, Bodocó, Exu, Granito, Ipubi, Moreilândia, Ouricuri, Santa Cruz, Santa Filomena e Trindade). A região do Polo Gesseiro destaca-se pela produção de gesso e também pela presença de grande quantidade de indústria de cerâmica vermelha e doces, que são grandes consumidoras de lenha. Diante do exposto, nota-se que esse tipo de atividade é uma das principais causas da degradação das terras e é um forte indicador no processo de desertificação.

4.5 Medidas que podem ser tomadas para evitar o risco ao processo de desertificação

Visto que as causas do processo de desertificação são decorrentes das ações antrópicas e que causam sérias consequências, portanto, é importante abordar algumas medidas já difundidas na literatura para mitigar os efeitos causados por este processo. Em destaque tem-se o PAN-Brasil (2004), que é um instrumento político, cujo objetivo é estabelecer diretrizes e instrumentos legais e institucionais para execução de políticas públicas, visando o desenvolvimento sustentável das áreas em risco ao processo de desertificação, no qual desenvolve quatro estratégias de ação baseado nos seguintes componentes:

- Combater a pobreza e as desigualdades;
- Ampliação sustentável da capacidade produtiva;
- Preservação, conservação e manejo sustentável dos recursos naturais; e
- Gestão democrática e fortalecimento institucional.

O Brasil sempre se destacou quanto às problemáticas do processo de desertificação. Desde a 1ª Conferência das Nações Unidas sobre a Desertificação em 1977, quando os problemas foram apresentados ao mundo, Vasconcelos Sobrinho foi o enviado brasileiro a tratar destas questões. Até então, a desertificação só era conhecida como um grave problema no continente africano (PAN Brasil, 2004).

Após o PAN Brasil, foi criado o Programa Estadual de Combate à Desertificação - PAE-PB em 2011 com o objetivo de articular medidas necessárias de combate à desertificação e a mitigação dos efeitos da seca no semiárido paraibano. Os eixos temáticos foram extraídos da UNCCD que fizeram presentes no PAN-Brasil e que por sua vez em sincronia com o PAE-PB, cujos eixos principais são:

- **Base biofísica e sistemas de produção:** (Pesquisa: fomento e papel das instituições científicas; Terras degradadas; Manejo da agrobiodiversidade/Carbono; Recursos hídricos e irrigação/Salinização);
- **Gestão territorial e institucional:** (Ordenamento e gestão do território; Matriz energética; Assistência técnica; Institucionalidades; Gestão do PAE-PB);
- **Cidadania ambiental:** (- Questão fundiária; - Políticas de crédito e incentivos fiscais; Difusão de tecnologias agropecuárias e extrativistas sustentáveis; Segurança alimentar/Agricultura Familiar; Educação/Capacitação de Recursos Humanos).

A Política de Combate à Desertificação e Mitigação dos efeitos da Seca foi criada em junho de 2015 pela Lei nº 13.153/2015 . O principal objetivo dessa política é promover ações de uso dos recursos naturais e iniciativa produtivas sustentáveis em áreas em risco ao processo de desertificação. O Ministério do Meio Ambiente vem adotando medidas de combate a desertificação, fomentando iniciativas estruturais para um boa convivência com o semiárido, de forma a promover segurança alimentar, hídrica, energética e a conservação da vegetação, com uso de tecnologias acessíveis e adaptadas ao clima da região, contribuindo para a melhoria de vida da população local.

Diante desse contexto, pode-se inferir que na realidade as práticas são mínimas ou nada se tem feito para minimizar os danos causados por este processo. As visitas em campo comprovaram que grande parte da região sofre com a degradação dos seus recursos naturais. Um dos problemas presenciáveis foi a forte presença de caprinos e o uso indiscriminado da lenha para a produção de carvão vegetal para fomentar as atividades econômicas como por exemplo a indústria de gesso, no Estado de Pernambuco que recebe lenha do Cariri paraibano.

Vários estudos foram realizados, para mitigar o processo da desertificação e os efeitos da seca na região Nordeste, e comprovaram que com medidas simples e apoio governamental muitos problemas poderiam ser evitados. O que é observado que as soluções muitas vezes não saem do papel. D'odorico et al. (2013), analisou vários estudos de casos e dividiu as soluções em biofísica e socioeconômica. Nas soluções biofísicas envolvem frequentemente o controle da erosão do solo, da salinidade, a gestão do pastoreio e replantio de espécies nativas e nas soluções socioeconômicas envolvem a participação dos atores sociais, pessoas diretamente ligadas com a problemática da desertificação além do bem estar econômico e social. Na África ocidental na região do Sahel, várias estratégias foram desenvolvida para melhorar, manter e restaurar a produtividade do solo em terras agrícolas através de técnicas simples como adição de resíduo e esterco animal, áreas em pousio, restauração da cobertura vegetal

nativa e controle da erosão do solo (WEZEL; RATH, 2003). Os métodos de conservação do solo através de estruturas pequenas (muros baixos, barreiras feitas com vegetação ou pedras) foram tradicionalmente utilizadas em muitas regiões áridas e semiáridas (MICHELS et al. (1998).

Estudos realizados na Índia e na região do Sahel demonstraram o papel das práticas indígenas de armazenar água de chuva e novas tecnologias como a irrigação por gotejamento solar e os sistemas de bombeamento de água usando a energia solar como estratégia para aumentar a segurança alimentar e a redução da pobreza (D'ODORICO et al. 2013). Os projetos de recuperação da vegetação visam a regeneração de pastagem e evitar a erosão do solo. O manejo de pastagem com cercas vivas para controlar a mobilidade animal resultou em maior cobertura vegetal e riqueza de espécies em pastagens áridas no Nordeste da China. No deserto de Chihuahuan (EUA), a remoção de animais em áreas de pastagens por um longo período de tempo levou o aumento de nutrientes do solo e à infiltração do solo (ALLINGTON et al. 2010).

A seleção de árvores tolerantes a salinidade tem auxiliado na mitigação dos efeitos adversos da salinidade e drenagem. Os sistemas afetados pela salinidade associada a água subterrânea, os sistemas de drenagem podem ser usados para reduzir a quantidade de água que percola abaixo da zona de enraizamento (D'ODORICO op. cit). A lixiviação de sais acumulados dentro da zona de enraizamento com água de baixa salinidade é uma prática comum que é usada para combater a salinidade do solo (QADIR et al. 2000). Quanto a sodicidade do solo, as medidas de redução, geralmente diferem daquelas usadas para reduzir a salinidade. Estes incluem aplicações de gesso ou cal no caso de solo sódico ou ácido ou a combinação de ambas as medidas (D'ODORICO op.cit).

Para o êxito das soluções biofísicas é necessário condições sociais favoráveis. A participação da comunidade local e o envolvimento das partes interessadas são cruciais na solução dos problemas relacionados a desertificação. Para que haja participação da comunidade afetada é preciso incluir o fornecimento de incentivos para solicitar o envolvimento das partes e com isso facilitar o treinamento às comunidades locais (BAARTMAN et al. 2007). Melhorar o bem estar socioeconômico de forma sustentável é fundamental para o controle da desertificação. Em muitas terras semiáridas afetadas pelo processo de desertificação, os recursos locais potenciais não foram totalmente utilizados devido a falta de conhecimento e planejamento tais como: questões sociais, conflitos, direito de uso da terra e altos custos de investimentos. A utilização dos recursos naturais pode ser

alcançados através de incentivos econômicos, investimentos público e privado a longo prazo, promover a diversidade da renda e meios de subsistência , investimento em energia renovável, criação de sistema de marketing eficientes e incentivos a pesquisas orientada para o problema (BAARTMAN op.cit.)

5 CONCLUSÃO

Neste estudo buscou-se avaliar e mapear as áreas em risco ao processo de desertificação nos municípios de Cabaceiras e Barra de São Miguel-PB entre os anos de 1989 e 2010. Para avaliar esse processo foi realizado o método da AD para os períodos úmidos e secos baseado nos estudos de Xu et al. (2009) e Lamchim et al. (2016). A partir desse processo foram gerados os mapas de riscos com as combinações de NDVI, TGSÍ e albedo (α). O TGSÍ só é aplicável em áreas nuas ou com vegetação escassa, características que são facilmente encontradas na região semiárida brasileira. Por esta razão, o TGSÍ foi adaptado para este estudo e os resultados obtidos por este índice foram validados através das análises físicas do solo, mostrando-se eficiente para avaliar as áreas de solo exposto com presença de areia, podendo ser aperfeiçoado para toda região Nordeste do Brasil.

Os resultados das avaliações dos riscos ao processo de desertificação através dos parâmetros biofísicos e climáticos não permitiram que houvesse uma avaliação precisa dos reais riscos, visto que, a diversidade dos elementos que formam a paisagem da Caatinga, além das irregularidades das precipitações, tornam a análise e as interpretações das imagens muito complexa. Os resultados do NDVI, TGSÍ e α da superfície terrestre são altamente influenciados pela sazonalidade da vegetação. Por esta razão, não dá para avaliar o processo de desertificação, utilizando apenas um dos parâmetros.

Outro fator importante, é que há um aumento das precipitações e uma diminuição do índice de aridez em Cabaceiras. Diante desse fato, pode-se afirmar que nestas condições não há como desencadear um processo de desertificação. Durante as pesquisas em campo foi observado muitas áreas degradadas com intenso pastoreio e desmatamento. Essas áreas, na maioria das vezes, são cobertas por gramíneas que surgem no período chuvoso e acabam influenciando o resultado por meio de imagens de satélites. Portanto, a degradação observada em campo é de ordem antrópica e não climática.

A análise da erosividade das chuvas, permitiu concluir que: existe uma forte correlação entre a erosividade e o coeficiente de chuva para a área estudada ($R^2 = 0,98$ para Cabaceiras e R^2 para Barra de São Miguel). Sendo assim, destaca-se a importância do conhecimento climatológico da pluviometria da região, tendo em vista que as fortes chuvas apresentam como uma condicionante na degradação do solo, desde que o solo esteja desprotegido pela vegetação. Os maiores valores de erosividade apresentados foram de janeiro a abril com fortes chuvas de elevado potencial erosivo. O município de Cabaceiras se enquadra dentro da erosividade moderada a forte já em Barra de São Miguel erosividade

moderada. O mapeamento realizado para as áreas de risco à erosão verificou-se que a maior parte da área se enquadra dentro do grau sem risco a risco baixo.

Diante do que foi discutido, é provável que as causas de todas as instabilidades sociais, econômicas e ambientais têm a ver com o modelo de economia implantado desde o período colonial. Para explicar o que acontece hoje nos municípios estudados é preciso voltar no tempo. A população altamente pobre e vulnerável é resultado de uma herança colonial de exploração, que vem desde as primeiras décadas do século XVI, com a chegada dos portugueses. A priori o principal objetivo era a exploração e a comercialização do pau-brasil. Daí foi dada a largada à espoliação dos recursos naturais. No ano de 1530 foram iniciadas as plantações de cana de açúcar e com ela a dizimação da Mata Atlântica.

Indo mais para o interior, na região do Sertão nordestino, foi introduzido o gado que passou a ocupar grandes áreas, este exigia amplas terras, no qual serviu de base produtiva ao latifúndio. A estrutura fundiária que se apresenta nos municípios de Cabaceiras e Barra de São Miguel é resultado da forma como se adquiria terras no início da colonização. A agricultura de subsistência foi base do minifúndio com produção de milho, feijão e mandioca para o autoconsumo.

Com base no que foi analisado foi possível identificar alguns problemas considerados entraves para o desenvolvimento socioeconômico da região estudada, um dos exemplos é a grande concentração de terras. Os indicadores sociais como educação e renda *per capita* são os piores em relação à média nacional, ocupando os piores lugares no ranking do IDHM. Dos resultados apresentados, conclui-se que mais da metade da população dos dois municípios está vulnerável à pobreza e o modelo de exploração das atividades econômicas tem produzido a degradação das terras e dos recursos naturais, ou seja, o processo de desertificação.

A mitigação e reversão do processo de desertificação pode ser favorecida pelo envolvimento da comunidade ou pela melhoria da resiliência social, através de diversas instituições tradicionais que podem apoiar as famílias que sofrem com a perda do rebanho devido à seca e doenças. Diante deste contexto, considera-se que qualquer programa de combate a desertificação deve estar atrelado às lutas contra a devastação dos recursos naturais e o desenvolvimento socioeconômico sustentável.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AB'SABER, A.N. A problemática da desertificação e da savanização no Brasil. **Geomorfologia**, n. 53. São Paulo: USP. 20 p. 1977.

AB'SABER, A.N. **Escritos ecológicos**. 2ª Ed. São Paulo: Lazuli. P. 167, 2006.

AESA - Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba. Dados pluviiais. Disponível em: <www.aesa.pb.gov.br/index.php>. Acesso 12/09/2015.

ALBUQUERQUE, A. W.; LOMBARDI NETO, F.; SRINIVASAN, V. S.; SANTOS, J. R. Manejo da cobertura do solo e de práticas conservacionistas nas perdas de solo e água em Sumé-PB. **Revista brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.6 n.1 p. 136-141, 2002.

ALBUQUERQUE, A.W.; MOURA FILHO, G.; SANTOS, J.R.; COSTA, J.P.V.; SOUZA, J.L. Determinação de fatores da equação universal da perda de solo em sumé, PB. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 9, n. 2, p. 153-160, 2005.

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements - FAO Irrigation and drainage paper 56. Rome, Italy, 1998.

ALLINGTON, G.R.H.; VALONE, T.J. Reversal of desertification: The role of physical and chemical soil properties. **Journal of Arid Environments**, v.74, p. 973-977, 2010.

ALMEIDA-FILHO, R.; CARVALHO, C. M. Mapping land degradation in the Gelbués region, northeastern Brazil, using Landsat TM images. **International Journal of Remote Sensing**, v.31, p.1087-1094, 2010.

ALVES, T. L. B.; AZEVEDO, P. V.; SANTOS, C. A. dos. Influence of climate variability on land degradation (desertification) in the watershed of the upper Paraíba river. **Theoretical and Applied Climatology**, v.127, p. 741-751, 2015.

ALVES, J. J. A. Caatinga do cariri paraibano. **Geonomos**, v. 17, p.19-25, 2009.

ALVES, T.L.B.; AZEVEDO, P.V. de. Estimativa da erosividade das chuvas na bacia do riacho Namorado, no município de São João do Cariri - PB. **Ambiência Guarapuava (PR)**, v.9, n.1, p. 13-23, 2013.

ANDRADE, M. C. Movimento dos sem terras e sua significação. **Mercator- Revista Brasileira de Geografia da UFC**, v.1, n.2, p. 13-26, 2002.

ANGIMA, S. D.; STOTT, D. E.; O'NEILL, M. K.; ONG, C. K.; WEESIES, G. A.: Soil erosion prediction using RUSLE for central kenyan highland conditions. **Revista Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 27, p. 295-308, 2003.

ARMESSEN, A. S.; GENOFRE, F. T.; CURTARELLI, M. P. **Análise da vulnerabilidade à erosão através de Sig: um subsídio ao zoneamento ecológico-econômico de Santo Amaro**

da **Imperatriz/SC.** Disponível em: http://www.gthidro.ufsc.br/arquivos/Análise_Vul_Erosão1.pdf. Acesso em: 23/10/2014.

ATLAS DO DESENVOLVIMENTO HUMANO. Educação. Disponível em: <http://www.atlasbrasil.org.br/2013/>. Acesso 12/08/2015.

AUBREVILLE, A. **Climats, forêts et desertification de l'Afrique tropicale**. Paris: Société des Editions Gelgraphiques, Maritimes et Coloniales, 1949.

BAARTMAN, J.E.M.; VAN LUNDEN, G.W.J.; REED, M.S.; RITSEMA, C.J.; HESSEL, R. **Desertification and land degradation: origins, processes and solutions**. DESIRE report series n.4, ISRIC, Netherlands, 2007.

BAGATINE, T.; COGO, N. P.; GILLES, L.; PORTELA, J. C.; PORTZ, G.; QUEIROZ, H. T.: Perdas de solo e água por erosão hídrica após mudança no tipo de uso da terra em dois métodos de preparo do solo e dois tipos de adubação. **Revista brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 999-1011, 2011.

BARBOSA, H.A. Influence of rainfall variability on the vegetation dynamics over Northeastern Brazil. **Journal of Arid Environments**, v. 124, p. 377-387, 2016.

BARBOSA, H.A.; LAKSHMI KUMAR, T.V., SILVA, L.R.M. Recent trends in vegetation dynamics in the South America and their relationship to rainfall. **Natural Hazards**, v.77, p. 883-899, 2015.

BARBOSA, M. P. Territórios de insustentabilidade face ao processo de desertificação no semiárido brasileiro. In: **Costurando com fios invisíveis: a fragmentação do território**. Org. Vitória Régia Fernandes Gehlen e Pilar Carolina Villar Lainé. Recife: Ed. Universitária da UFPE, p. 367, 2012.

BARBOSA,H.A.; HUETE, A.R.; BAETHGEN, W. E. A 20-year study of NDVI variability over the Northeast Region of Brazil. **Journal of Arid Environments**, v. 67, p. 288–307, 2006.

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.

BASTIAANSEN, W.G.M.; MENENTI, M.; FEDDES, R.A.; HOLTSLAG, A.A.M. Remote sensing surface energy balance algorithm for land (SEBAL): 1. Formulation. **Journal of Hydrology**, v. 212-213, p. 198-212, 1998.

BEUCHLE R.; GRECCHI. R. C.; SHIMABUKURO ,Y. E.; SELIGER, R.; EVA, H. D.; SANO E.; ACHARD, F. Land cover changes in the Brazilian Cerrado and Caatinga biomes from 1990 to 2010 based on a systematic remote sensing sampling approach. **Applied Geography**, v. 58, p. 116-127, 2015.

BEZERRA, J.M.; MOURA, G.B. de A.; SILVA. B. B. de.; LOPES, P. M. O.; SILVA, Ê. F.de F. e. 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.

BEZERRA, M.V.C.; SILVA, B.B. da.; BEZERRA, B. G.; BORGES, V. P.; OLIVEIRA, A. S. de. Evapotranspiração e coeficiente de cultura do algodoeiro irrigado a partir de imagens de sensores orbitais. **Revista Ciência Agronômica**, v. 43, n1, p. 64-71, 2012.

BOARDMAN, J.; POESEN, J. Soil erosion in Europe: Major processes, causes and consequences. In: J. BOARDMAN and J. POESEN (Eds), Soil Erosion in Europe. John Wiley and Sons Ltd. p. 479-487, 2006.

BURNEY, J.; CESANO, D.; RUSSELL, J.; ROVERE, E.; CORRAL, T.; COELHO, N.S.; SANTOS, L. Climate change adaptation strategies for smallholder farmers in the Brazilian Sertao. **Climatic change**, v. 126, n. 2, p. 45 -59, 2014.

CANDIDO, H. G.; BARBOSA, M. P.; SILVA, M. J. da. Avaliação da degradação ambiental de parte do Seridó paraibano. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 6, n 2, p. 368-371, 2002

CARVALHO, N. de. O. **Hidrossedimentologia prática**. 2 ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2008, 600p.

CARVALHO, N. de. O. **Hidrossedimentologia prática**. Rio de Janeiro:CPRM, ELETROBRÁS, 1994.

CAVALCANTI, E. R.; COUTINHO, S. F. S.; SELVA, V. S. F. Desertificação e desastres naturais na região do semiárido brasileiro. **Revista Cadernos de Estudos Sociais**, v. 22, n.1, p. 19-31, 2007.

CHANDER, G.; MARKHAM, B. Revised Landsat-5 TM Radiometric Calibration Procedures and Postcalibration Dynamic Ranges. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 41, n.11, p. 2674-2677, 2003.

CHAVES, I DE B.; ; LOPES, V. L.; FFOLLIOTT, P. F.; PAES-SILVA, A. P. Uma classificação morfo-estrutural para descrição e avaliação da biomassa da vegetação da caatinga. **Caatinga**, v. 21, n. 2, p. 204-213, 2008.

CHAVES, I. de B.; FRANCISCO, P. R. M.; LIMA, E. R. V. de.; SILVA, B. B. da.; BRANDÃO, Z. N.; CHAVES, L. H. G. **Índice espectrais, diagnóstico da vegetação e da degradação da caatinga da bacia do Rio Taperoá-PB**. In: Aplicações ambientais brasileiras de geoprocessamento e sensoriamento remoto. Org. (Bernardo Barbosa da Silva). Ed. Edufcg. Campina Grande-PB, p. 1-31, 2013.

CONTI, J. B. O conceito de desertificação. **Revista Climatologia e Estudos da Paisagem**, v. 3. n. 2. p. 39-52, 2008.

CONTI, J. B. A questão climática do nordeste brasileiro e os processos de desertificação. **Revista Brasileira de Climatologia**, v.1, p.7-14, 2005.

CONVENÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS DE COMBATE À DESERTIFICAÇÃO. Tradução: Delegação de Portugal. Lisboa: Instituto de Promoção Ambiental, 1995.

CORRÊA, A. H. Antecedentes do baixo nível de escolarização alcançado por uma coorte de jovens mães brasileiras. **Educação e Pesquisa**, SP. v, 40, n 2, p 499-516, 2014.

CORELL, ELISABETH. **Drylands Degradation - Africa's Main Environmental Challenge**. In: CHAYTOR, BEATRICE AND KEVIN R. GRAY, *International Environmental Law and Policy in Africa*, London: Kluwer Academic Publishers, p.1-29, 2003.

CORREA, S. W.; MELLO, C. R. M.; CHOU, S. C.; CURI, N.; NORTON, L. D. Soil erosion risk associated with climate change at Mantaro River basin Peruvian Andes. **Catena**, v. 147, p. 110-124, 2016.

COSTA FILHO, A.; BARBOSA, M. P.; PETTA, A. R. O uso de geotecnologias no diagnóstico de risco a desertificação no campo Petrolífero Canto do Amaro, município de Mossoró, RN. **Engenharia Ambiental Espírito Santo do Pinhal**, v. 5, n 3, p. 243-253, 2008.

CREPANI, E.; MEDEIROS, J. S.; AZEVEDO, L. G.; HERNANDEZ FILHO, P.; FLORENZANO, T. G.; DUARTE, V. Curso de sensoriamento remoto aplicado ao zoneamento ecológico econômico. In: **Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, 8., Salvador, 1996. **Anais**. São Paulo: Image Multimídia, 1996. Seção de Comunicações Técnico-Científicas. 1 CD-ROM.

CREPANI, E.; MEDEIROS, J.S.; FILHO, P.H.; FLORENZANO, T.G.; DUARTE, V.; BARBOSA, C.C.F. (2001). **Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento aplicados ao zoneamento ecológico econômico e ao ordenamento territorial**. Instituto de Pesquisas Espaciais – INPE. São José dos Campos - SP. 103p.

DIAS, A. S.; SILVA, J. R. C. A erosividade das chuvas em Fortaleza (CE). I Distribuição, probabilidade de ocorrência e período de retorno - 1a. Aproximação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, p.335-345, 2003.

DICKINSON, R. E. Land surface processes and climate surface albedos and energybalance. **Advances in Geophysics**, v. 25, p.305–353, 1983.

D'ODORICO, P.; BHATTACHAN, A.; DAVIS, K.F.; RAVI, S.; RUNYAN, C.W. Global desertification: Drivers and feedbacks. **Advances in Water Resources**, v.51, p. 326-344, 2013.

DULLEY, R.D. Noção de Natureza, ambiente, meio ambiente, recursos ambientais e recursos naturais. **Revista Agrícola de São Paulo**, v51, n 2, p. 15-26, 2004.

DREGNE, H.E. Land degradation in drylands. **Arid Land Research and Management**, v.16, p.99-132, 2002.

DUBEUF, J. P.; BENDAPUDI, R.; BHANDARI, D.; CAPOTE, J.; CARRASCO-SANCHEZ, R.; DASKIRAN, I.; GUIMARAES, V.; INIGUEZ, L.; KOLUMAN-

DARCANH, N.; PEACOCKI, C.; ROTAJ, A.; RICHKOWSKY, B.; SEPEL, L. Scaling up successful practices for pro-poor development projects involving goats: First outputs of a comparative study. **Small Ruminant Research**, v.121, p.146-156, 2014.

EMBRAPA- Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 4ª ed. Brasília DF: Embrapa, 2014. _____ - Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análises de solo. Documento 1.2. Ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA/ CNPS, 1997, 212p.

_____ - Semiárido brasileiro: pesquisa desenvolvimento e inovação. Editores técnicos, Iêdo Bezerra Sá, Pedro Carlos Gama da Silva, Petrolina: EMBRAPA Semiárido, 2010.

_____ Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análises de solo. Documento 1. 2ª ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA/CNPS, 1997, 212p.

FERNANDES, M. de F. Degradação Ambiental e Vulnerabilidades nos Municípios de Araripina-PE, Crato e Barbalha-CE e Marcolândia-PI - Chapada do Araripe: Um estudo comparativo. Tese (Tese) — Universidade Federal de Campina Grande- UFCG, Campina Grande, Paraíba, Brasil, 2010.

FIALHO, S. E. O meio ambiente: o discurso geográfico rumo a transdisciplinaridade. **Revista Ponto de Vista**, v 4, p 37-46, 2007.

FOSTER, G.R.; McCOOL, D.K.; RENARD, K.G.; MOLDENAHUER, W.C. Conversion of the universal soil loss equation to SI metric units. **Journal of Soil and Water Conservation**, v. 36, n.6, p.355-359, 1981.

FREITAS, M. R.; MACEDO, L. G.; FERREIRA, F. B.; FREITAS, M. P. Em busca da conservação ambiental: contribuição da percepção ambiental para a formação e atuação dos profissionais da química. **Revista Química Nova**, v.33, n.4, p. 988-993, 2010.

GAO, L.; BOWKER, M.A.; XU, M.; SUN, H.; TUO, D.; ZHAO, Y. Biological soil crusts decrease erodibility by modifying inherent soil properties on the Loess Plateau, China. **Soil Biology and Biochemistry**, v.105, p. 49-58, 2017.

GIL, Antônio Carlos. Métodos e técnicas de pesquisa social. Ed. 6, São Paulo: Atlas, 2008. ISBN: 978.85.224-5142-5.

GLANTZ, M.H.; ORLOVSKY, N. S. Desertification: a review of the concept. **Desertification Control Bulletin**, v. 9, p.15-22. 1983.

GONÇALVES, C. W. P. **Os (des) caminhos do Meio Ambiente**. 11ª ed. São Paulo: ed Contexto, 2004.

GOVAERTS, Y.; LATTANZIO, A. Estimation of surface albedo in crease during the eighties Sahel drought from Meteosat observations. **Global and Planetary Change**, v. 64, p. 139-145, 2008.

GUERRA, A.J.T. Processos erosivos nas encostas. In: CUNHA, S.B.; GUERRA, A.J.T (Org.). **Geomorfologia - uma atualização de bases e conceitos**. 4ª Ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, p. 149-209, 2004.

GRAINGER, A.; SMITH, M.S.; SQUIRES, V.R.; GLENN, E. P. Desertification, and climate change: the case for greater convergence. **Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change**, v.5, p.361-377, 2000.

GUIMARÃES NETO, L.: Trajetória econômica de uma região periférica. **Estudos Avançados**, v. 11, n.29, p. 37-54, 1997.

HADEEL, A. S.; MUSHTAK, T. J.; CHEN, X. Remote Sensing and GIS Application in the Detection of Environmental Degradation Indicators. **Geo-spatial Information Science**, v.14, p. 39-47, 2011.

HERRMANN S.M.; HUTCHINSON C.F. **The changing contexts of the desertification**. Office of Arid Land Studies, University of Arizona, Tucson, AZ 85719, USA Available online 29 April 2005.

HICKMANN, C.; ELTZ, F.L.F.; CASSOL, E.A.; COGO, C.M. Erosividade das chuvas em Uruguaiana, RS, determinada pelo índice EI₃₀ com base no período de 1963 a 199. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, n.2, p. 825-831, 2008.

HUANG, W.; HO, H. C.; PENG, Y.; LI, L. Qualitative risk assessment of soil erosion for karst landforms in chahe town, Southwest China: A hazard index approach. **Catena**, v.144, p. 184-193, 2016.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <http://www.cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?lang=&codmun=2503100>. 2010. Acesso: 05/04/2015.

_____- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. IBGE cidades. Disponível em: http://www.cidades.ibge.gov.br/xtras/uf.php?lang=_EN&coduf=25&search=Paraíba. Acesso em: 19/01/2017.

_____- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Indicadores Sociais Municipais 2010: incidência de pobreza é maior nos municípios de porte médio*. Disponível em: <http://www.censo2010.ibge.gov.br/noticiascenso?view=noticia&id=3&idnoticia=2019&busca=1&t=indicadores-sociais-municipais-2010-incidencia-pobreza-maior-municipios-porte-medio>. Acesso: 12/09/2015.

_____- *Produção de Extração Vegetal e da Silvicultura*. Disponível em: <http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/tabela/listabl.asp?c=289&z=p&o=30>. Acesso: 07/12/2015.

_____- *Produção Pecuária Municipal 2014*. Disponível em: <http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/tabela/protabl.asp?c=3939&z=p&o=28&i=P>. Acesso: 16/02/2016.

_____-*Produto Interno Bruto (PIB)*. Disponível em: <http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/tabela/listabl1.asp?c=21&n=0&u=0&z=p&o=30&i=P>. Acesso: 13/10/2015.

_____-*Rendimento domiciliar per capita*. Disponível em: <http://saladeimprensa.ibge.gov.br/noticias?view=noticia&id=1&busca=1&idnoticia=2833>. Acesso: 07/12/2015.

IDEB - Índice de Desenvolvimento da Educação Básica. Disponível em: <http://ideb.inep.gov.br/resultado/>. Acesso: 15/10/2015.

IMESON, A.; CURFS, M. Land care in desertification affected areas, 2006. Disponível em: http://geografia.fcsh.unl.pt/lucinda/booklets/B1_Booklet_Final_PT.pdf. Acesso: 28/09/2016.

INCRA. O Brasil desconcentrando terras: Índice de Gine, 2001. Disponível em: www.incra.gov.br. Apud BARBOSA, M. P.: **Territórios de insustentabilidade face ao processo de desertificação no semiárido brasileiro**. In: Costurando com fios invisíveis: a fragmentação do território. Org. Vitória Régias Fernandes Gehlen e Pilar Carolina Villar Lainé. Recife: Ed. Universitária da UFPE, p. 367, 2012.

INEP - Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira. Disponível em: <http://portal.inep.gov.br/web/portal-ideb/portal-ideb>. Acesso em: 30/06/2015.

INSA- Instituto do Semiárido- Sinopse do censo demográfico para o semiárido brasileiro. Disponível em: <http://www.insa.gov.br/censosab/>. Acesso: 13/05/2016.

JOLLIVET, MARCEL; PAVÉ, ALAIN. **O meio ambiente: questões e perspectivas para a pesquisa**. In: VIEIRA, Paulo Freire; WEBER, Jacques. Gestão de recursos naturais renováveis e desenvolvimento: novos desafios para a pesquisa ambiental. São Paulo: Cortez, 1997. p. 53-112.

KANNAN, AMBALAN. Global Environmental Governance and Desertification: a study of Gulf Cooperation Council countries. In: **Introdução: Desertification and Global Environmental Governance**. A. Kannan. First published 2012, p.7.

KANNAN, A. Challenges of Compliance with Multilateral Environmental Agreements: the case of the United Nations Convention to Combat Desertification in Africa. **Journal of Sustainable Development Studies**, v.5, n.2, p. 145-168, 2014.

KINNELL, P.I.A. Event soil loss, runoff and the Universal Soil Loss Equation family of models: a review. **Journal of Hydrology**, v.385, p. 384-397, 2010.

KOPPEN, W.; GEIGER, R. **Klimaate der erde**. Gotha: verlag Justus Perthes, 1928.

KROL, M. S.; BRONSTERT, A. Regional integrated modelling of climate change impacts on natural resources and resource usage in semi-arid Northeast Brazil. **Environmental Modelling & Software**, v. 22, p. 259-268, 2007

LAMCHIN, M.; LEE, J.; LEE, W.; LEE, E. J.; KIM, M.; LIM, C. et al. Assessment of land cover change and desertification using remote sensing technology in a local region of Mongolia. **Advances in Space Research**, v. 57, p. 64–77, 2016.

LAMPREY, H. F. Report on the Desert Encroachment Reconnaissance in Northern Sudan, 21 October to 10 November, **Desertification Control Bulletin**, v, 17, p. 1-7, 1975.

LAVAUDEN, L. **Les forêts coloniales de la France**. Mémoire couronné par l'Académie des Sciences coloniales.. In: Revue de botanique appliquée et d'agriculture coloniale. 21e année, bulletin, n.239-240, Juillet-août, p. 285-365, 1941.

LE HOUÉROU, H.N. **Man-made deserts**: desertization processes and threats. *Arid Land Research and Management* 16:1-36, 2002.

LEAL, I. R.; SILVA, J. M. C da.; TABARELLI, M.; LACHER JR, T. E. Mudando o curso da conservação da biodiversidade na Caatinga do nordeste do Brasil. **Megadiversidade**, v. 1, n 1, p. 140-146, 2005.

LEFEBVRE, H. **The production of the space**. Oxford: Blackwell, 1992 [1974].

LEFF, E. **Ecologia, capital e cultura: racionalidade ambiental, democracia participativa e desenvolvimento sustentável**. Blumenau: ed. FURB, 2000, 381p.

LI, J.; LIU, Z.; HE, C.; TU, W.; SUN, Z. Are the drylands in northern China sustainable? A perspective from ecological footprint dynamics from 1990 to 2010. **Science of the Total Environment**, v, 553, p. 223-231, 2016.

LI, S. G.; HARAZONO, Y.; OIKAWA, T.; ZHAO, L.; HE, Z. Y.; CHANG, X. L. Grass land desertification by grazing and the resulting micrometeorological changes in Inner Mongolia. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 102, p. 125-137, 2000.

LIU, B.Y.; ZHANG, K.L.; JIAO, J.Y. Soil erodibility and its use in soil erosion prediction model. **Journal of Natural Resources**, v.14, p.345-350, 1999.

LIU X.; ZHANG, D.; LUO, Y.; LIU, C. Spatial and temporal changes in aridity index in northwest China: 1960 to 2010. **Theoretical Applied Climatology**, v. 112, p.307–316, 2013.

LIU, F.; CHEN, Y.; LU, H.; SHAO, H. Albedo indicating land degradation around the Badain Jaran Desert for better land resources utilization. **Science of the Total Environment**, v. x, p.1-7, 2016.

LOMBARDI NETO, E. Rainfall erosivity distribution and relationship with soil loss in Campinas, Brasil. West Lafayette: Purdue University, 1977. 53p. Master 's Dissertation.

LOUREIRO, A. O. F; SULIANO, D. C. L. In: Governo do Estado do Ceará Secretaria do Planejamento e Gestão - SEPLAG, 2009.

LU, H.; YU, B.F. Spatial and seasonal distribution of rainfall erosivity in Australia. **Australian Journal of Soil Research**, v. 40, p. 887-901, 2002.

MAINGUET, MONIQUE. **Aridity: Droughts and Human Development**. New York. 2ª ed. Springer, p. 302, 1999.

MARENGO, J. A. **Vulnerabilidade, impactos e adaptação à mudança do clima no semiárido do Brasil**. Parcerias Estratégicas. Brasília, DF, n. 27, 2008. Disponível em: http://www.mct.gov.br/upd_blob/0028/28139.pdf. Acesso: 02/03/2016.

MCTI- Ministério da Ciência Tecnologia e Inovação. Sinopse do censo demográfico para o semiárido brasileiro. Disponível em: <http://www.insa.gov.br/censosab/> . Acesso em: 23/10/2014.

MELLO, C.R.; VIOLA, M.R.; BESKOW, S.; NORTON, L.D. Multivariate models for annual rainfall erosivity in Brazil. **Geoderma**, v. 202-203, p. 88-102, 2013.

MENDONÇA, F.; DANNI-OLIVEIRA, I. M. Climatologia: Noções básicas e climas do Brasil. São Paulo: oficina de textos, p. 201, 2007.

MENDONÇA, Francisco de Assis. **Geografia Física: Ciência Humana?** São Paulo: Contexto, 1998.

MICHELIS, K.; LANERS, J.P.A.; BUERKERT, A. Effects of wind break species and mulching on wind erosion and millet yield in the Sahel. **Experimental Agriculture**, v.64, p.43-449, 1998.

MISHRA, A. K.; INES, A. V. M.; NARENDRA, N. D.; KHEDUN, C. P. Anatomy of a local-scale drought: application of assimilated remote sensing products, crop model, and statistical methods to an agricultural drought study. **Journal of Hydrology**, v.526. p.15-29.

MMA - Ministério do Meio Ambiente. *PRODES* confirma queda no desmatamento. (2015). Disponível em: <http://www.mma.gov.br/index.php/comunicacao/agencia-informma?view=blog&id=1071>. Acesso em: 12 nov. 2015.

MONTENEGRO, S.; RAGAB, R. Impact of possible climate and land use changes in the semi arid regions: A case study from North Eastern Brazil. **Journal of Hydrology**, v. 434, p.55- 68, 2012.

MORGAN, P.R.C. Erosion Hazard Assessment. **Soil Erosion and Conservation**. Third ed. Blackwell Publishing, London, p. 67, 2005.

MORIN, E. Ciência com consciência. Rio de Janeiro: Ed. Bertrand Brasil, 1996.

NACIONOVIC, M. G. G.; MAHLER, C. F.; AVELAL, A. de S.. Soil erosion as a function of different agricultural land use in Rio de Janeiro. **Revista Soil & Tillage Research**, v.144, p. 164-173, 2014.

NOZOE, N.: Sesmarias e apossamento de terras no Brasil colônia. **Revista Economica**, v.7, n.3, p. 587-605, 2006.

OLIVEIRA, A. U. de. **Educação e ensino de geografia na realidade brasileira**. In: OLIVEIRA, A. U. de. (Org.). Para onde vai o ensino da geografia? 4ª ed. São Paulo: Pinski,

1994. p. 135-144.

OLIVEIRA, J. B.; JACOMINE, P. K.; CAMARGO, M.N. Classes gerais de solos do Brasil: guia auxiliar para seu reconhecimento. Jaboticabal: FUNEP, 201p, 1992.

OLIVEIRA, P. T. S.; WENDLAND, E.; NEARING, M.A. Rainfall erosivity in Brazil: a review. *Catena*, v.100, p.139-147, 2013.

OLIVEIRA, M. A. T. de. **Processos erosivos e preservação de áreas de risco de erosão por voçorocas**. In: Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999, 340p.

OKOU, F. A. Y.; TENTE, B.; BACHMANN, Y.; SINSIN, B. Regional erosion risk mapping for decision support: a case study from West Africa. *Land Use Policy*, v. 56, p. 27-37, 2016.

PAE-PB. Programa de ação estadual de combate à desertificação e mitigação dos efeitos da seca no estado da Paraíba: PAE- PB/IICA; SCIENTEC – João Pessoa: Secretaria de Estado dos Recursos Hídricos, do Meio Ambiente e da Ciência e Tecnologia. Superintendência de Administração do Meio Ambiente, 2011.

PAN - Brasil. **Programa de Ação Nacional de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca**. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Secretaria de Recursos Hídricos, 2004, 225p.

PARYSOW, P.; WANG, G.X.; GERTNER, G.; ANDERSON A.B. Spatial uncertainty analysis for mapping soil erodibility based on joint sequential simulation. *Catena*, v. 53, p. 65-78, 2003.

PIRES, F.R.M. **Arcabouço geológico**. In: CUNHA, S.B. da.; GUERRA, J.A.T. (orgs). Geomorfologia do Brasil. 5ª ed. Rio de Janeiro. Bertrand, 2009, 392 p.

PLANO TERRITORIAL DE DESENVOLVIMENTO RURAL SUSTENTÁVEL. Disponível em: http://sit.mda.gov.br/download/ptdrs/ptdrs_territorio159.pdf. Acesso: 12/12/2015.

PNUD - Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento. Desenvolvimento Humano e IDH. Disponível em: <http://www.pnud.org.br/IDH/DH.aspx>. Acesso: 12/10/2015.

PORTELA, J. C. **Restauração da estrutura do solo por sequências culturais e sua relação com a erosão hídrica**. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre-RS. 2009.

PTDR-Forum de Desenvolvimento Sustentável do Território do Cariri. Plano Territorial de Desenvolvimento Rural Sustentável. Disponível em: http://sit.mda.gov.br/download/ptdrs/ptdrs_territorio159.pdf. Acesso: 13/10/2015.

QADIR, M.; GHAFOOR. A.; MURTAZA. G. Amelioration strategies for saline soils: a review. *Land Degradation Development*, v.21, p. 11-501, 2000.

QIN, W.; GUO, Q.; ZUO, C.; SHAN, Z.; MA, L.; SUN, G. Spatial distribution and temporal trends of rainfall erosivity in mainland China for 1951–2010. *Catena*, v. 147, p. 177-186, 2016.

RAMOS, L. F.; KRUGER, C.; MORAES, M. R. de. Levantamento do potencial eólico da região da campanha meridional do Rio Grande do Sul com o modelo de mesoescala WRF e o modelo CFD WIINDSIIM. **Delos**, v.6, p. 1-12, 2013.

REBELLO, E.R. G.; DINIZ, F. de A.; SILVA, J. de F.; et. al. Ocorrência de chuvas máximas em Cabaceiras-PB (cidade mais seca do Brasil) e os eventos de chuvas máximas em 24 horas ocorridas em março de 2008. Congresso brasileiro de meteorologia-CBMET. At São Paulo Brasil, v.1, 2008.

RECURSOS NATURAIS E MEIO AMBIENTE: uma visão do Brasil/IBGE. Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais: 2ª Ed, Rio de Janeiro: IBGE, 1996, 208 p.

REN, H.; HAN, G.; OHM, H.; SCHONBACH, P. et. al. Do sheep grazing patterns affect ecosystem functioning in steppe grassland ecosystems in Inner Mongolia?. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 213, p. 1-10, 2015.

RIBEIRO, M. R.; SAMPAIO, E.V.B.; GALINDO,I.C.L. Os solos e o processo de desertificação no semiárido brasileiro. **Tópicos em ciência do solo**, v.1, n.6, p. 319-412, 2009.

RIBEIRO, F. L.; CAMPOS, S. Vulnerabilidade à erosão do solo da região do alto rio Pardo, Pardinho, SP. **Revista brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.11, n 6, p628-636, 2007.

RIEGELHAUPT, E. M.; PAREYN, F. G. C. A questão energética. In: **Uso sustentável e conservação dos recursos florestais da Caatinga**. Org. Maria Auxiliadora Garíglgio. Brasília. Serviço Florestal Brasileiro. 2 Ed, p. 368, 2010.

ROCHA, R.; SOARES, R. R. Water scarcity and birth outcomes in the brazilian semiarid. **Journal of Development Economics**, v, 112, p. 72-91, 2015.

RODRIGUES, J. O.; EUNICE M. DE ANDRADE, E. M de.; TEIXEIRA, A dos S.; SILVA, B. B. da. Sazonalidade de variáveis biofísicas em regiões semiáridas pelo emprego do sensoriamento remoto. **Engenharia Agrícola**, v.29, n.3, p.452-465, 2009.

SAMPAIO, E. V. S. B.; SAMPAIO, Y.; VITAL, T.; ARAÚJO, M. S. B.; SAMPIO, G. R. **Desertificação no Brasil: conceitos, núcleos e tecnologias e convivência**. Recife, Ed. Universitária da UFPE, p.202, 2003.

SANTOS, C. A. C. Dos; SILVA, B. B. Da. Obtenção dos fluxos de energia à superfície utilizando o algoritmo. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 25, n.3, p. 365-374, 2010.

SANTOS, E. M. dos; FARIA, L. C. M. de. **O educador e o olhar antropológico**. Fórum Crítico da Educação: Revista do ISEP/Programa de Mestrado em Ciências Pedagógicas. v. 3, n.1, 2004.

SANTOS, J. C. N. dos.; PALÁCIO, H. A. de Q.; ANDRADE, E. M. de.; MEIRELES, A. C. M.; ARAÚJO NETO, J. R. de. Runoff de soil and nutrient losses in semiarid uncultivated fields. **Revista Ciência Agronômica**, v.42 n. 3 p. 813-820, 2011.

- SANTOS, Milton. **Metamorfoses do espaço habitado**. São Paulo: Hucitec, 1997.
- SANTOS, R. R. dos. A territorialização do capital e as relações camponesas de produção. **Revista de Geografia Agrária**, v. 2, n 3, p. 40-54, 2007.
- SALES, M. C. L. Evolução dos estudos de desertificação no nordeste brasileiro. **Revista GEOUSP**, n.11, p. 115-126, 2002.
- SHAOHONG, W.; YUNHE Y.; DU, Z.; QINYE, Y. Aridity/humidity status of land surface in China during the last three decades. **Science China**, v 48 p.1510–1518, 2005.
- SILVA, A.P. N da.; MOURA, G. B. de A.; GIONGO, P. R.; SILVA, B. B. da. Albedo de superfície estimado a partir de imagens landsat 5 – TM no semiárido brasileiro. **Revista de Geografia. Recife**, v. 27, n.1, p. 154-168, 2010.
- SILVA, A. M da S.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; LIMA, J. M. de.; AVANZI, J. C. Perdas de solo, água, nutrientes e carbono orgânico em Cambissolo e Latossolo sob chuva natural. **Pesq. Agropec. Bras. Brasília**, v. 40, n.12, p. 1223-1230, 2005.
- SILVA, B. B.; BRAGA, A. C.; BRAGA, C. C. et. al. Procedures for calculation of the albedo with OLI-Landsat 8 images: Application to the Brazilian semiarid. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.20, n.1, p.3-8, 2016.
- SILVA, R. M. A. de. Entre dois paradigmas: combate à seca e convivência com o semiárido. **Sociedade e Estado. Brasília**, v. 18, n. 1/2, p. 361-385, 2003.
- SILVA, R.de.M.; PAIVA, F.M.de.L.; SANTOS, C.A.G. Análise do grau de erodibilidade e perdas de solo na bacia do rio Capiá baseado em Sig e sensoriamento remoto. **Revista brasileira de geografia física**, v.2, n.1, p.26-40, 2009.
- SIMONSEN, R.: **História econômica do Brasil: 1500-1820**. Brasília: Senado Federal, Conselho Editorial. Edições do Senado Federal, v.34, p. 589, 2005.
- SMIRAGLIA, D.; CECCARELLI,T.; BAJOCCO,S.; SALVATI,L.; PERINI,L. Linking trajectories of land change, land degradation processes and ecosystem services. **Environment al Research**, v.147, p.590-600, 2016.
- SOARES, F.V.; RIBAS, R. P.; OSÓRIO, R. G. Evaluating the impact of Brazil's Bolsa Família: Cash Transfer Programs in comparative perspective. **Latin American Research Review**, v. 45, n 2, p 173-190, 2010.
- SOUSA, R. F. **Terras agrícolas e o processo de desertificação em municípios do semiárido paraibano**. 2007. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola). Departamento de Engenharia Agrícola. Universidade Federal de Campina Grande. 2007. 203p.
- SOUZA, B. I. de. Cariri Paraibano: do silêncio do Lugar à desertificação. Tese - Universidade Federal do Rio de Janeiro. Instituto de Geociências. Programa de Pós-Graduação em Geografia, Porto Alegre, RS - 2008.
- SOUZA, B. I. de; SILANS, A. M. B. P. de; SANTOS, J. B. dos. Contribuição ao estudo da

desertificação na Bacia do Taperoá. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.8, n.2, p. 292-298, 2004.

STEFFEM, W.; CRUTZEN, P. J.; MCNEILL, J. R. The anthropocene are humans now overwhelming the great forces of nature. **Ambio**, v.36, p. 614-621, 2007.

SUERTEGARAY, D. M. A. Ambiência e pensamento complexo: Resignific(ação) da geografia. SILVA, A. D. e GALENO, A. (Orgs). **Geografia - Ciência do Complexus. Ensaio Transdisciplinares**. Curitiba: ed. Sulina/UFPR, 2004.

TABARELLI, M.; MELO, M. D. V. C.; LIRA, O. C. De.: A mata atlântica do Nordeste. In: Uma rede pela floresta. Rede de ONGs da Mata Atlântica – RMA. Brasília, p. 149-164, 2006.

TOMASONI, M. A.: Considerações sobre a abordagem da natureza na geografia. In: Reflexões e construções geográficas. SANTOS, Jémison Mattos dos e FARIA, Marcelo (orgs). Ed. Grasp. Salvador, 2004, p11-34.

TASUMI, M.; ALLEN, R. G.; TREZZA, R. At-surface reflectance and albedo from satellite for operational calculation of land surface balance. **Journal of Hydrologic Engineering**, v.13, p.51-63, 2008

TOULMIN, CAMILLA, **Combating Desertification: Encouraging Local Action within a Global Framework**. In: HELGE OLE BERGESEN AND GEORG PARMANN, eds, Green Globe Yearbook of International Co-operation on Environment and Development, Oxford: Oxford University Press, 1994.

THORNTHWAITE, C. W.; MATHER, J. R. The water balance. CENTERTON, N. J. Drexel Institute of technology. Laboratory or climatology, publications in Climatology, v.8, n 1, 1955, 104p.

TRAVASSOS, I. S.; SOUZA, B. I. de. Desmatamento e desertificação no cariri paraibano. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.7, n.1, p. 103-116, 2014.

TRICART, J. **Ecodinâmica**. Rio de Janeiro: IBGE/SUPREN, 1977, 91P.

TROVÃO, D. M. de M.; FERNANDES, P. D.; ANDRADE, L. A. de.; DANTAS NETO, J. Variações sazonais de aspectos fisiológicos de espécie da Caatinga. **Revista brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v .11, n.3 p. 307-311, 2007.

TUCKER, C.J. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. **Remote Sensing Environ**, v. 8, p. 127–150, 1979.

UNEP - The Status of Desertification and Implementation of the United Nations Plan of Action to Combat Desertification, Nairobi: UNEP, 1992.

VALERIANO, M. M. **TOPODATA: guia para utilização de dados geomorfométricos locais**. São José dos Campos: INPE, 2008. Disponível em: <http://www.dsr.inpe.br/topodata/data/guia_enx.pdf>. Acesso em: 06/ 2014.

VARGHESE, N.; SINGH, N. P. Linkages between land use changes, desertification and humandevlopment in the Thar Desert Region of India. **Land Use Policy**, v.51, p. 18-25, 2016.

VASCONCELOS SOBRINHO, J. **Metodologia para identificação de processos de desertificação**. Recife: SEMA/SUDENE, 1978a.

_____. **Desertificação no Nordeste brasileiro**. Recife:s/ed.,1978b.

_____. **O deserto brasileiro**. Recife: UFRPE, 1974.

_____. **Processo de desertificação ocorrente no Nordeste do Brasil**: sua gênese e sua contençaõ. Recife: SEMA/SUDENE, 1982.

_____. **As regiões naturais do Nordeste, o meio e a civilização**. Recife: CEPE- Companhia Editora de Pernambuco, (1970) 2005.

VOLK, L. B. da S.; COGO, N. P. Inter-relação biomassa vegetal subterranean – estabilidade de agregados – erosão hídrica em solo submetido a diferentes formas de manejo. **Revista brasileira de Ciência do Solo**, v.32, n.4, p. 1713-1722, 2008,

WANG, G.X.; GERTNER, G.; LIU, X.Z.; ANDERSON A. Uncertainty assessment of soil erodibility factor for revised universal soil loss equation. **Catena**, v.46, p. 1-14, 2001.

WEZEL, A.; RATH, T. Resource conservation strategies in agroecosystems of semi-arid West Africa. **Journal of Arid Environments**, v.51, p. 383-400, 2003.

WIJTKOSUM, S, The impact of land use and spatial changes on desertification risk in degraded areas in Thailand. **Sustainable Environment Research**, v.11, p. 2-23, 2015.

XIAO, J.; SHEN, Y.; TATEISHI, R.; BAYAER, W. Development of topsoil grain size index for monitoring desertification in arid land using remote sensing. **International Journal of Remote Sensing**, v. 27, p. 2411-2422, 2006.

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D.D. **Predicting rainfall erosion losses a guide to conservation planning**. Washington: USDA. Agruculture Research Service. 1978, 58p,

XU, D.; KANG, X.; QIU, D.; ZHUANG, D.; PAN, J. Quantitative assessment of desertification using Landsat data on a regional scale: a case study in the Ordos Plateau, China. **Sensors**, v. 9, p. 1737-1753, 2009.

ZHANG, T.H., ZHAO, H.L., LI, S.G., et al. A comparison of different measures for stabilizing moving sand dunes in the Horqin sandy land of Inner Mongolia, China. **J. Arid Environ**, v.58, p.203-214, 2004.

ZHANG, Q.; YU XU, C.; ZHANG, Z. Observed changes of drought/wetness episodes in the Pearl River basin, China, using the standardized precipitation index and aridity index. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 98 p.89–99, (2009).

ZHAO, H.L.; ZHAO, X.Y.; ZHOU, R.L., et al., 2005. Desertification processes due to heavy grazing in sandy rangeland, Inner Mongolia. **Journal of Arid Environments**, v. 62, p. 309–319, 2005.

ZICA, M.; ERB, K.H. The global loss of net primary production resulting from human induced soil degradacion in dryland. **Ecological Economics**, v.69, p 310-318, 2009.