

DIAGNÓSTICO FÍSICO CONSERVACIONISTA APLICADO AO ESTUDO DA DESERTIFICAÇÃO NOS MUNICÍPIOS DE CASTELO DO PIAUÍ E JUAZEIRO DO PIAUÍ, NORDESTE, BRASIL

Francilio de Amorim dos Santos¹; Cláudia Maria Sabóia de Aquino²;

¹ *Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Estadual do Ceará. Email: francilio.amorim@ifpi.edu.br*

² *Professora Adjunta da Universidade Federal do Piauí. Email: cmsaboia@gmail.com*

Artigo recebido em 25/04/2016 e aceito em 15/08/2017

RESUMO

O presente estudo buscou avaliar o risco de desertificação nos municípios de Castelo do Piauí e Juazeiro do Piauí, a partir dos parâmetros elencados pelo Diagnóstico Físico Conservacionista (DFC). Os parâmetros do DFC apontaram que a área em estudo possui: 82,6% de seu relevo variando de plano a suave ondulado, 74,7% da área possui alta a muito alta erosividade, 46,2% dos solos apresentam alta erodibilidade, ou seja, alta vulnerabilidade a erosão, 33,1% da área apresenta severidade climática variando de alta a muito alta. Quanto ao NDVI, constatou-se aumento das classes moderadamente alta e moderada de 0,1% e 1,7% entre os anos analisados (1985 e 2009). Os resultados do NDVI sugerem melhorias no ambiente e estágios de sucessão ecológica. O DFC indicou pequeno aumento no risco de desertificação na área que passou de 46.78 em 1985 para 46.86 unidades em 2009, devido aos solos expostos, ao aumento das áreas destinadas aos cultivos temporários e à redução daquelas destinadas aos cultivos permanentes, ao aumento do extrativismo vegetal para produzir carvão vegetal e lenha, ao aumento dos efetivos bovino e ovino. O DFC constituiu uma importante metodologia que permitiu conhecer de forma integrada os elementos da dinâmica da paisagem para fins de planejamento territorial.

Palavras-chave: Desertificação. Parâmetros Biofísicos. Piauí.

PHYSICAL DIAGNOSIS CONSERVATION (PDC) APPLICATION IN EVALUATION OF DESERTIFICATION IN MUNICIPALITIES CASTELO DO PIAUÍ AND JUAZEIRO DO PIAUÍ, NORTHEAST, BRAZIL

ABSTRACT

This study sought to assess the risk of desertification in the municipalities of Castelo do Piauí and Juazeiro do Piauí, from the parameters listed by Conservation Physical Diagnosis (CPD). The CPD parameters indicated that the study area has: 82.6% of its relief ranging from the gently rolling plan, 74.7% of the area has high to very high erosivity, 46.2% of the soils have high erodibility, or is, high vulnerability to erosion, 33.1% of the area has severe climate ranging from high to very high. As the NDVI, there was increased moderately high and moderate classes 0.1% and 1.7% in the analyzed years (1985 and 2009). The results of NDVI suggest improvements in the environment and stages of ecological succession. CPD indicated small increase in the risk of desertification in

the area rose from 46.78 in 1985 to 46.86 units in 2009 due to exposed soil, the increase in the areas intended for temporary crops and the reduction of those intended for permanent crops, increased plant extraction to produce charcoal and firewood, rising beef and lamb effective. The CPD was an important methodology that allowed us to know in an integrated manner the dynamic elements of the landscape for territorial planning purposes.

Keywords: Desertification. Biophysical parameters. Piauí.

INTRODUÇÃO

O conhecimento dos elementos constituintes da dinâmica da paisagem permite integrá-los e analisar as possibilidades de degradação ambiental e através de indicadores de degradação ambiental subsidiar o planejamento físico territorial. Dessa forma, Sales (2003), Troppmair e Galina (2006), Carvalho e Almeida-Filho (2007), Silva (2007), Aquino (2010), Landim *et al.* (2011) e Oliveira (2011) utilizaram-se de indicadores para analisar a desertificação em áreas de clima árido, semiárido e subúmido seco.

A desertificação é considerada “[...] a degradação do solo em áreas áridas, semi-áridas e subúmidas secas, resultante de diversos fatores, inclusive de variações climáticas e de atividades humanas” (BRASIL, 1995, p.149). Ao passo que a degradação das terras nas zonas áridas, semiáridas e subúmidas secas resultam de variações climáticas e atividades humanas devido ao uso inadequado dos recursos naturais (BRASIL, 2004). Logo, surge a demanda por estudos em Áreas Suscetíveis à Desertificação (ASD), a exemplo dos municípios de Castelo do Piauí e Juazeiro do Piauí, apontados por Aquino e Oliveira (2012) e Brasil (2004), como ASD.

Em vários países da América Latina e Caribe, África, Ásia e Europa encontram-se áreas suscetíveis ou em processo de desertificação. Segundo Emeka (2013), a desertificação é um fenômeno antigo, mas que nos últimos anos tem sido acelerada pela expansão demográfica, resulta em uso mais acentuado de áreas com alta fragilidade natural. O estudo Nicholson *et al.* (1998), realizado no Sinai e em Negev, apontam mudanças no albedo da superfície e as imagens de satélite possibilitam visualizar degradação da terra, devido à aglomeração de animais em torno dos poços disponíveis, sobrepastoreio, remoção de árvores e arbustos para produção de lenha, carvão e terras agrícolas, resultando na erosão do solo com produção de voçorocas.

Em estudo realizado em São Vicente e Santo Antão, em Cabo Verde, Martins e Rebelo (2009) afirmam que os problemas resultantes da desertificação geram baixa produtividade primária, ameaças à saúde e bem-estar da população atingida levando ao processo de migração para os principais centros urbanos ou para o exterior do país. Oñate e Peco (2005)

apontam que a desertificação no rio Guadalentín, localizado no Sudeste da Espanha, está ligada à expansão da agricultura irrigada em seu vale e intensas mudanças nas áreas adjacentes.

No Brasil, as ASD abrangem os nove estados da região Nordeste, além do norte de Minas Gerais e norte do Espírito Santo, na região Sudeste, abrangendo 1.488 municípios e compreendendo 1.340.863 km². Em virtude da grande extensão das ASD's para o estudo das causas e efeitos da desertificação, foram criados os seguintes Núcleos de Desertificação ou Áreas Piloto (BRASIL, 2004), quais sejam: Gilbués (PI), Irauçuba (CE), Seridó (RN/PB), Cabrobó (PE).

O processo de desertificação pelo mundo advém das mesmas causas e apresentam consequências semelhantes, dentre elas estão: o desmatamento sem o adequado processo de reflorestamento, o sobrepastoreio em áreas áridas, semiáridas e subúmidas secas, o cultivo de forma intensiva desenvolvido em terras frágeis e sem o manejo adequado, devido ao uso de técnicas de irrigação, a mineração de superfície, a compactação do solo devido ao uso de máquinas agrícolas, ao pisoteio do gado bovino e ao desperdício dos recursos hídricos.

O Piauí possui uma das maiores áreas em desertificação do Brasil, o Núcleo de Gilbués, no Sul do estado, região de transição Caatinga/Cerrado. O Núcleo abrange os municípios de Monte Alegre do Piauí, Gilbués e Barreiras do Piauí, compreendendo 7.694 km² (PEREZ-MARIN, 2012). As ASD piauienses incorporaram 71 municípios, dentre os quais se encontram Castelo do Piauí e Juazeiro do Piauí, objeto estudado neste trabalho. Os referidos municípios apresentam em parte de seus territórios a presença do bioma caatinga e foram indicados em estudo de Aquino (2002) como possuindo fragilidade climática natural, visto que possuem clima subúmido seco e semiárido.

Ao presente estudo foi adaptado e aplicado o Diagnóstico Físico Conservacionista (DFC). Essa perspectiva metodológica permite conduzir racionalmente o uso e o manejo de recursos naturais renováveis, preservando-os (BELTRAME, 1994). Os parâmetros elencados no DFC estão presentes no grupo de indicadores consensuados em Brasil (2004), o que justifica a escolha da metodologia para o estudo da desertificação em Castelo do Piauí e Juazeiro do Piauí.

A utilização de técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto têm sido largamente utilizados para estudos ambientais. A partir de uma base de dados geoambientais e socioeconômicos buscou-se: identificar as características geoambientais, analisar espaço-temporalmente as formas de uso das terras, nos anos de 1985 e 2009, e avaliar o risco de

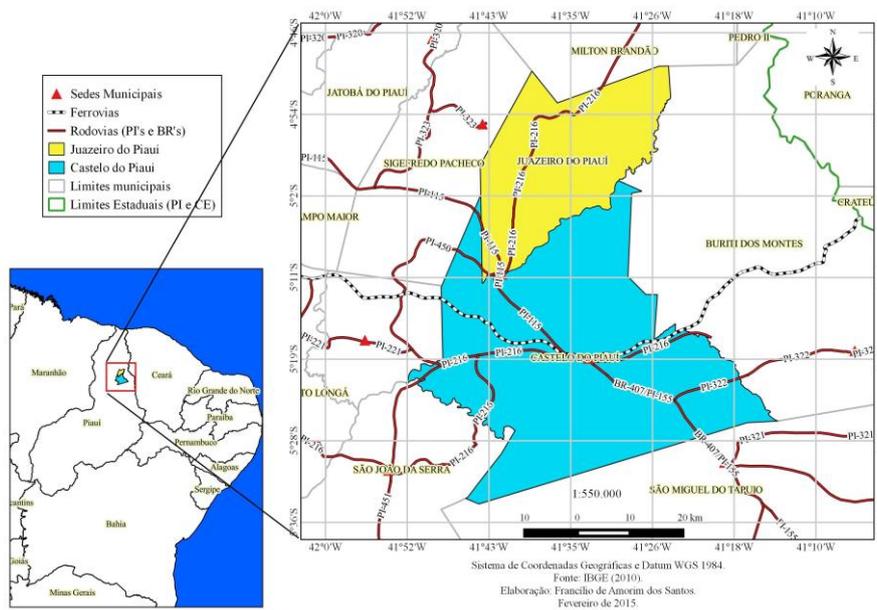
desertificação nos municípios de Castelo do Piauí e Juazeiro do Piauí, a partir dos seguintes parâmetros: Declividade Média (DM), Erosividade das Chuvas (R), Erodibilidade dos Solos (K), Índice Climático (IC) e Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDV), como forma de subsidiar a gestão e o planejamento ambiental nos municípios.

MATERIAIS E MÉTODOS

Localização e caracterização geoambiental da área em estudo

O estudo foi desenvolvido nos municípios de Castelo do Piauí e Juazeiro do Piauí (Figura 1), localizados na Macrorregião do Meio-Norte e Território do Desenvolvimento dos Carnaubais (PIAÚÍ, 2006). Castelo do Piauí possui uma área de 2.035,2 km² e sua sede municipal localiza-se às Coordenadas Geográficas: 05°19'19"S e 41°33'10"O (AGUIAR e GOMES, 2004a; IBGE, 2015). Por sua vez, Juazeiro do Piauí possui área de 827,2 km² e sua sede municipal situa-se às Coordenadas Geográficas de 05°10'19"S e 41°42'10"O (AGUIAR e GOMES, 2004b; IBGE, 2015).

Figura 1: Localização geográfica dos municípios de Castelo do Piauí e Juazeiro do Piauí, Nordeste do estado do Piauí.

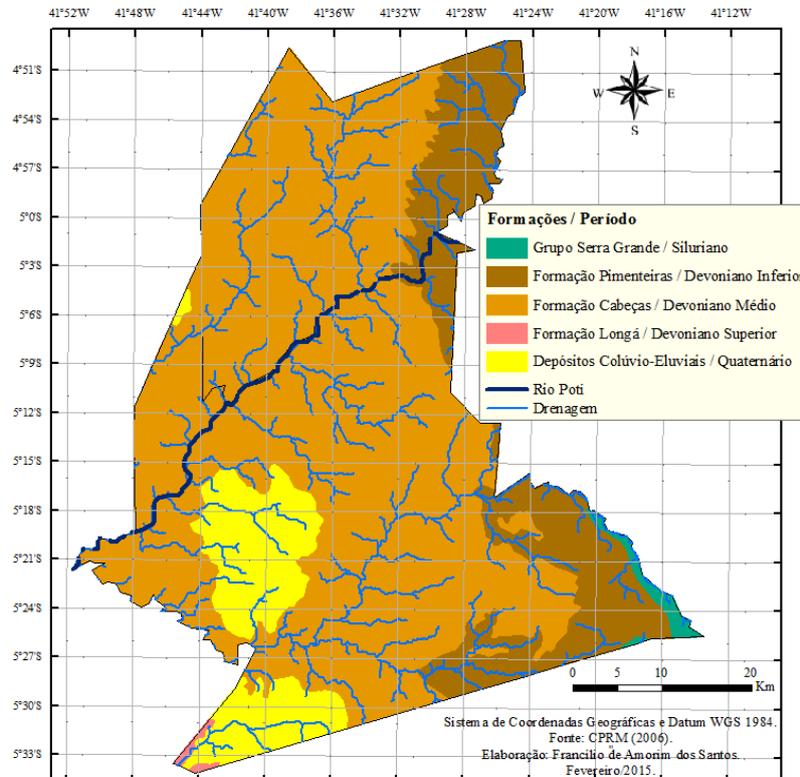


Fonte: IBGE (2010).

A caracterização da estrutura geológica permite conhecer a fragilidade das rochas às intempéries naturais (VALERIANO, 2008). Foram identificadas as seguintes Formações Geológicas na área em estudo (Figura 2): Serra Grande, que abrange 22,9 km² (0,8%) da área

dos municípios e data da Era Paleozóica e Período Siluriano, cuja composição deu-se por arenitos grosseiros com leitos de conglomerado oligomítico e intercalações de siltitos e folhelhos. Pimenteiras, que abrange 492,3 km² (17,2%), data da Era Paleozóica, Período Devoniano Inferior; sua sedimentação inicia com cores variadas e predomina o vermelho e cinza escuro, é uma formação com litologia frágil e vulnerável à erosão. Cabeças, que data do Paleozóico e do Período Devoniano Médio, abrange 2.052,4 km² (71,7%) da área, possui arenitos de cores claras, brancos, cinza-amarelados chegando a vermelho, médios a grosseiro, conglomerático e muito pouco argilosos. Longá, que data do Paleozóico e Período Devoniano Superior, abrange 8,6 km² (0,3%) da área e é composta por folhelhos e siltitos cinza-escuros a pretos, em geral carbonosos, apresentando intercalações de arenitos finos com cores branco-amareladas, laminados. Os Depósitos Colúvio-Eluviais são constituídos por sedimentos que datam da era Cenozóica e do Período Neógeno, abrangendo 286,2 km² (10%) dos referidos municípios (BAPTISTA, 1981; CPRM, 2015). As rochas que constituem as formações descritas apresentam fragilidade variada, a exemplo da maior resistência das rochas da formação Serra Grande e a maior vulnerabilidade da formação Pimenteiras.

Figura 2: Esboço geológico dos municípios de Castelo do Piauí e Juazeiro do Piauí.



Fonte: CPRM (2006).

O relevo da área em estudo apresenta altitudes que variam de 100 a 580 m. Porém, a maior parte da área tem altitudes que se situam entre 180 a 300 m, que abrangem 70,4% da área, principalmente as superfícies planas dos Patamares Estruturais e do Vale da Bacia do rio Poti. A menor parte da área possui altitudes que variam de 420 a 580 m, distribuindo-se por 3,8% da área e são encontradas nas Formações Serra Grande, Pimenteiras e Cabeças.

A Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) é o mais marcante fator que determina a abundância ou a deficiência de chuvas no setor Norte do Nordeste do Brasil, sendo responsável pela ocorrência de chuvas de fevereiro a maio e anos de seca (MOLION e BERNARDO, 2000; FERREIRA e MELLO, 2005). Santos (2015) identificou, por meio do Índice Efetivo de Umidade (IM), que os municípios de Castelo do Piauí e Juazeiro do Piauí possuem 64,7% de suas áreas com clima do tipo subúmido seco, 28,6% com clima do tipo subúmido úmido e 6,7% do tipo semiárido. Logo, 71,4% da área em estudo apresenta clima subúmido seco e semiárido e apresenta suscetibilidade natural à desertificação.

Ainda, segundo o referido autor, os totais de precipitação variam de 900 a mais de 1.200 mm, especificamente, na parte centro-norte, que é influenciado pela ZCIT. Os municípios apresentam 33,5% de seus territórios com 5,1 a 6 meses secos e 30,2% com menos de 5 meses secos. De acordo com Aquino (2010), o período chuvoso em Castelo do Piauí e Juazeiro do Piauí concentra-se nos meses de janeiro a maio, gerando intenso processo de erosão que é agravado em áreas com pouca ou nenhuma proteção da cobertura vegetal, o que pode resultar em expansão do processo de desertificação.

Os municípios estudados apresentam 40% de suas áreas com totais de Evapotranspiração Potencial (ETP) entre 1.500 a 1.600 mm e 32% com ETP superior a 1.600 mm (SANTOS, 2015). Segundo Aquino (2010), os valores são considerados característicos de regiões tropicais semiáridas, devido à grande oferta de energia solar. Tal fato resulta em elevados valores de ETP, altas temperaturas e deficit hídrico significativo, esse último elemento é observado na maioria dos postos.

O município de Castelo do Piauí é drenado pelos rios Poti, do Cais e São Miguel e pelos riachos São Francisco, da Palmeira, das Cangalhas e Boa Ventura. O Poti tem extensão de 450 km e nasce a 600 m de altitude na Serra da Joanhina, através da confluência dos rios Fundo e Cipó. O Poti possui declividade média de 1m/km e apresenta um cânion de 300 m de altura, que vai do povoado Oiticica até a foz do rio Cais, este é afluente da margem direita do Poti e nasce na Serra Grande, possuindo 100 km de extensão. Juazeiro do Piauí é drenado pelos rios Poti e Parafuso e pelo riacho Vertente. O rio Parafuso é afluente da margem direita

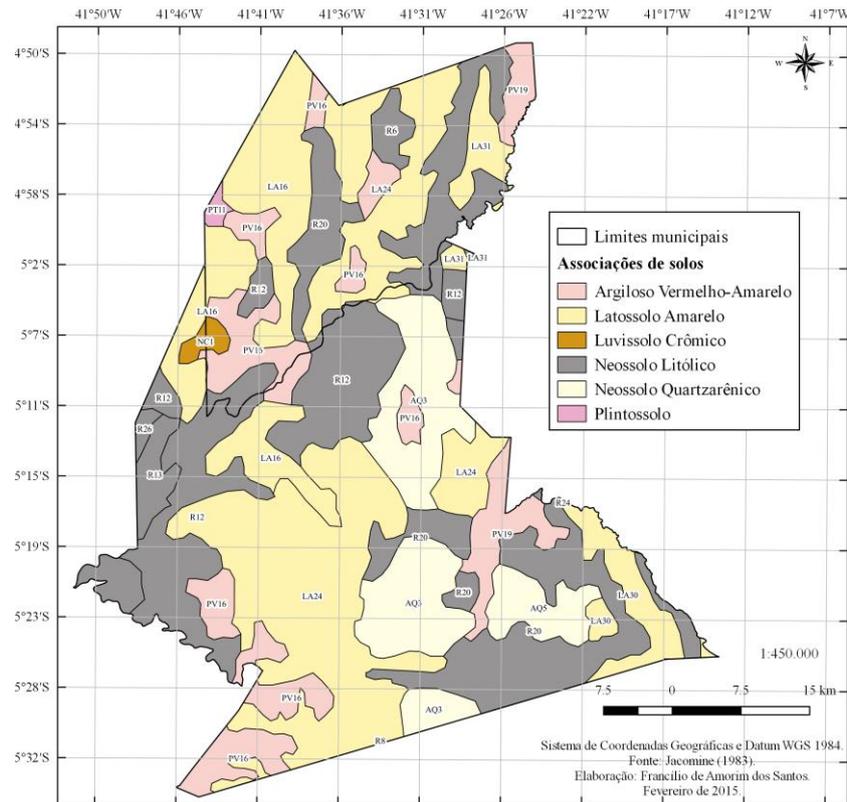
do Poti, nasce em Pedro II e tem 90 km de extensão (BAPTISTA, 1981; AGUIAR e GOMES, 2004a; 2004b).

A diversidade de rochas existentes aliada aos mecanismos naturais de intemperismo, o relevo e o tempo (cronológico) origina diversos tipos de solos. Jacomine (1983) identificou 17 associações de solos na área em estudo, estas foram agrupados em 6 ordens (Figura 3): os Neossolos Quartzarênicos que se distribuem por 12,8% da área e caracterizam-se por não possuir contato lítico dentro de 50 cm de profundidade, porém apresentam textura areia ou areia franca em todos os horizontes até a profundidade de 150 cm; os Luvisolos Crômicos ocupam 0,6% da área e possuem horizonte B textural com argila de atividade alta e saturação por bases altas; os Latossolos Amarelos são a mais expressiva ordem na área em estudo, cobrindo 40,5% da área e, em geral, são muito intemperizados, profundos, de boa drenagem e grande homogeneidade de características ao longo do perfil; os Plintossolos Pétricos distribuem-se por 0,2% da área e são suscetíveis ao efeito temporário do excesso de umidade, geralmente, são imperfeitamente ou mal drenados, apresentam expressiva plintitização com ou sem petroplintita e são fortemente ácidos; os Argissolos Vermelhos-Amarelos ocupam 12,7% da área e possuem argila de atividade baixa ou alta conjugada com saturação por bases baixa ou caráter alítico, cuja principal característica é a translocação de argila do horizonte superficial A para o subsuperficial B; os Neossolos Litólicos são a segunda ordem de solos mais abrangentes, distribuindo-se por 33,2% da área e são formados por material mineral ou orgânico pouco espesso, não apresentando alterações significativas relacionadas ao material originário devido à baixa intensidade de atuação dos processos pedogenéticos ou devido às características inerentes ao próprio material de origem (IBGE, 2007; EMBRAPA, 2009).

Diagnóstico Físico Conservacionista (DFC) aplicado ao estudo da desertificação

No presente estudo empregou-se metodologia quantitativo-qualitativa, visto que foi realizada quantificação na coleta de dados, na sua análise e na sua interpretação. Por sua vez, a pesquisa apresentou natureza explicativa, pois buscou identificar os fatores que influenciam a ocorrência de desertificação em Castelo do Piauí e Juazeiro do Piauí. O estudo pautou-se na abordagem integrada que, para Aquino (2010), constitui uma valorosa contribuição ao propor que o homem e a natureza influenciam a dinâmica dos processos de degradação ambiental.

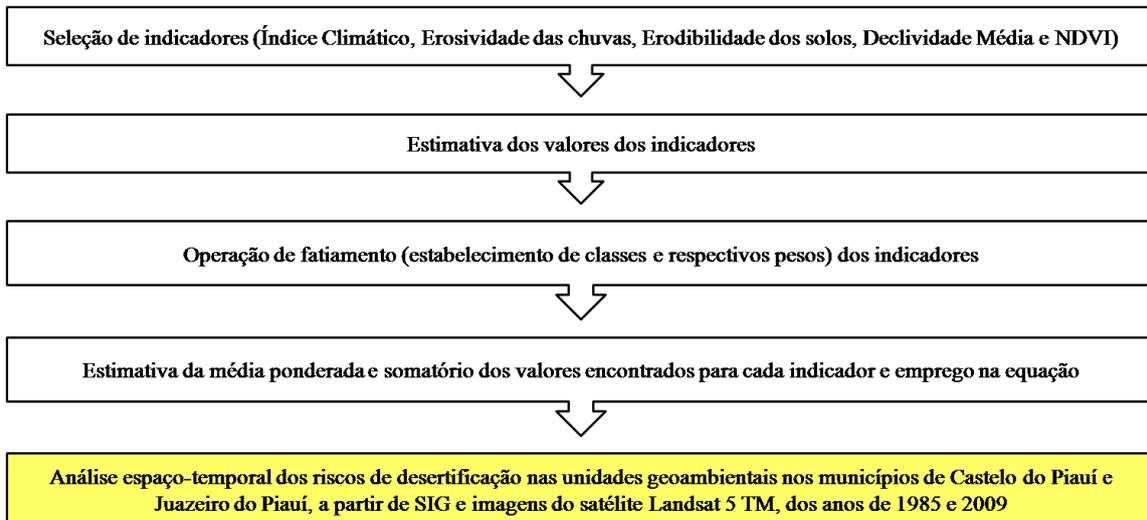
Figura 3: Esboço pedológico dos municípios de Castelo do Piauí e Juazeiro do Piauí.



Fonte: Jacomine (1983). Adaptado pelos autores (2016).

O estudo da desertificação reuniu uma base de dados oriundos de vários elementos da dinâmica espacial, que foi construída através de pesquisas realizadas no (a): Serviço Geológico do Brasil (CPRM), Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), Fundação Centro de Pesquisas Econômicas e Sociais do Piauí (CEPRO), Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e *United States Geological Service* (USGS - Serviço Geológico dos Estados Unidos). Os referidos dados foram refinados e agrupados através dos parâmetros elencados pelo Diagnóstico Físico Conservacionista e manuseados através do ArcGIS 10, conforme a Figura 4.

Figura 4: Esquema metodológico empregado para avaliação do risco de desertificação nos municípios de Castelo do Piauí e Juazeiro do Piauí.



Fonte: Adaptado de Aquino (2010).

A metodologia utilizada para a avaliação do risco de desertificação nos municípios de Castelo do Piauí e Juazeiro do Piauí baseou-se na aplicação do DFC, proposto por Beltrame (1994). Em suma, ao integrar os valores de cada um dos parâmetros, é possível apontar, segundo Pinheiro (2011), que quanto maiores forem os valores dos índices de cada parâmetro, maior será o potencial de risco à desertificação e vice-versa, portanto, uma relação diretamente proporcional. Os parâmetros descritos foram agrupados quantitativamente e analisados por meio de fórmula descritiva, expressa pela Equação 1 (BELTRAME, 1994):

$$\mathbf{E(f): DM + R + K + IC + NDVI} \quad [\text{Eq. 1}]$$

Onde:

E(f) = é o estado físico conservacionista, que é proporcional aos parâmetros;

DM = Declividade Média;

R = Erosividade das chuvas;

K = Erodibilidade dos solos;

IC = Índice Climático;

NDVI = Índice de Cobertura Vegetal, representado pelo NDVI.

Os índices analisados para obtenção dos valores que serão utilizados na fórmula descritiva do DFC, para estimar o risco de desertificação nos municípios de Castelo do Piauí e Juazeiro do Piauí serão descritos a seguir.

Declividade Média (DM)

A determinação das classes de declividade no presente estudo baseou-se no Modelo Digital de Elevação (MDE), conforme exposto na Tabela 1. Esses foram obtidos a partir da missão SRTM (*Shuttle Radar Topographic Mission*), através do site da EMBRAPA (2005). Para Valeriano (2008), a elaboração de MDE's corresponde ao armazenamento de cotas altimétricas em arquivo digital composto por linhas e colunas.

Tabela 1: Intervalos de Declividade Média (DM) com respectivas denominações das classes correspondentes a cada peso.

Intervalos de DM (%)	Classe atribuída	Peso
0 a 3	Plano	1
3 a 8	Suave Ondulado	2
8 a 20	Ondulado	3
20 a 45	Forte Ondulado	4
45 a 75	Montanhoso	5

Fonte: EMBRAPA (2009).

EROSIVIDADE DAS CHUVAS (R)

A Erosividade das chuvas (R) diz respeito à capacidade dos agentes de erosão, como a água, causar desprendimento do solo e transportá-lo (LAL e ELLIOT, 1994). Devido problemas ligados à aquisição de dados via pluviógrafos, vários autores e o presente estudo utilizaram método indireto para representar a Erosividade das chuvas, conforme Equação 2 (LOMBARDI NETO e MOLDENHAUER, 1992), que se baseia em regressão linear entre o índice médio mensal de erosão e o coeficiente de chuva.

$$E = 67,355 (r^2 / P)^{0,85} \quad [\text{Eq. 6}]$$

Onde: **E** = média mensal do índice de erosão (t/ha.mm/h); **r** = precipitação média mensal em mm; **P** = precipitação média anual em mm.

Para estimar os valores de R foi necessário determinar a média mensal do índice de erosão. Os dados de 'r' foram obtidos das planilhas de dados pluviométricos de 13 estações da rede hidrogeológica da Superintendência para o Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE, 1990). Essas informações foram empregadas na metodologia de Thornthwaite (THORNTHWAITE e MATHER, 1955). As falhas das séries (1963 a 1985) foram corrigidas pelo Método de Ponderação Regional proposto em Tucci (1993). A partir dos dados pluviométricos obtidos das 13 estações foram estabelecidas as seguintes classes de Erosividade das chuvas (Tabela 2).

Tabela 2: Intervalos de Erosividade das chuvas (R) com respectivas denominações das classes correspondentes a cada intervalo.

Amplitude de R (MJ.mm/ha.h.ano)	Classe atribuída	Peso
R < 6.460	Muito Baixa	1
6.460 < R < 6.840	Baixa	2
6.840 < R < 7.220	Moderada	3
7.220 < R < 7.600	Alta	4
R > 7.600	Muito Alta	5

Fonte: Organizado pelos autores.

Ressalta-se que os dados dos postos pluviométricos foram manuseados através do pacote de programas computacionais USUAIS (OLIVEIRA e SALES, 2016), para estimar os valores do fator R.

Erodibilidade dos solos (K)

A Erodibilidade dos solos resulta da interação entre as condições intrínsecas do solo, características físicas e químicas e das condições externas relacionadas ao manejo (CREPANI *et al.*, 2001). Para estimar as classes de erodibilidade para as 17 associações de solos encontradas em Castelo do Piauí e Juazeiro do Piauí, segundo Jacomine (1983), utilizou-se a metodologia proposta por Crepani *et al.* (2001), que considera como parâmetro o grau de desenvolvimento ou maturidade do solo (Tabela 3).

Tabela 3: Intervalos de Erodibilidade dos solos (K) com respectivas denominações das classes correspondentes a cada peso.

Ordens de solos	Classe atribuída	Peso
Latosolos Amarelos	Baixa	1
Bruno Não-Cálcico e Podzólicos Vermelho-Amarelo	Moderada	2
Areias Quartzosas, Plintossolos e Solos Litólicos	Alta	3

Fonte: Crepani *et al.* (2001). Adaptado pelos autores.

ANÁLISE CLIMÁTICA A PARTIR DO ÍNDICE CLIMÁTICO (IC)

O mapa de Índice Climático (IC) foi elaborado através da combinação dos mapas de Índice Efetivo de Umidade (IM) e Número de Meses Secos (MS). O IM permite estimar o quanto úmido ou seco é o clima de determinada área (THORNTHWAITE e MATHER, 1955), ao combinar valores de Evapotranspiração Potencial, Excedente Hídrico e Déficit Hídrico do balanço, conforme Equação 3.

$$IM = [(EXC - DEF) \times 100] / ETP \quad [Eq. 3]$$

Onde: **IM** = é o Índice Efetivo de Umidade (IM); **EXC** = é o Excedente Hídrico Anual; **DEF** = é o Déficit Hídrico Anual; **ETP** = é a Evapotranspiração Potencial Anual.

ÍNDICE DE VEGETAÇÃO POR DIFERENÇA NORMALIZADA (NDVI)

A determinação do parâmetro cobertura vegetal possibilitou o conhecimento a respeito do nível de proteção da vegetação proporcionada ao solo, atualmente (BELTRAME, 1994). Para elaboração do mapa de Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) foram adquiridas imagens (Quadro 1) do satélite Landsat 5 TM, através do site do Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS), imageadas nos meses de setembro e outubro, considerados meses do período seco, dos municípios de Castelo do Piauí e Juazeiro do Piauí, pois apresentavam menor quantidade de nuvens.

Quadro 1: Características das cenas do satélite Landsat 5 TM, imageadas do período seco para os municípios de Castelo do Piauí e Juazeiro do Piauí.

Órbita/Ponto	Datas	Resolução	Órbita/Ponto	Datas	Resolução
218/63	29/09/1985	30 metros	218/63	01/10/2009	30 metros
218/64	29/09/1985	30 metros	218/64	01/10/2009	30 metros

Fonte: USGS (2015).

O índice de cobertura vegetal que foi mensurado através do NDVI e utilizou a Equação 9, descrita abaixo (JENSEN, 1996 apud MELO et al., 2008):

$$\text{NDVI} = (\text{NIR} - \text{R}) / (\text{NIR} + \text{R}) \quad [\text{Eq. 9}]$$

Em que: **NDVI** é o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada; **NIR** é a refletância no comprimento de onda correspondente ao Infravermelho Próximo (0,76 a 0,90 μm); **R** é a refletância no comprimento de onda correspondente ao Vermelho (0,63 a 0,69 μm).

As classes do NDVI, para 1985 e 2009, estão dispostas na Tabela 5, podendo-se inferir que a classe 1 corresponde à melhor condição de proteção da cobertura vegetal e a classe 5 representa a pior condição encontrada na área em estudo.

Tabela 5: Intervalos do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) com respectivas denominações das classes correspondentes a cada intervalo.

Intervalos do NDVI	Classe	Peso
0,6 a < 0,8	Moderadamente Alta	1
0,4 a < 0,6	Moderada	2
0,2 a < 0,4	Moderadamente Baixa	3
> 0 a < 0,2	Baixa	4
< 0	Solo Exposto	5

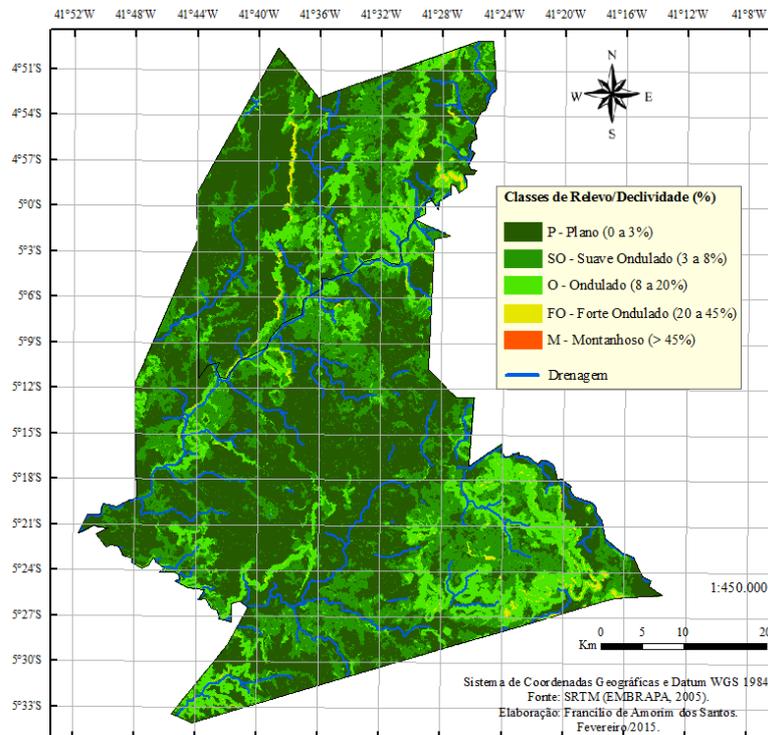
Fonte: Organizado pelos autores.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

No relevo da área estudada predominam baixas declividades (Figura 5), com 47,3% da área classificada como possuindo relevo plano. Ao passo que relevo suave ondulado e ondulado foi encontrado, respectivamente, em 35,3% e 14,5% da área. Destaca-se que em 2,9% dos municípios foi identificado relevo forte ondulado a montanhoso, estas classes estão relacionadas às vertentes das formações geológicas, principalmente, à Serra Grande em sua vertente a sotavento. Logo, pode-se afirmar que o relevo dos municípios supracitados apresenta declividade modesta e, salvo o aspecto climático, principalmente, as baixas taxas de precipitações na parte centro-sul e sudeste, a área em estudo apresenta-se favorável à prática de atividades agropecuárias.

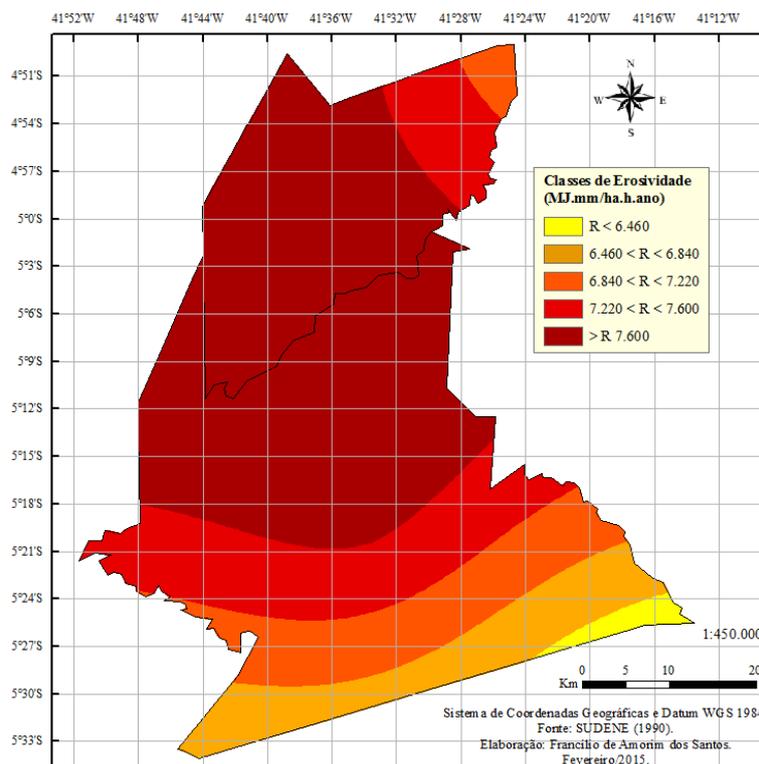
Os municípios em estudo apresentam valores de Erosividade das chuvas (R) que variam de muito baixa a muito alta (Figura 6). Maior parte dos municípios possui alta a muito alta e muito baixa a baixa Erosividade, distribuindo-se por 74,7% e 11,9%, respectivamente. O período de maior Erosividade das chuvas (R) concentra-se nos meses de janeiro a abril, resultado da concentração das precipitações nos referidos meses do ano. Os dados assemelham-se aos de Aquino (2010), que identificou maior concentração de erosividade nos meses de novembro a abril para o núcleo de São Raimundo Nonato (Piauí), e Pinheiro (2011), que aponta os maiores valores de R situados nos meses de fevereiro a maio para a bacia do riacho Feiticeiro (Ceará).

Figura 5: Declividade Média dos municípios de Castelo do Piauí e Juazeiro do Piauí.



Fonte: SRTM (EMBRAPA, 2005).

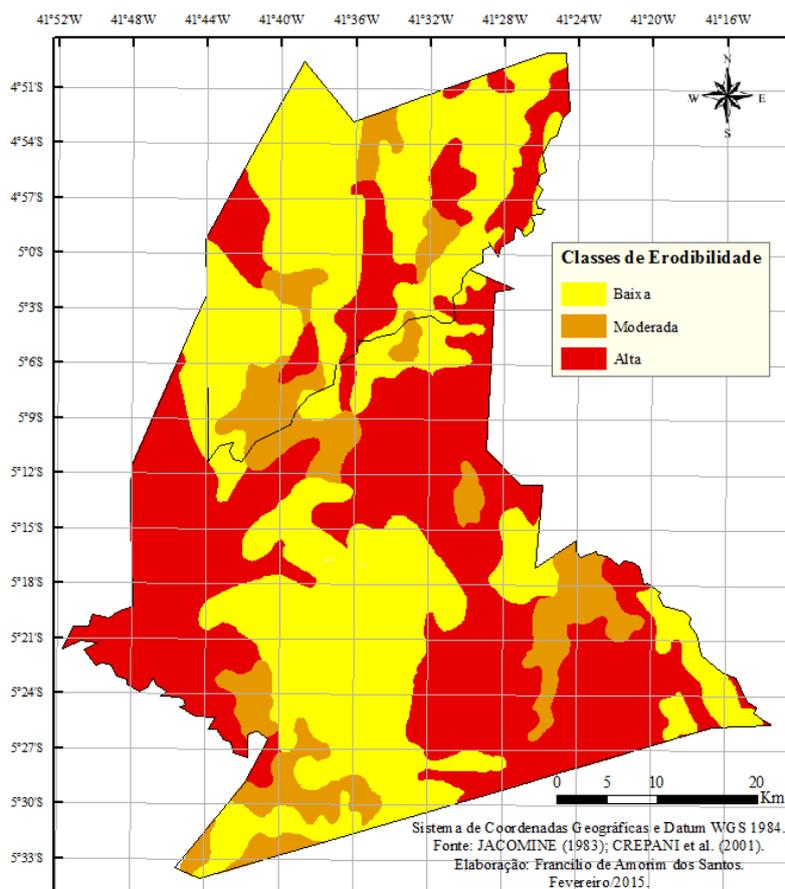
Figura 6: Erosividade das chuvas dos municípios de Castelo do Piauí e Juazeiro do Piauí.



Fonte: SUDENE (1990).

Os solos dos municípios estudados apresentam 40,5% de sua área situada na classe de Baixa Erodibilidade, 46,2% enquadram-se na classe Alta e 13,3% na classe Moderada, conforme a Figura 7. Desse modo, infere-se que 46,2% dos solos da área, ou seja, os Neossolos Quartzarênicos, os Plintossolos e Neossolos Litólicos, apresentam suscetibilidade à erosão resultando em alta erodibilidade, segundo metodologia de Crepani *et al.* (2001). Os Latossolos foram enquadrados na classe Baixa de Erodibilidade (K), correspondendo aos 40,5%. Os Luvisolos Crômicos e os Argissolos são classificados como de Erodibilidade Moderada, em 13,3% da área dos municípios.

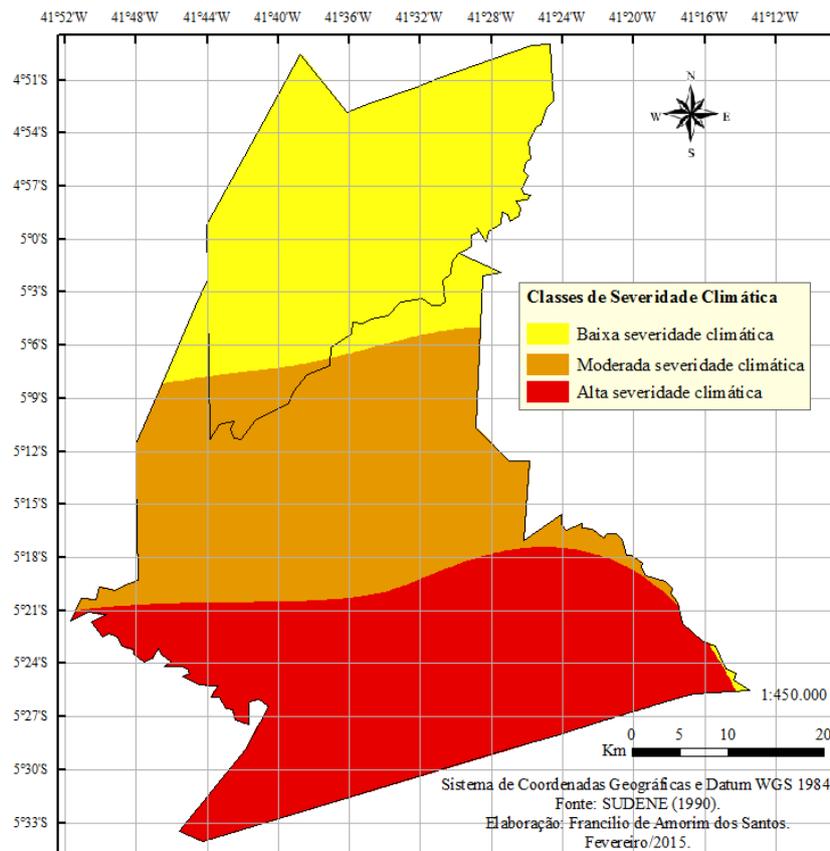
Figura 7: Erodibilidade dos solos dos municípios de Castelo do Piauí e Juazeiro do Piauí.



Fonte: Jacomine (1983) e Crepani *et al.* (2001). Adaptado pelos autores.

Quanto ao Índice Climático (IC) os municípios em estudo apresentam 38,4% de suas áreas classificadas como de moderada severidade climática, seguida da classe de baixa severidade climática, que abrange 28,5% da área e, quando somados os percentuais das classes alta e muito alta severidade climática, estas correspondem a 33,1% da área (Figura 8). Tais resultados assemelham-se aos de Melo (2008), que afirma que a severidade climática obtida através do IC possui condições desfavoráveis à medida que a área está mais afastada da zona de influência do planalto da Ibiapaba em direção a áreas mais rebaixas, a exemplo de Castelo do Piauí e Juazeiro do Piauí.

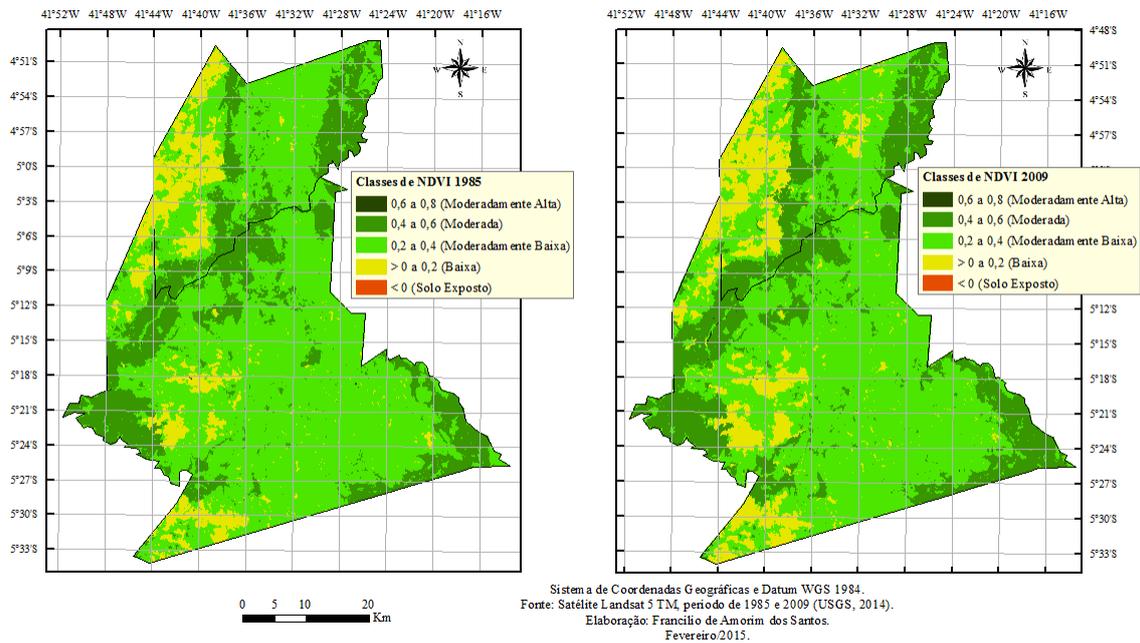
Figura 8: Índice Climático dos municípios de Castelo do Piauí e Juazeiro do Piauí.



Fonte: SUDENE (1990).

A cobertura das terras nos municípios de Castelo do Piauí e Juazeiro do Piauí apresentam variações em seu padrão de proteção (Figura 9). Desse modo, as imagens apontaram que a classe moderadamente alta e moderada apresentou aumento, respectivamente, de 0,1% e 1,7% em seu padrão de proteção, de 1985 para 2009, pois a classe moderadamente alta que apresentava 8,6 km² em 1985 passou a 11,4 km² em 2009. Por sua vez, a classe moderada que possuía 750 km² em 1985 aumentou para 798,6 km² em 2009. Por outro lado, a classe moderadamente baixa apresentou perda da ordem de 5,1%, de 1985 para 2009, pois no primeiro ano apresentava 1.640,2 km², sendo reduzida para 1.494,2 km², no último ano. A classe baixa apresentou aumento de 3,3%, de 1985 para 2009, passando de 460,8 km² para 555,3 km². Destaca-se a manutenção da classe de solo exposto, na faixa de 0,1% de 1985 a 2009.

Figura 9: Índice de Vegetação por Diferença Normalizada dos municípios de Castelo do Piauí e Juazeiro do Piauí, comparação entre os anos de 1985 e 2009.



Fonte: USGS (2015).

Pode-se inferir que o aumento das classes moderadamente alta e moderada, de 1985 para 2009, é resultado: da redução da extração mineral realizada pela empresa ECB Rochas Ornamentais em Juazeiro do Piauí; da redução do efetivo de caprinos, conforme dados da Pesquisa Pecuária (IBGE, 1997; 2009); e do aumento da área destinada ao plantio da cultura permanente de cajueiros para a produção de castanha, de 1997 para 2009, segundo dados da Pesquisa Agropecuária (IBGE, 1997; 2009).

Por outro lado, a redução da classe moderadamente baixa e o aumento da classe baixa é resultado: do aumento dos efetivos bovino e ovino de 1997 para 2009, conforme atestam os dados da Pesquisa Pecuária (IBGE, 1997; 2009); expansão das áreas destinadas aos cultivos temporários, segundo dados da Pesquisa Agropecuária (IBGE, 1997; 2009), que demandam substituição da cobertura vegetal natural; e desmatamento da vegetação do tipo caatinga arbustiva para a produção de carvão vegetal e lenha de 2004 para 2009 (IBGE, 2015).

FÓRMULA DESCRITIVA FINAL, CÁLCULO DO VALOR DO RISCO DE DEGRADAÇÃO/DESERTIFICAÇÃO E AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS PELO DIAGNÓSTICO FÍSICO CONSERVACIONISTA (DFC)

A Equação 1 que relaciona os parâmetros da fórmula descritiva permitem analisar qualitativamente o grau de degradação dos recursos naturais. A fórmula descritiva foi adaptada para os municípios de Castelo do Piauí e Juazeiro do Piauí e aplicada aos anos de 1985 e 2009, o que permitiu avaliar as mudanças ocorridas no resultado final da fórmula acima mencionada tomando como base o NDVI, que foi o único parâmetro que sofreu variações nos dois anos. Segundo a metodologia proposta por Beltrame (1994) foi realizado o somatório dos valores de todos os parâmetros, a partir das fórmulas descritivas acima estabelecidas, conforme está disposto na Tabela 6.

Tabela 6: Somatório dos índices analisados pelo DFC, para os anos de 1985 e 2009.

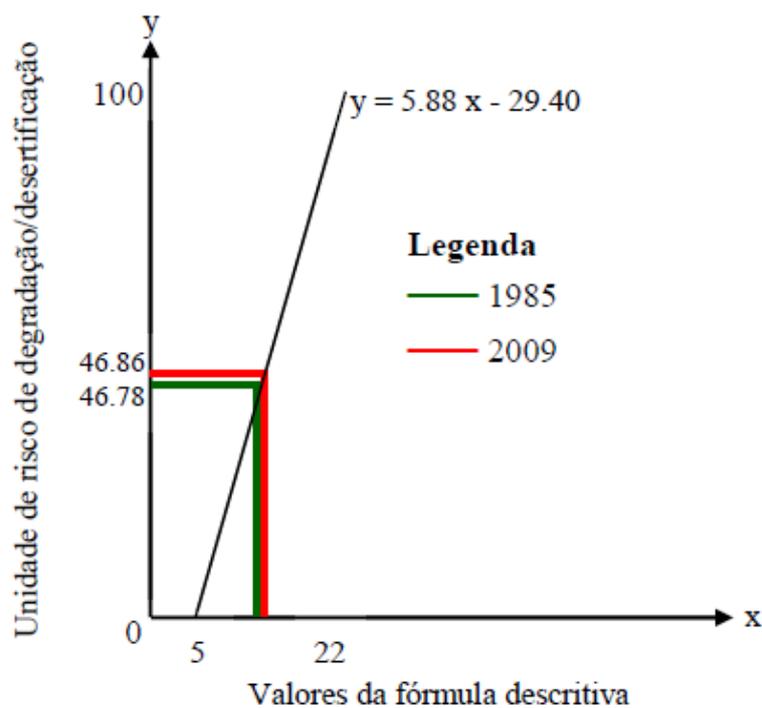
Parâmetros/Índices	Médias ponderadas
Declividade Média (DM)	1.732
Erosividade das Chuvas (R)	4.155
Erodibilidade dos solos (K)	2.057
Índice Climático (IC)	2.118
NDVI em 1985	2.895
NDVI em 2009	2.909
Somatório dos índices para 1985	12.957
(Correspondente ao valor X na equação)	
Somatório dos índices para 2009	12.971
(Correspondente ao valor X na equação)	

Fonte: Organizado pelos autores.

Com estes valores, mínimo 5 e máximo 22, tem-se o ângulo de inclinação da reta. O resultado mostra que os valores do risco de desertificação para os municípios de Castelo do Piauí e Juazeiro do Piauí, para os anos de 1985 e 2009, apresentaram um aumento pouco expressivo passando de 46.78 em 1985 para 46.86 em 2009, revelando uma situação de equilíbrio dinâmico na área estudada. Quando substituídos os valores obtidos pelo somatório dos índices por x, na fórmula descritiva final, obteve-se o resultado indicado na Figura 10.

O pequeno aumento no risco de desertificação na área estudada, que em 1985 apresentava 46.78 unidades e passou a 46.86 em 2009, possivelmente deve-se ao aumento das atividades agropecuárias, da extração vegetal e de áreas destinadas aos cultivos temporários. Esses demandando substituição da cobertura vegetal natural para o plantio, deixando o solo exposto por determinado período de tempo. Cita-se, ainda, que o incremento nos rebanhos bovino e ovino contribuiu, também, para o aumento do risco de desertificação, ao passo que pode resultar em compactação dos solos, aumento de áreas com solo exposto e eventual processo de erosão.

Figura 10: Unidades de risco de degradação/desertificação dos municípios de Castelo do Piauí e Juazeiro do Piauí, comparacao entre os anos de 1985 e 2009.



CONCLUSÕES

Os municípios de Castelo do Piauí e Juazeiro do Piauí apresentaram um pequeno aumento no risco de desertificação considerando os anos analisados. Conforme metodologia de Beltrame (1994), em 1985 o valor obtido para o risco foi de 46.78 unidades e em 2009 ampliou-se para 46.86 unidades, revelando pequeno aumento do risco de desertificação na área estudada.

A área em estudo apresenta 82,6% de seu relevo classificado como plano a suave ondulado e apenas 2,9% classificado como forte ondulado a montanhoso. Os dados pluviométricos da SUDENE possibilitaram afirmar que o maior potencial de erosividade das chuvas concentra-se nos meses de janeiro a abril e os municípios referidos apresentam 74,7% de suas áreas classificadas como de alta a muito alta erosividade. Devido à presença dos Neossolos Quartzarênicos, Plintossolos e Neossolos Litólicos em 46,2% do território castelense e juazeirense, 1.322,4 km² da área dos municípios são enquadrados na classe de alta erodibilidade. No que diz respeito ao Índice Climático os municípios de Castelo do Piauí e Juazeiro do Piauí apresentaram 33,1% de suas áreas classificadas como de alta a muito alta severidade climática.

As imagens do satélite Landsat 5 utilizadas para elaboração do NDVI mostraram-se adequadas à mensuração do padrão da cobertura vegetal em Áreas Suscetíveis à Desertificação. Desse modo, pode-se observar uma melhoria no padrão de proteção dada pela cobertura vegetal de maior proteção, com aumento das classes moderadamente alta e moderada de 1985 para 2009. Tal fato é resultado da dinâmica climática aliada à queda na extração mineral realizada pela empresa ECB Rochas Ornamentais em Juazeiro do Piauí, da redução do efetivo de caprinos e do acréscimo da área destinada ao plantio da cultura permanente de cajueiros para a produção de castanha de 1997 para 2009.

A adequação dos parâmetros do Diagnóstico Físico Conservacionista à área em estudo e a eficácia da metodologia ao permitir a identificação do risco de desertificação na área estuada, sugere a sua aplicação em outras áreas, seja no Brasil ou em outros países, inclusive em condições ambientais distintas dos municípios em questão. Os resultados obtidos a partir de uma perspectiva integrada, base dos estudos de Geografia Física, almejam contribuir com ações vindouras de planejamento territorial para fins de sustentabilidade em Castelo do Piauí e Juazeiro de Piauí.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUIAR, R.B.; GOMES, J.R.C. (Org.). **Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea, estado do Piauí: diagnóstico do município de Castelo do Piauí.** – Fortaleza: CPRM - Serviço Geológico do Brasil. 2004a.

- _____. **Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea, estado do Piauí:** diagnóstico do município de Juazeiro do Piauí. – Fortaleza: CPRM - Serviço Geológico do Brasil. 2004b.
- AQUINO, C.M.S. **Estudo da degradação/desertificação no núcleo de São Raimundo Nonato - Piauí.** Tese (Doutorado em Geografia). Universidade Federal de Sergipe - UFSE. São Cristóvão. 2010.
- AQUINO, C.M.S. **Suscetibilidade Geoambiental das terras do Estado do Piauí à Desertificação.** Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente). Universidade Federal do Ceará, Fortaleza - CE. 2002.
- AQUINO, C.M.S.; OLIVEIRA, J.G.B. Estudos sobre desertificação no Piauí. **Sapiência.** Teresina-PI, jan/fev/mar, nº 30, ano VIII, 2012.
- BAPTISTA, J.G. **Geografia Física do Piauí.** 2ª edição. Teresina: COMEPI. 1981.
- BELTRAME, A.V. **Diagnóstico do meio físico de bacias hidrográficas:** modelo e aplicação. – Florianópolis: Ed. da UFSC. 1994.
- BRASIL. Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento: de acordo com a Resolução nº 44/228 da Assembleia Geral da ONU, de 22-12-89, estabelece uma abordagem equilibrada e integrada das questões relativas a meio ambiente e desenvolvimento: **Agenda 21.** – Brasília: Câmara dos Deputados, Coordenação de Publicações. 1995.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Secretaria de Recursos Hídricos. **Programa de Ação Nacional de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca PAN-Brasil.** Brasília: MMA. 2004.
- CARVALHO, C.M.; ALMEIDA-FILHO, R. Uso de imagens Landsat-TM para avaliar a extensão da desertificação na região de Gilbués, sul do estado do Piauí. **Anais XIII Simpósio de Sensoriamento Remoto,** Florianópolis, Brasil, 21-26 abril, p.4365-4372, INPE. 2007.
- CPRM - Serviço Geológico do Brasil. Ministério de Minas e Energia. **Mapas estaduais de geodiversidade:** Piauí. Rio de Janeiro: CPRM. Documento cartográfico em arquivo vetorial. 2006. Disponível em: <<http://geobank.sa.cprm.gov.br>>. Acesso em fevereiro de 2015.
- CREPANI, E.; MEDEIROS, J. S.; HERNANDEZ FILHO, P.; FLORENZANO, T. G.; DUARTE, V.; BARBOSA, C. C. F. (2001). **Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento Aplicados ao Zoneamento Ecológico-Econômico e ao Ordenamento Territorial.** São José dos Campos: INPE. 2001.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Brasil em Relevo**. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite. 2005. Disponível em: <<http://www.relevo.br/cnpm.embrapa.br>>. Acesso em janeiro de 2014.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. – Rio de Janeiro: EMBRAPA-SPI. 2009.

EMEKA, E.E. Drought and Desertification as they affect Nigerian Environment, **Journal of Environmental Management and Safety**, vol. 4, n. 1, p.45-54. Nsukka - Nigéria. 2013.

FERREIRA, A.G.; MELLO, N.G.S. Principais sistemas atmosféricos atuantes sobre a região Nordeste do Brasil e a influência dos Oceanos Pacífico e Atlântico no clima da região, **Revista Brasileira de Climatologia**, vol. 1, n. 1, p.15-28. 2005.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2015). Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. **Cidades**. 2015. Disponível em: <www.cidades.ibge.gov.br>. Acesso em janeiro de 2015.

_____. **Manual Técnico de Pedologia**. 2ª edição. Rio de Janeiro. 2007.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Pesquisa Agropecuária Municipal – Piauí – ano de 1997 e 2009**. Rio de Janeiro.

_____. **Pesquisa Pecuária Municipal – Piauí – anos de 1997 e 2009**. Rio de Janeiro.

JACOMINE, P.K.T. **Mapa exploratório-reconhecimento de solos do estado do Piauí**. Convênio EMBRAPA/SNLCS-SUDENE-DRN. 1983.

LAL, R.; ELLIOT, W. Erodibility and erosivity. In: LAL, R. **Soil Erosion: research methods**. Second Edition, p.180-208. Ankeny: Soil and Water Conservation Society.1994.

LANDIM, R.B.T.V.; SILVA, D.F.; ALMEIDA, H.R.R.C. Desertificação em Irauçuba (CE): Investigação de Possíveis Causas Climáticas e Antrópicas, **Revista Brasileira de Geografia Física**, n. 01, p.01-21. 2011.

LOMBARDI NETO, F.; MOLDENHAUER, W.C. Erosividade da chuva: sua distribuição e relação com perdas de solos em Campinas - SP, **Bragantina**, Campinas, v. 51, n. 2, p.189-196. 1992.

MARTINS, B.; REBELO, F. Erosão e paisagem em São Vicente e Santo Antônio (Cabo Verde): o risco de desertificação, **Territorium**, 16, p.69-78. 2009.

MELO, E.T. **Diagnóstico Físico Conservacionista da Microbacia do Riacho dos Cavalos – Crateús-Ceará**. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente). Universidade Federal do Ceará. Fortaleza. 2008.

- MOLION, L.C.B.; BERNARDO, S.O. Dinâmica das Chuvas no Nordeste Brasileiro. In: **Anais do XI Congresso Brasileiro de Meteorologia (CD-Rom)**, p.1.334-1.342. Rio de Janeiro, 2000.
- NICHOLSON, S.E.; TUCKER, C.J.; BA, M.B. Desertification, Drought, and Surface Vegetation: An Example from the West African Sahel, **Bulletin of the American Meteorological Society**, vol. 79, n. 5, Florida - USA. p.815-829. 1998.
- OLIVEIRA, J.G.B.; SALES, M.C.L. Usuais: programas para uso em análise ambiental. **Revista Equador (UFPI)**, Vol. 5, n. 2, p.36-60, Janeiro/Junho, 2016.
- OLIVEIRA, V.P.V. Indicadores biofísicos de desertificação, Cabo Verde/África, **Revista Mercator**, Fortaleza, v. 10, n. 22, p.147-168. 2011.
- OÑATE, J.; PECO, B. Policy impact on desertification: stakeholders' perceptions in southeast Spain, **Land Use Policy**, vol. 22, p.103-14. Madrid - Spain. 2005.
- PEREZ-MARIN, A.M. Núcleos de desertificação no semiárido brasileiro: ocorrência natural ou antrópica? **Parcerias Estratégicas**, Brasília-DF, v. 17, n. 34, p.87-106. 2012.
- PIAUI. Gabinete do Governador. Palácio de Karnak. **Projeto de Lei Complementar nº 004, de 14 de fevereiro de 2006**. Estabelece o Planejamento Participativo Territorial para o Desenvolvimento Sustentável do estado do Piauí e dá outras providências. 2006.
- PINHEIRO, R.A.B. **Análise do processo de degradação/desertificação na bacia do Riacho Feiticeiro, com base no DFC, município de Jaguaribe-Ceará**. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente). Universidade Federal do Ceará, Fortaleza - CE. 2011.
- SANTOS, F.A. **Mapeamento das unidades geoambientais e estudo do risco de degradação/desertificação nos municípios de Castelo do Piauí e Juazeiro do Piauí**. Dissertação (Mestrado em Geografia). Universidade Federal do Piauí, Teresina. 2015.
- SALES, M.C.L. Degradação ambiental em Gilbués, Piauí, **Mercator - Revista de Geografia da UFC**, ano 02, n. 04, p.115-124. 2003.
- SILVA, J.P.S. Impactos ambientais causados por mineração, **Revista Espaço da Sophia**, n. 08, mensal, ano I. 2007.
- SUDENE - Superintendência para o Desenvolvimento do Nordeste. **Dados Pluviométricos Mensais do Nordeste: Estado do Piauí**. Recife. 1990.
- THORNTHWAITE, C.W.; MATHER, J.R. **The Water Balance** - Publications in Climatology. New Jersey: Centerton, v. VIII, n. 1. 1955.

TROPPEMAIR, H.; GALINA, M.H. Geossistemas. **Mercator - Revista de Geografia da UFC**, ano 05, n. 10. 2006.

TUCCI, C.E.M. **Hidrologia**: ciência e aplicação. Porto Alegre: Eds. da UFRGS e da USP. (Coleção ABRH de Recursos Hídricos, v. 4). 1993. 952p.

USGS - United States Geological Service (Serviço Geológico dos Estados Unidos). **Earth Explorer** - Collection - Landsat Archive. 2015. Disponível em: <<http://earthexplorer.usgs.gov/>>. Acesso em janeiro de 2015.

VALERIANO, M.M. Dados Topográficos. In: FLORENZANO, T.G. (Org.). **Geomorfologia**: conceitos e tecnologias atuais. São Paulo: Oficina de Textos. 2008. p.72-104.