



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ**  
**DEPARTAMENTO DE BIOLOGIA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECOLOGIA E RECURSOS NATURAIS**  
**CURSO DE MESTRADO**

**CLÉCIA CRISTINA BARBOSA GUIMARÃES**

**PAISAGENS SERTANEJAS: USO E COBERTURA DAS TERRAS E  
ADEQUABILIDADE NO SERTÃO CENTRAL DO CEARÁ**

**FORTALEZA**  
**2013**

**CLÉCIA CRISTINA BARBOSA GUIMARÃES**

**PAISAGENS SERTANEJAS: USO E COBERTURA DAS TERRAS E  
ADEQUABILIDADE NO SERTÃO CENTRAL DO CEARÁ**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Recursos Naturais da Universidade Federal do Ceará, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Ecologia e Recursos Naturais. Área de concentração: Conservação e Manejo de Recursos Naturais.

Orientadores: Prof. Dr. Gustavo Souza Valladares.

Prof.<sup>a</sup> Pós-Dr.<sup>a</sup> Claudia Miranda Martins.

**FORTALEZA**

**2013**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal do Ceará  
Biblioteca de Ciências e Tecnologia

- 
- G977p Guimaráes, Clécia Cristina Barbosa.  
Paisagens sertanejas : uso e cobertura das terras e adequabilidade no sertão central do Ceará /  
Clécia Cristina Barbosa Guimaráes. – 2013.  
77 f. : il. color., enc. ; 30 cm.
- Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências, Departamento de  
Biologia, Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Recursos Naturais, Fortaleza, 2013.  
Área de Concentração: Conservação e manejo de recursos naturais.  
Orientação: Prof. Dr. Gustavo Souza Valladares.  
Coorientação: Profa. Dra. Claudia Miranda Martins.
1. Ecologia paisagística. 2. Sensoriamento remoto. I. Título.

**CLÉCIA CRISTINA BARBOSA GUIMARÃES**

**PAISAGENS SERTANEJAS: USO E COBERTURA DAS TERRAS E  
ADEQUABILIDADE NO SERTÃO CENTRAL DO CEARÁ**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Recursos Naturais da Universidade Federal do Ceará, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ecologia e Recursos Naturais. Área de Concentração: Conservação e Manejo de Recursos Naturais.

Aprovado em: \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_\_\_

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof. Dr. Gustavo Souza Valladares  
Universidade Federal do Piauí

---

Prof. Dr. Sebastião Medeiros Filho  
Universidade Federal do Ceará

---

Prof.(a) Dra. Adryane Gorayeb  
Universidade Federal do Ceará

A Deus

À minha mãe querida, Célia

À “Cabeçudinha” da minha vida

## AGRADECIMENTOS

A Deus, por toda inteligência, auxílio, força, calma e coragem que me foi concedida para concluir mais esse objetivo da minha vida.

À minha família, por sempre ser a base de sustentação das minhas escolhas. Em especial à minha mãe, Célia Barbosa Guimarães, que representa o pilar mais forte desta base.

À minha amiga-irmã Maria Valnélia Castro da Luz, por todo o carinho, atenção, cuidado, preocupação e compreensão que teve comigo durante essa longa caminhada de dois anos. Também pela eterna companhia, força e alegrias a mim transmitidas.

Ao Airton Fernandes, por toda a força e amor que me deu para iniciar essa jornada.

Ao meu orientador Professor Doutor Gustavo Souza Valladares, que conseguiu repassar a mim um pouco do muito conhecimento que tem. Também por ter sido um orientador presente, mesmo estando distante fisicamente.

À minha co-orientadora Professora Pós-doutora Claudia Miranda Martins, por sua preocupação para comigo e pelo auxílio na redação final desta dissertação.

À FUNCAP pela concessão da bolsa de estudo e à Petrobrás pelos financiamentos com viagens de campo e para a compra das imagens de satélites utilizadas no presente trabalho.

À Universidade Federal do Ceará, em especial, à coordenação de Pós-graduação em Ecologia e Recursos Naturais, por ter me proporcionado os meios para redigir esta dissertação.

Ao Tibério Almeida da Silva, por seu auxílio técnico quando iniciei o mestrado.

Aos meus amigos Ivan Jeferson Sampaio Diogo, Karen Figueiredo de Oliveira, Merivalda Doroteu da Silva, Francisca Naiane da Silva Rocha, Alexandre Emanuel Regis Holanda e Sanna Rocha Nóbrega, pelas as alegrias, tristezas e experiências partilhadas no decorrer do curso que nos tornaram mais fortes para seguir adiante.

Ao Antônio Júnior Alves Ribeiro, pelas dicas no uso dos softwares desta dissertação e pela companhia durante as intermináveis horas de estudo.

Ao meu amigo Maury Lukas Oliveira Freitas, pela ajuda com hardware e softwares e por seu carinho e presença constante em minha vida.

À minha amiga Amanda Sousa Gomes, pela força que sempre me transmitiu, pela torcida para que alcançasse meu êxito e pela hospedagem quando estive em São Paulo.

Ao meu namorado Rubens Lopes Gonçalves, por todo amor a mim dedicado e pelas tantas vezes que me compreendeu nos períodos mais difíceis pelos quais passamos durante a realização desse projeto.

À família Castro, por trazer muitas alegrias para minha vida. À Dona Luiza Castro, em particular, por sempre ter me recebido com muito carinho em sua casa, principalmente quando precisei de um lugar mais calmo para estudar.

Enfim, a todos os outros parentes, amigos, colegas e conhecidos que de alguma forma contribuíram para que eu chegasse até aqui.

*“A menos que modifiquemos a nossa maneira de pensar, não seremos capazes de resolver os problemas causados pela forma como nos acostumamos a ver o mundo.”*

Albert Einstein

## RESUMO

A unidade fitoecogeográfica denominada Caatinga é única e característica do semiárido brasileiro. Sua paisagem natural, formada por diversos mosaicos, vem perdendo suas características primárias em função das atividades socioeconômicas mal planejadas, dificultando o desenvolvimento sustentável. Nos últimos anos, vem se observando uma extrema modificação da paisagem ocasionada pela intensa ação degradadora antrópica que se manifesta pela erosão dos solos, alterações microclimáticas, perda da biodiversidade e produtividade agrícola reduzida. Estudos que envolvam a Ecologia de Paisagens e levantamentos do uso e cobertura e adequabilidade do uso da terra, a partir de mapas, são importantes para um melhor manejo na região. Assim, neste trabalho, avaliou-se quão adequado está sendo o uso da terra em um polígono localizado no Sertão Central do Estado do Ceará e caracterizou-se a fragmentação da paisagem. Para isso, foi feito o mapa de uso e cobertura das terras e cruzou-se as informações resultantes desse mapa com outras de declividade, fazendo-se uso de Sistema de Informação Geográfica e Sensoriamento Remoto, que possibilitou avaliar a adequabilidade do uso das terras. Aplicando-se métricas de estrutura da paisagem sobre o mesmo mapa de uso e cobertura foi possível caracterizar e avaliar o estado de fragmentação da paisagem. Percebe-se, pelos resultados encontrados, que a região apresenta-se com terras inadequadamente utilizadas e o uso inadequado pode se tornar uma prática cada vez mais comum, uma vez que há a necessidade crescente de terras para satisfazer as necessidades das populações locais. Não há um planejamento ambiental para o uso adequado da terra e, desta forma, além dos problemas ocasionados à conservação do solo, a paisagem natural está se tornando cada vez mais fragmentada.

Palavras-chave: Mapeamento. Ecologia da Paisagem. Fragmentação. Caatinga. SIG. Sensoriamento Remoto.

## **ABSTRACT**

The unit fitoecogeografic called Caatinga is unique and characteristic of the brazilian semiarid region. Its natural landscape, formed by various mosaics, has been losing its primary characteristics due unplanned socioeconomic activities, hindering sustainable development. In recente years, it has been observing an extreme landscape modification's caused by strong anthropic activity manifested by soil erosion, microclimate changes, loss of biodiversity and agricultural productivity reduction. Landscape's Ecology studies, Land use/Land Cover's maps and suitability of land use are importante for better management in the region. Thus, in this study, I evaluated how suitable is the land use in specifc central semiarid region of Ceará State and I have qualified the landscape fragmentation. For this, I drew up land use and land cover's map and I crossed this map with agricultural suitability and slope informations, using Geografic Information System and Remoting Sensing, which allowed me to assess the land use suitability. I used landscape's metrics of the structure on the same land use and land cover's map to characterize and evaluate the landscape fragmentation process. The results show the region presents itself with land used inappropriately and inappropriate use could become an increasingly common practice due to greater need of land for local population subsistence. There isn't environmental planning for land use suitable and, beyond the problems caused to soil conservation, the natural landscape is becoming increasingly fragmented.

**Keyword:** Mapping. Landscape Ecology. Fragmentation. Caatinga. SIG. Remote Sensing.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1	– Localização da área de estudo no Estado do Ceará, Brasil.....	20
Figura 2.2	– Região de interesse no Sertão Central do Estado do Ceará.....	25
Figura 2.3	– Mapa de uso e cobertura das terras da região do Sertão Central do Ceará.....	28
Figura 2.4	– Mapa de altitude da região de interesse localizada no Sertão Central Cearense.....	31
Figura 2.5	– Mapa de declividade da região de interesse localizada no Sertão Central Cearense.....	32
Figura 2.6	– Distribuição da classe Caatinga Arbustiva Densa nas diferentes declividades.....	36
Figura 2.7	– Distribuição da classe Caatinga Arbustiva Aberta nas diferentes declividades.....	37
Figura 2.8	– Distribuição da classe Pastagem nas diferentes declividades.....	38
Figura 2.9	– Degradação da vegetação na área de estudo no Estado do Ceará.....	40
Figura 2.10	– Prática de pastagem em região declivosa na área de estudo no Estado do Ceará.....	41
Figura 2.11	– Evidência de processos erosivos na região de estudo no Estado do Ceará.....	41
Figura 3.1	– Agrupamento das classes associadas às métricas da Análise dos Componentes Principais para os fatores um e dois.....	63
Figura 3.2	– Agrupamento das classes associadas às métricas da Análise dos Componentes Principais para os fatores um e três.....	64

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 2.1	–	Percentagem da área (em hectares) de cada classe de uso e cobertura.....	30
Gráfico 2.2	–	Porcentagem de área das diferentes altitudes da região de interesse.....	31
Gráfico 2.3	–	Representatividade do relevo em função da altitude.....	33
Gráfico 3.1	–	Área total (em hectares) de cada classe de uso e cobertura das terras da região de interesse.....	52
Gráfico 3.2	–	Variabilidade de perímetro em relação à área dos fragmentos de Caatinga Arbustiva Densa, Caatinga Arbustiva Aberta e Vegetação Ripária.....	56
Gráfico 3.3	–	Efeito de borda em relação ao tamanho dos fragmentos de Caatinga Arbustiva Densa, Caatinga Arbustiva Aberta e Vegetação Ripária.....	57
Gráfico 3.4	–	Classes de uso e cobertura em relação às métricas selecionadas.....	65

## LISTA DE QUADROS

Quadro 2.1	–	Bandas do sistema de sensores RapidEye.....	22
Quadro 2.2	–	Estatística Kappa e qualidade da acurácia do mapa.....	27

## LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1	– Características dos municípios que compõem a área de estudo.....	21
Tabela 2.2	– Matriz verdade do mapa de uso e cobertura das terras no Sertão Central do Ceará.....	26
Tabela 2.3	– Proporção de área de uso e cobertura em cada classe de declividade.	34
Tabela 2.4	– Distribuição da declividade nas classes de uso e cobertura.....	34
Tabela 2.5	– Total de uso e cobertura na paisagem em função da declividade.....	39
Tabela 3.1	– Métricas de fragmentos utilizadas na análise da estrutura da paisagem.....	50
Tabela 3.2	– Número de fragmentos (NP) de cada classe.....	53
Tabela 3.3	– Porcentagem de fragmentos pequenos, médios e grandes em cada classe de uso e cobertura.....	53
Tabela 3.4	– Dados do índice de forma das classes Caatinga Arbustiva Densa, Caatinga Arbustiva Aberta e Vegetação Ripária.....	59
Tabela 3.5	– Autovalores e variância dos três primeiros fatores calculados pela análise dos componentes principais.....	61
Tabela 3.6	– Matriz de correlação entre as métricas.....	62
Tabela 3.7	– Escores das métricas calculados pela análise dos componentes principais para os fatores F1, F2 e F3.....	62

## LISTA DE SIGLAS

A	Área dos fragmentos
ACP	Análise dos componentes principais
CA	Área total da classe
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
FUNCEME	Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos
GPS	Sistema de Posicionamento Global
I	Forma dos fragmentos
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IPECE	Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará
MAXVER	Algoritmo de Máxima Verossimilhança
MPAR	Média da relação perímetro- área da classe
MPE	Média do perímetro total da classe
MPS	Média da área total da classe
MSI	Média do índice de forma da classe
NNDIST	Distância euclidiana dos fragmentos
NP	Número total de fragmentos na classe
P	Perímetro dos fragmentos
PARA	Relação perímetro-área dos fragmentos
PSSD	Desvio padrão da média da área total da classe
SIG	Sistema de Informação Geográfica
SRTM	Missão de Topografia por Radar
TE	Perímetro total da classe
TOPODATA	Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil
UTM	Sistema de coordenadas Universal Transversa de Mercator

## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO GERAL.....</b>	<b>13</b>
<b>CAPÍTULO 2 - USO DAS TERRAS E DECLIVIDADE NO SERTÃO CENTRAL DO CEARÁ, BRASIL.....</b>	<b>16</b>
<b>RESUMO.....</b>	<b>16</b>
<b>2.1 Introdução.....</b>	<b>17</b>
<b>2.2 Materiais e Métodos.....</b>	<b>20</b>
<i>2.2.1 Caracterização da área de estudo.....</i>	<i>20</i>
<i>2.2.2 Mapeamento do uso e cobertura.....</i>	<i>22</i>
<i>2.2.3 Análise da adequabilidade de uso da terra em função da declividade....</i>	<i>24</i>
<b>2.3 Resultados e Discussão.....</b>	<b>25</b>
<i>2.3.1 Mapa de uso e cobertura.....</i>	<i>25</i>
<i>2.3.2 Adequabilidade do uso da terra em função da declividade.....</i>	<i>30</i>
<b>2.4 Conclusões.....</b>	<b>42</b>
<b>CAPÍTULO 3 - ESTRUTURA DA PAISAGEM EM UM POLÍGONO DO SERTÃO CENTRAL DO ESTADO DO CEARÁ, BRASIL..</b>	<b>44</b>
<b>RESUMO .....</b>	<b>44</b>
<b>3.1 Introdução.....</b>	<b>45</b>
<b>3.2 Materiais e Métodos.....</b>	<b>48</b>
<i>3.2.1 Caracterização da área de estudo.....</i>	<i>48</i>
<i>3.2.2 Análise da estrutura da paisagem.....</i>	<i>48</i>
<i>3.2.3 Análise dos Componentes Principais.....</i>	<i>50</i>
<b>3.3 Resultados e Discussão.....</b>	<b>51</b>
<i>3.3.1 Estrutura da paisagem.....</i>	<i>51</i>
<i>3.3.1.1 Perímetro e relação perímetro-área.....</i>	<i>55</i>
<i>3.3.1.2 Índice de forma.....</i>	<i>58</i>
<i>3.3.1.3 Distância entre vizinhos mais próximos.....</i>	<i>60</i>
<i>3.3.2 Análise dos Componentes Principais aplicada as métricas de paisagem.....</i>	<i>61</i>
<b>3.4 Conclusões.....</b>	<b>66</b>

<b>CAPÍTULO 4 - CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>67</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>68</b>

## CAPÍTULO 1: INTRODUÇÃO GERAL

O domínio ecogeográfico da Caatinga ocupa uma área de aproximadamente 750.000 km<sup>2</sup> (ALVES; ARAÚJO; NASCIMENTO, 2009; SOUZA *et al.*, 2010) entre as latitudes sul 2° 45' e 17° 21'. (ALVES; ARAÚJO; NASCIMENTO, 2009), abrangendo os estados do nordeste do Brasil e parte de Minas Gerais (SANTOS *et al.*, 2008; ALVES; ARAÚJO; NASCIMENTO, 2009; CARNEIRO-TORRES *et al.*, 2011). No Ceará ele ocupa a totalidade do Estado.

A Caatinga como domínio ecogeográfico não se refere apenas ao tipo de vegetação característico que leva o mesmo nome, mas inclui os diversos fatores, climáticos, geográficos e pedológicos que somados fornecem ao domínio suas características peculiares. A região de estudo está localizada dentro deste domínio, mais especificamente no sertão central cearense.

Quanto às características do Estado, que resultam na formação do domínio, o Ceará apresenta chuvas concentradas nos primeiros meses do ano (chove de três a quatro meses), com uma média pluviométrica de 1.100 mm.ano<sup>-1</sup> na maior parte do território (IPECE, 2009). A sua baixa precipitação pluviométrica e sua má distribuição associada com temperaturas elevadas que aumentam a evaporação dos cursos hídricos na maior parte do Estado, caracterizam o clima como Tropical Quente Semiárido (IPECE, 2007a).

Em relação ao relevo, o Ceará abriga regiões de baixas, médias e altas altitudes, estas últimas sendo representadas pelas serras e chapadas (a mais alta com 1134 m de elevação) (VALERIANO; ROSSETTI, 2011). Quanto às características pedológicas, apresenta, na sua parte central, o sertão com terreno cristalino pouco permeável e serras e chapadas sedimentares o limitando, que se apresentam com boa reserva de água subterrânea (ALVES; ARAÚJO; NASCIMENTO, 2009). A significativa variação no "modelado" do terreno, associados a um ambiente, tipicamente, semiárido, resultaram em grande heterogeneidade, complexidade no arranjo e variação dos solos (FUNCEME, 2010).

A cobertura vegetal da Caatinga, incluindo a encontrada no Estado do Ceará, é bastante heterogênea e isso dificulta sua caracterização e classificação (ANDRADE-LIMA, 1981) e, para este trabalho, adotou-se a classificação fornecida pelo mapa fitoecológico do IPECE (2007b) em que a vegetação é dividida em onze unidades fitoecológicas de acordo com suas características mais gerais que são resultantes da associação de, principalmente, dois fatores ambientais, o clima e o solo. As principais unidades e as mais importantes para o

desenvolvimento deste trabalho são: Floresta Subcaducifólia Tropical Pluvial (Matas secas) presentes na quase totalidade das serras e chapadas; e Floresta Caducifólia Espinhosa (Caatinga arbórea), Caatinga Arbustiva Densa e Caatinga Arbustiva Aberta que ocupam cerca de 46% do território cearense.

As diversas fisionomias vegetais somadas aos diversos tipos de relevo, clima e solo fazem com que a região cearense apresente grande variedade de paisagens, relativa riqueza biológica e a ocorrência de espécies endêmicas (SANTOS *et al.*, 2008). No entanto, desde o início da colonização do Estado, vem ocorrendo uma redução desta cobertura vegetal tão diversa pelo processo de estabelecimento da população e retirada de madeira para fabricação de casas, carvão, lenha e para permitir o crescimento do pastoreio (PEREIRA, 2006). Atualmente, esta redução vem ocorrendo de forma mais acentuada devido ao crescimento populacional e às atividades agrícolas associadas a um melhor potencial tecnológico.

Estas atividades agrícolas, além de reduzirem a cobertura vegetal, vêm modificando fatores geográficos e pedológicos. Uma vez que muitas são inseridas sem um estudo prévio ambiental, elas ocasionam o desgaste do solo e modificam a paisagem.

Desta forma, torna-se necessário entender como está estruturada a paisagem e quão adequado está o uso da terra, nos dias atuais, para que possa servir como base para um planejamento ambiental onde as necessidades humanas e a conservação dos recursos naturais possam ser melhores manejados.

Diante do exposto o objetivo do presente trabalho foi analisar a estrutura da paisagem e avaliar a adequabilidade do uso das terras em um polígono no Sertão Central do Estado do Ceará, envolvendo parcialmente os municípios de Senador Pompeu, Mombaça, Piquet Carneiro e Pedra Branca. Para isso foi realizado mapeamento de uso e cobertura das terras com o uso de imagem de sensor remoto, calculadas métricas de ecologia das paisagens e verificada a adequabilidade do uso agrícola das terras.

A dissertação está estruturada em mais três capítulos, além deste, dos quais o segundo trata do estudo da adequabilidade de uso das terras na região de interesse em relação à declividade do terreno. Este capítulo aborda o uso e cobertura das terras da área de estudo e sua relação com o relevo, apresentando uma discussão sobre a sustentabilidade dos sistemas agrícolas e a degradação por atividades antrópicas. O terceiro capítulo trata da análise da estrutura da paisagem da região em estudo. No qual utiliza-se métricas de ecologia de paisagens, calculadas em SIG, abordando aspectos da fragmentação da vegetação nativa, e

inferindo sobre a dinâmica do uso e manejo das terras. O quarto e último capítulo contém as considerações finais da dissertação.

## **CAPÍTULO 2: USO DAS TERRAS E DECLIVIDADE NO SERTÃO CENTRAL DO CEARÁ, BRASIL.**

### **RESUMO**

O crescimento populacional traz consigo problemas ambientais referentes ao uso e cobertura das terras, uma vez que grandes áreas são necessárias para comportar o crescimento humano e satisfazer suas necessidades, além de serem carentes de planejamento e manejo agrícola adequado que visem à conservação ambiental e o desenvolvimento sustentável. Esses problemas se agravam na região semiárida do Estado do Ceará, visto que apresenta solos rasos e pedregosos e uma estação seca bem definida. Outra questão refere-se a terras em relevos acidentados, inadequadas às práticas de agricultura e pecuária que são utilizadas para tais fins. Mapas de uso e cobertura das terras quando cruzados com informações de declividade do relevo, em SIG, permitem avaliar se há adequabilidade de uso e propensão de erosão do solo em uma determinada região criando, dessa forma, possibilidades para um melhor planejamento ambiental. Essa metodologia permitiu avaliar que 79% das terras da região em estudo são adequadas para manejo agrícola e 3,15% da área apresenta-se com uso inadequado devido ao relevo acidentado. Essas práticas inadequadas tornam o solo da região mais propenso aos processos erosivos. Assim, o uso da terra precisa ser reorganizado, nestas áreas, para melhor conservação do solo.

**Palavras-chave:** Mapeamento. Adequabilidade. SIG. Sensoriamento Remoto.

## 2.1 Introdução

O uso da terra, de acordo com Turner *et al.* (1995 apud BROWN; PIJANOWSKI; DUH, 2000), pode ser definido como a atividade humana sobre o terreno e é influenciada por condições econômicas, culturais, políticas, históricas e de posse. E a cobertura é um atributo biofísico da terra que afeta o funcionamento do ecossistema.

As atividades de uso da terra- seja a conversão das paisagens naturais para uso humano ou mudança nas práticas de manejo- vêm transformando uma grande proporção da superfície do globo terrestre. Apesar do uso da terra variar muito em todo o mundo, o resultado final é praticamente o mesmo: a aquisição de recursos naturais para satisfazer as necessidades humanas em detrimento, muitas vezes, das condições degradantes do meio ambiente (FOLEY *et al.*, 2005). Essa degradação se agrava na região semiárida do Estado do Ceará porque ela apresenta, de forma geral, solos rasos e pedregosos e uma estação seca bem marcada que dificulta o uso da terra para o manejo agrícola e causa lentidão e retardo na regeneração da vegetação natural.

Além disso, as práticas de agricultura estabelecidas na região cearense incluem o desmatamento total e as queimadas que, além de destruírem a cobertura vegetal, prejudicam a manutenção das populações da fauna silvestre, a qualidade da água e o equilíbrio do clima e do solo (SANTOS *et al.*, 2008) e comprometem o próprio sistema produtivo. As atividades são desenvolvidas sem considerar a capacidade de suporte da área, prejudicando a vegetação nativa e plantada, além de tornar o solo endurecido e compactado (CAVALCANTI; COUTINHO, 2005).

Outro agravante é que muitos municípios da região apresentam relevo ondulado a montanhoso onde, de acordo com Ramalho Filho e Beek (1995), não são adequadas práticas de agricultura. No entanto, as necessidades humanas precisam ser supridas e inadequadamente essas terras têm sido usadas. Desta forma, o uso intensivo do solo, sem interrupção e sem técnicas de conservação, especialmente nessas regiões mais declivosas, tem provocado erosão e comprometido a produtividade do solo.

A degradação da terra por erosão do solo devido a conversão de vegetação nativa em área agrícola, como acontece no semiárido cearense brasileiro, tem chamado à atenção em países em desenvolvimento (SHIFERAW; HOLDEN, 1999; LAL, 2001; LAMBIN; GEIST; LEPELERS, 2003; LU *et al.*, 2004; PRADO; NOVO; PEREIRA, 2007; BATISTELLA; VALLADARES, 2009; FARIA; VALLADARES; RODRIGUES, 2012). Nessa região, os processos erosivos são mais preocupantes uma vez que a erosão dos solos torna-se mais

vulnerável, pois, somada às pressões antrópicas, existe a própria fragilidade do material pedológico: solos rasos, cascalhentos e arenoargilosos (COSTA, 2009).

Percebe-se assim que há uma modificação nas características químicas, físicas e biológicas do ambiente como um todo, limitando a utilização agrícola e tornando o solo mais suscetível à erosão (CENTURION; CARDOSO; NATALE, 2001).

Diante disso, o adequado planejamento do uso da terra e a utilização de ferramentas de precisão, aliadas aos conhecimentos técnico-científicos dos recursos naturais, propiciam elementos para a indicação de uma correta utilização do solo, principalmente em relação ao manejo e conservação, combate à erosão, assoreamento de rios e nascentes e, principalmente, na condução de uma agricultura racional, que beneficie não só o solo e o meio ambiente, como também as populações que dependem e venham a depender diretamente deste recurso natural (DELMANTO JUNIOR, 2003).

O levantamento do uso da terra, a partir da confecção de mapas de uso e cobertura, é um aspecto fundamental para o entendimento dos padrões de ocupação e organização do espaço e para o planejamento de políticas públicas (PRADO; NOVO; PEREIRA, 2007), uma vez que eles garantem o conhecimento da deterioração causada no ambiente pelo uso indiscriminado e desordenado dos recursos naturais (CASAGRANDE, 2005). Esses mapas fornecem subsídios para as análises e avaliações de impactos ambientais, como os provenientes de desmatamentos, da perda da biodiversidade, e, ainda, dos inúmeros impactos gerados pelos altos índices de urbanização e pelas transformações rurais (MACHADO *et al.*, 2009).

A interpretação visual e digital de imagens de satélites é um método muito utilizado para o mapeamento do uso e cobertura das terras (VASCONCELOS; NOVO, 2004) uma vez que nas imagens obtidas por Sensores Remotos pode-se detectar mudanças no uso da terra por meio de observações das características biofísicas da mesma (BROWN; PIJANOWSKI; DUH, 2000).

Mapas de uso e cobertura das terras quando cruzados com informações de declividade do relevo permitem avaliar se há adequabilidade de uso e propensão de erosão do solo em uma determinada região. O estudo da adequabilidade do uso da terra tem como objetivo identificar se uma terra específica está sendo bem utilizada. Os mapas de adequabilidade podem mostrar que os usos das terras terão o mínimo de impactos negativos sobre os processos ambientais; ou fornecer previsões qualitativas dos impactos ambientais de atividades que estão sendo desenvolvidas; e indicar locais mais propícios para o desenvolvimento de determinada atividade (COLLINS; STEINER; RUSHMAN, 2001).

Esses mapas têm sido aplicados em uma ampla variedade de situações com viés ecológico, incluindo determinação de habitats para espécies de plantas e animais, favorecimento geológico, adequação de terras para fins agrícolas, avaliação e planejamento da paisagem, avaliação de impacto ambiental (MALCZEWSKI, 2004).

Atualmente, estudos que envolvem o processamento de imagens obtidas remotamente com o intuito de geração de mapas de uso e cobertura e avaliação da adequabilidade de uso da terra ocorrem de forma mais acelerada e com maior facilidade devido aos Sistemas de Informação Geográfica (SIG). A partir de toda a aquisição, manipulação e integração de informação, nos SIG's, é possível a geração de cartas temáticas, relacionando os elementos característicos do meio físico com os elementos socio-econômicos, tornando possíveis avaliações amplas e integradoras capazes de suprir as necessidades de informações atualizadas para a tomada de decisões (MACHADO *et al.*, 2009).

Quanto à região semiárida, Teotia *et al.* (2003), fazem referência a trabalhos que utilizam técnicas de dados remotamente sensoriados que têm permitido o inventário e o monitoramento da paisagem do semiárido, a partir da análise da diversidade de respostas espectrais que representam as tipologias vegetais e as alterações do uso da terra decorrentes da ocupação humana no tempo. Gomes (2005) cita trabalhos que procuram métodos de se avaliar a paisagem da Caatinga integradamente a partir do sensoriamento remoto e técnicas de SIGs em regiões semiáridas. Diniz, Moreira e Corradini (2008) cruzaram diversas informações espaciais (geomorfologia, solo, geologia, uso do solo, elevação e declividade) em ambiente SIG e determinaram áreas suscetíveis à erosão e assoreamento no baixo curso do rio Acaraú (Ce). Esses estudos, ao retratar as formas e a dinâmica de ocupação da terra, representam instrumento valioso para construir indicadores ambientais e para avaliar a capacidade de suporte ambiental, diante das diferentes formas de manejo, contribuindo assim para identificar as alternativas promotoras da sustentabilidade (MACHADO *et al.*, 2009). Pelo exposto, percebe-se que alguns trabalhos foram e estão sendo realizados, mas, por se tratar de uma região muito ampla e com diversidade de ambientes e problemas, muito mais precisa ser feito.

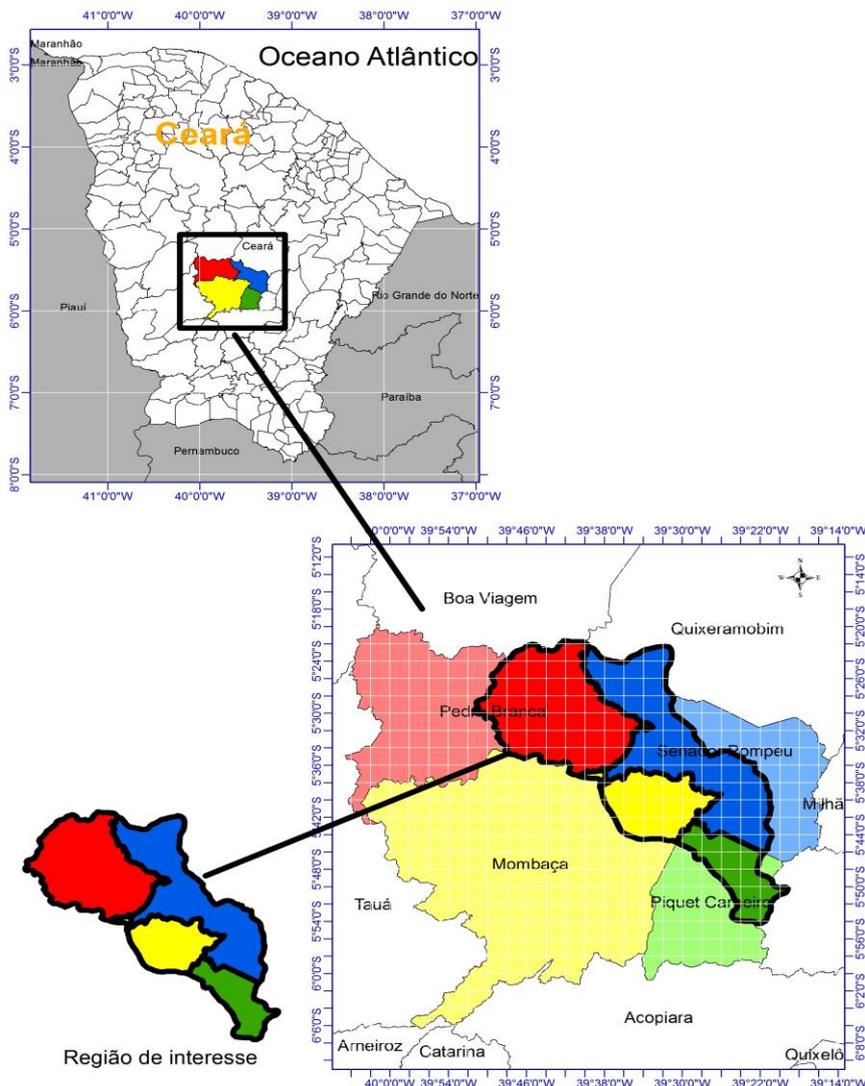
O presente trabalho avaliou a adequabilidade do uso das terras, diante das limitações do relevo, numa área localizada no Sertão Central do Estado Ceará, fazendo uso de SIG e imagens remotamente obtidas do sensor Rapideye.

## 2.2 Materiais e Métodos

### 2.2.1 Caracterização da área de estudo

A região escolhida para estudo está inserida nos municípios cearenses de Pedra Branca, Senador Pompeu, Mombaça e Piquet Carneiro. Esses municípios pertencem à microrregião do Sertão de Senador Pompeu, bacia hidrográfica do Rio Banabuiú e estão localizados entre as coordenadas geográficas  $5^{\circ} 21'$  e  $5^{\circ} 53'$  de latitude sul e  $39^{\circ} 18'$  e  $39^{\circ} 51'$  de longitude oeste (FIGURA 2.1).

Figura 2.1 – Localização da área de estudo no Estado do Ceará, Brasil.



Fonte: Clécia Cristina Barbosa Guimarães (2012).

É composta por 542 km<sup>2</sup> em Pedra Branca, 539 km<sup>2</sup> em Senador Pompeu, 232 km<sup>2</sup> em Mombaça e 180 km<sup>2</sup> em Piquet Carneiro perfazendo um total de 1490 km<sup>2</sup>, aproximadamente.

Apresenta clima tropical quente semiárido (IPECE, 2007a), com chuvas concentradas de janeiro a abril. A pecuária extensiva e a agricultura tradicional (de corte e queima) são as principais atividades agrícolas praticadas nos quatro municípios. A altitude que prevalece na área de estudo varia de 200 a 300 m, localizada principalmente nos municípios de Senador Pompeu, Mombaça e Piquet Carneiro, regiões caracterizadas por pediplanos dissecados. Algumas áreas apresentam altitude inferior e, outras, superior a esta variação, com alguns poucos pontos mostrando elevação superior a 700 m (VALERIANO; ROSSETTI, 2011). Na região de Pedra Branca a altitude principal varia de 500 a 600 m. É neste município que localizam-se os maciços residuais mais elevados da área a ser estudada (superior a 700 m). Outras características dos municípios que compõem a área de interesse são dadas na TABELA 2.1.

Tabela 2.1 - Características dos municípios que compõem a área de estudo

	<b>Municípios</b>	<b>Pedra Branca</b>	<b>Senador Pompeu</b>	<b>Mombaça</b>	<b>Piquet Carneiro</b>
a	Distância da capital (Fortaleza)	261 km	273 km	296 km	332 km
b	População	41.942 hab.	26.469 hab.	42.407 hab.	15.501 hab.
c	Área	1303 km <sup>2</sup>	1002 km <sup>2</sup>	2120 km <sup>2</sup>	588 km <sup>2</sup>
d	Solos	Brunizém Avermelhado (CHERNOSSO LO), Bruno Não Cálcico (LUVISSOLO), Podzólico Vermelho-Amarelo Equivalente Eutrófico (ARGISSOLO)	Podzólico Vermelho-Amarelo Equivalente Eutrófico (ARGISSOLO), Solo Litólico Eutrófico (NEOSSOLO LITÓLICO), Planossolo (PLANOSSOLO), Brunizém Avermelhado (CHERNOSSOLO)	Brunizém Avermelhado (CHERNOSSO LO), Bruno Não Cálcico (LUVISSOLO), Solo Litólico (NEOSSOLO LITÓLICO) e Podzólico Vermelho-Amarelo Equivalente Eutrófico (ARGISSOLO)	Podzólico Vermelho-Amarelo Equivalente Eutrófico (ARGISSOLO) e Solo Litólico (NEOSSOLO LITÓLICO)

Continua...

Tabela 2.1 - Características dos municípios que compõem a área de estudo (Continuação)

	<b>Municípios</b>	<b>Pedra Branca</b>	<b>Senador Pompeu</b>	<b>Mombaça</b>	<b>Piquet Carneiro</b>
e	Precipitação	864 mm.ano <sup>-1</sup>	1092 mm.ano <sup>-1</sup>	986 mm.ano <sup>-1</sup>	1406 mm.ano <sup>-1</sup>
f	Temperatura média	23° C	26° C	25° C	26° C
g	Vegetação	Floresta Caducifólia Espinhosa (Caatinga arbórea), Floresta Subcaducifólia Pluvial Tropical (Mata seca)	Caatinga Arbustiva Densa, Floresta Caducifólia Espinhosa (Caatinga arbórea), Caatinga Arbustiva Aberta	Floresta Caducifólia Espinhosa (Caatinga arbórea), Floresta Subcaducifólia Tropical Pluvial (Mata seca), Caatinga Arbustiva Densa	Caatinga Arbustiva Densa

Fonte: a, b, c – IBGE, 2010; d – JACOMINE *et al.*, 1973; EMBRAPA, 2006; e – IPECE, 2010; f – VIANA, 2010; g – IPECE, 2007b.

### 2.2.2 Mapeamento do uso e cobertura

Para o mapeamento de uso e cobertura das terras foram utilizadas imagens do sistema de sensores RapidEye com resolução espacial de cinco metros (resolução colorida), datadas de setembro e dezembro de 2011. O sistema de sensores RapidEye foi escolhido para o estudo por sua alta capacidade de revisitas, que garante uma aquisição de imagem rápida, sua boa resolução espacial e capacidades multiespectrais que facilita as análises de suas estruturas e tornam o processo de classificação muito mais rápido e fácil.

As imagens foram adquiridas mosaicadas, georreferenciadas e compostas por cinco bandas especificadas no QUADRO 2.1. Para o presente trabalho foram interpretadas as bandas do visível.

Quadro 2.1 - Bandas do sistema de sensores RapidEye.

<b>Bandas</b>	<b>Comprimentos de onda (µm)</b>
Azul	440 – 510
Verde	520 – 590
Vermelho	630 – 685
Red- Edge	690 – 730
Infravermelho próximo	760 – 850

Fonte: Marinho (2011).

O mosaico foi transferido para o SPRING 5.2.2, filtrado com filtro morfológico com efeito de fechamento com contraste melhorado, que retirou os ruídos e suavizou os contornos das estruturas presentes na imagem.

Para a classificação, o mosaico filtrado foi transferido para o GvSIG 1.11 e optou-se pelo método supervisionado pixel-a-pixel utilizando o classificador Maxver (máxima verossimilhança). De acordo com Jensen (2011), para extrair informações de cobertura da terra a partir do sensoriamento remoto, o algoritmo de classificação por máxima verossimilhança continua a ser o algoritmo de classificação paramétrica mais largamente empregado.

O MaxVer requer um conhecimento *a priori* do número de classes de uso e cobertura da terra contidos em uma imagem (RUDORFF *et al.*, 2007) e, assim, antes da classificação, fez-se duas visitas a área de estudo (em fevereiro e abril de 2012) para identificação das classes de uso e cobertura presentes na região e coleta dos pontos amostrais, e uso da carta temática de Unidades Fitoecológicas do IPECE (2007b) que auxiliou na classificação da vegetação natural da área.

Para a separação das classes de Caatinga, usou-se como parâmetro, a altura das árvores mais desenvolvidas encontradas na região. Foram coletados 20 pontos de referência de cada classe usando GPS. No GvSIG 1.11 as amostras de cada classe foram localizadas (regiões de interesse) no mosaico e fez-se o processamento do mapa de uso e cobertura.

O “raster” do mapa de uso e cobertura foi transferido para o programa ArcGis 10.1. Para homogeneizar a área dos polígonos utilizou-se três vezes o filtro “Majority Filter” presente na ferramenta “Spatial Analyst Tools” do “ArcToolbox”.

Fez-se a comparação entre o mapa de uso e cobertura e a carta temática de unidade fitoecológicas do IPECE (2007b). Os polígonos classificados erroneamente foram reclassificados, após a transformação do raster em vetor. Os eventuais espaços vazios que surgiram durante o processo foram preenchidos usando a ferramenta “Trace”. Polígonos vizinhos de mesma classe foram incorporados pela ferramenta “Dissolve” formando um único polígono. Para facilitar a interpretação das classes, áreas menores que 1000 m<sup>2</sup> foram removidas usando o “Eliminate” presente na caixa de ferramenta “Data Management Tools” do “ArcToolbox”.

Uma última visita à área de estudo (dezembro de 2012) foi feita para comparação do mapa de uso e cobertura com a verdade terrestre, com o intuito de avaliar e melhorar a precisão do mapa.

Após as diversas correções do mapa, a acurácia da classificação foi verificada mediante o cálculo do coeficiente Kappa (LANDIS; KOCH, 1977) que permite avaliar, a partir da matriz de erro (ou verdade terrestre), a concordância entre a verdade terrestre obtida através da imagem de satélite, atualizada com informações obtidas em campo, com os dados resultantes da classificação automática, indicando a precisão do processo. A fórmula do coeficiente Kappa (K) é representada como segue:

$$K = \frac{N \sum_{i=1}^r X_{ii} - \sum_{i=1}^r (X_{i+} * X_{+i})}{N^2 - \sum_{i=1}^r (X_{i+} * X_{+i})}, \quad (1)$$

onde r é o número de linhas na matriz de erros,  $X_{ii}$  é o número de observações na linha i e coluna i na matriz de erro (ou seja, o número de classificações corretas),  $X_{i+}$  e  $X_{+i}$  são as quantidades totais na linha i e coluna i, respectivamente, e N é o número total de observações incluídas na matriz de erro.

### 2.2.3 Análise da adequabilidade de uso da terra em função da declividade

Antes da análise da adequabilidade, fez-se um cruzamento do mapa de altitude com o mapa de declividade, com o intuito de especializar o relevo em função da altitude. Esses mapas foram elaborados a partir do modelo digital de elevação (MDE) criado com dados básicos do projeto TOPODATA do INPE (VALERIANO; ROSSETTI, 2011) derivados da missão SRTM (RABUS *et al.*, 2003).

O mapa de declividade baseou-se nos intervalos de classes propostos por Ramalho Filho e Beek (1995) que são: de 0 a 3%, de 3 a 8%, de 13 a 20%, de 20 a 45% e maior que 45%. Esses autores estabeleceram esses intervalos de acordo com o grau de limitação do uso do solo em função da suscetibilidade à erosão.

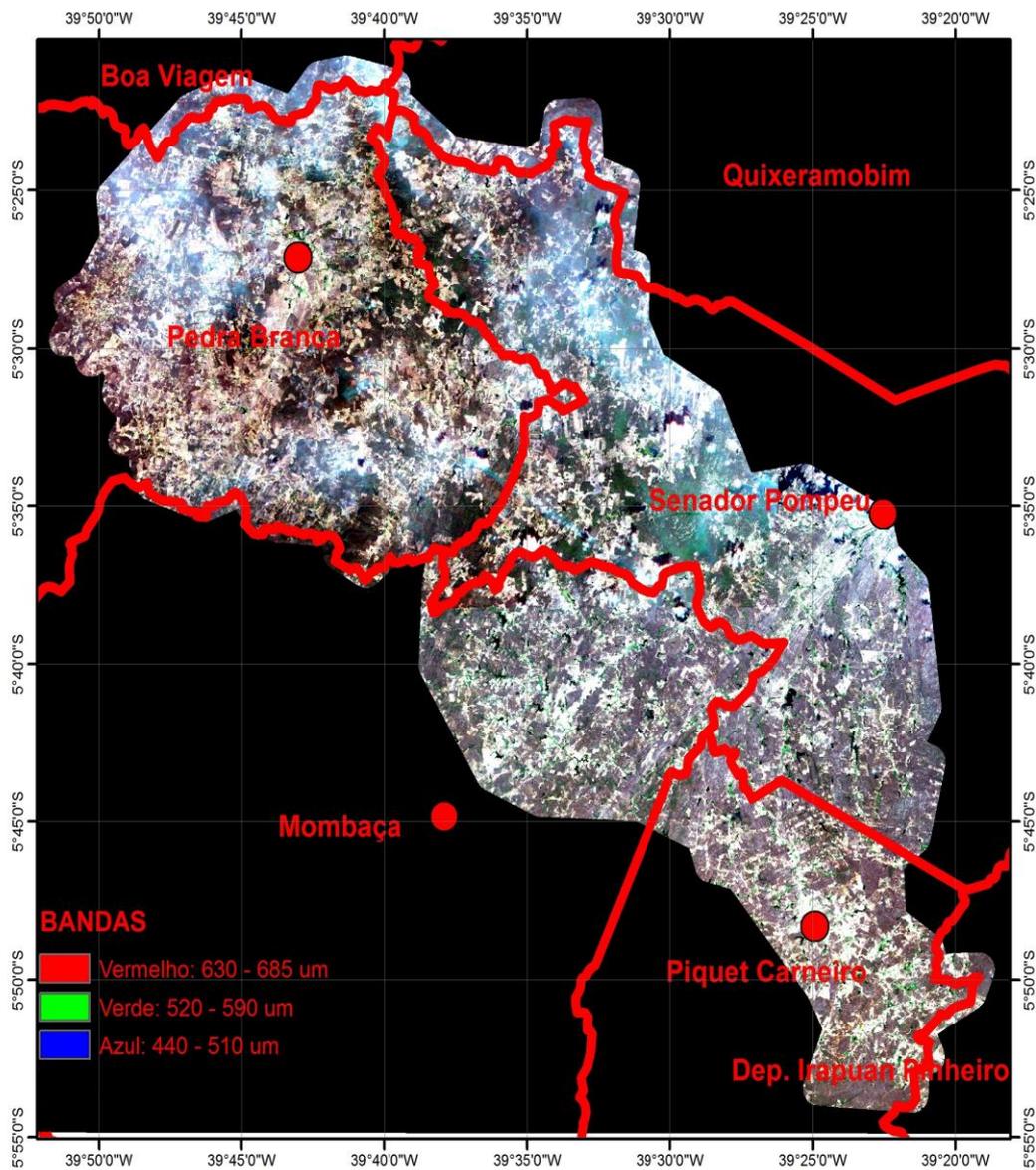
O mapa de uso e cobertura foi cruzado com o mapa de declividade da região, utilizando o “Intersect” presente na caixa de ferramentas “Analysis tools” do “ArcToolbox” (ArcGis 10.1) o que possibilitou a avaliação do uso e cobertura em função da declividade e identificação das áreas com uso inadequado.

## 2.3 Resultados e Discussão

### 2.3.1 Mapa de uso e cobertura

A imagem do sistema de sensores RapidEye, contendo a região de interesse, sobre a qual foi aplicada o classificador de Máxima Verossimilhança (MaxVer), é apresentada na FIGURA 2.2. Essa imagem foi adquirida georreferenciada com sistema de projeção UTM, Datum WGS-84, Zona 24 Sul e, para facilitar a localização, foi transformada para coordenadas geográficas.

Figura 2.2 – Região de interesse no Sertão Central do Estado do Ceará.



Fonte: Clécia Cristina Barbosa Guimarães (2012). Mosaico de imagens do sistema de sensores RapidEye, de 2011. A imagem apresenta-se com a delimitação das quatro áreas que compõem a região de interesse. Os pontos vermelhos representam as sedes municipais.

O mapa de uso e cobertura foi gerado com oito classes identificadas durante as visitas de campo: Área Urbana (AU), Agricultura (A), Corpo Hídrico (CH), Pastagem (P), Solo Exposto/Agricultura (SE/A), Vegetação Ripária (VR), Caatinga Arbustiva Aberta (CAAtA) e Caatinga Arbustiva Densa (CAAtD) (FIGURA 2.3). Na região também foram localizadas manchas de Caatinga Arbórea e Mata Seca que foram inseridas na classe Caatinga Arbustiva Densa uma vez que estas três classes apresentam valor de pixel muito semelhante, sendo difícil separá-las no mapa, usando o classificador MaxVer. O mesmo problema foi encontrado no trabalho de Andrade e Oliveira (2004), no qual os autores tiveram dificuldade em separar Caatinga de Mata Seca e homogeneizaram a região resultando como classe apenas Caatinga Arbustiva Aberta. No presente trabalho a classe Caatinga Arbustiva Densa foi escolhida entre as três por apresentar a maior proporção de vegetação na região em comparação com as outras duas.

Atribuiu-se uma classe para as nuvens presentes na imagem que foram desconsideradas durante os cálculos. As sombras das mesmas ocasionaram erros na classificação que foram corrigidos manualmente. A imagem apresentou também um moderado grau de nebulosidade que ocasionou semelhança entre pixels que, naturalmente, pertenceriam a classes diferentes. Batistella (2001) argumenta que a mistura de respostas espectrais de pixels de classes diferentes é um dos principais responsáveis por erros na classificação e, por isso, logo depois da classificação, foram feitas algumas correções.

O valor do Kappa calculado para o mapa de uso e cobertura foi feito a partir da matriz de verdade terrestre (TABELA 2.2) e resultou no valor de 0,9.

Tabela 2.2 - Matriz verdade do mapa de uso e cobertura das terras no Sertão Central do Ceará.

Class	AU	A	CH	P	SE/A	VR	CAAtA	CAAtD	Total
AU	12	0	0	4	4	0	0	0	20
A	0	19	0	1	0	0	0	0	20
CH	0	0	20	0	0	0	0	0	20
P	1	0	0	19	1	0	0	0	20
SE/A	2	0	0	0	18	0	0	0	20
VR	0	0	0	0	0	20	0	0	20
CAAtA	0	0	0	0	0	0	20	0	20
CAAtD	0	0	0	0	0	0	1	19	20
Total	14	20	20	24	24	20	21	20	160

Fonte: Clécia Cristina Barbosa Guimarães (2012). Legenda: AU- Área Urbana; A- Agricultura; CH- Corpo Hídrico; P- Pastagem; SE/A- Solo Exposto/Agricultura; VR- Vegetação Ripária; CAAtA- Caatinga Arbustiva Aberta; CAAtD- Caatinga Arbustiva Densa.

A partir do valor encontrado, de acordo com Landis e Koch (1977), o mapa pode ser classificado como de excelente qualidade (QUADRO 2.2).

Quadro 2.2 - Estatística Kappa e qualidade da acurácia do mapa.

<b>Índice Kappa</b>	<b>Qualidade do mapa temático</b>
< 0	Péssima
0 a 0,20	Ruim
0,21 a 0,40	Razoável
0,41 a 0,60	Boa
0,61 a 0,80	Muito boa
0,81 a 1	Excelente

Fonte: Landis; Koch, 1977.

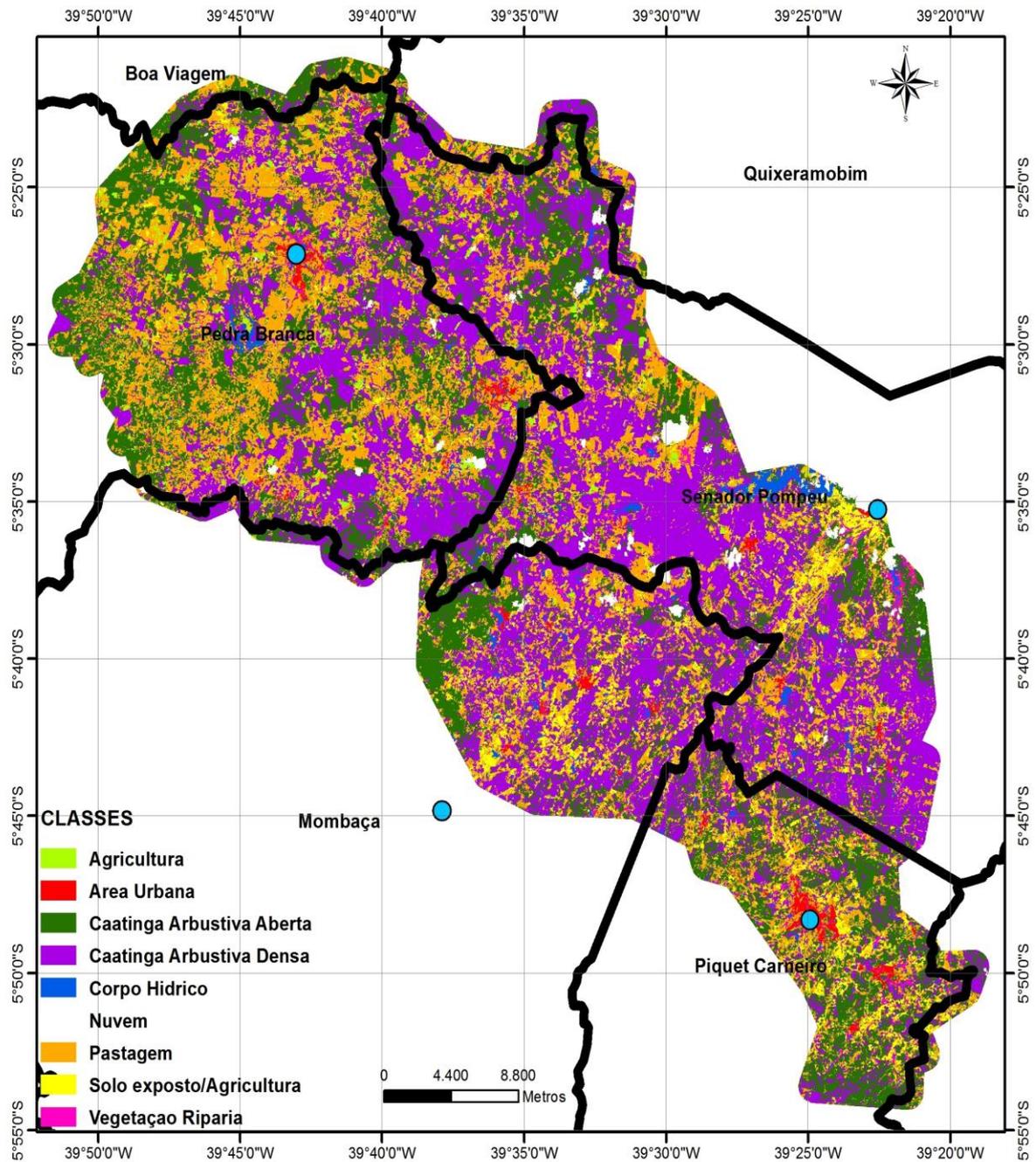
A classe Agricultura (principalmente cultura de milho de subsistência) cobre dois por cento da área total, com 2.581 ha, composta, na sua maior parte, por pequenos fragmentos de 0,1 a 0,5 ha, estando concentrada em altitudes mais elevadas de 300 a 700 m, no município de Pedra Branca (GRÁFICO 2.1). Sabe-se, no entanto, que esse resultado está subestimado uma vez que regiões mais ao sul também apresentam este tipo de uso em uma porcentagem maior do que a encontrada no mapa. Devido às imagens serem correspondentes a um período muito seco e, também, mais ao sul do mapa as temperaturas serem mais elevadas que em regiões próximas à Pedra Branca, ocasionando o aumento da evaporação da água que também prejudica o estabelecimento de culturas agrícolas em épocas muito secas, muitas áreas de agricultura apresentaram-se como solo exposto e foram englobadas na classe Solos Exposto/ Agricultura. Próximo ao rio Banabuiú existe o manejo agrícola associado às secas e cheias do rio, conhecido como agricultura de vazante, que também foi inserido nesta última classe devido à extensão do rio apresentar-se completamente seca no período correspondente, comprometendo este tipo de manejo na região.

A classe Corpo Hídrico mostrou, como resultado, uma área de 1.867 ha (um por cento da área total), a maioria deles sendo em pequeno tamanho. No entanto, este valor de área também apresenta uma subestimação, uma vez que muitos deles, por serem intermitentes mostram-se, na imagem, como terra seca (sem cobertura), inclusive a extensão do rio Banabuiú, como explicitado anteriormente, que na época da retirada da imagem apresentava-se superficialmente seco e foi classificado como solo exposto, indicando as coroas arenosas expostas.

A classe Solo Exposto/ Agricultura engloba áreas que seriam consideradas corpos hídricos durante as estações chuvosas, assim como áreas preparadas para agricultura. Também foram consideradas nesta classe, além das mencionadas anteriormente, áreas com solos

desnudos ocasionados pelo excessivo manejo agrícola, áreas abertas para passagens de veículos e afloramentos de rochas que ocorrem principalmente nas regiões mais ao sul do mapa. Apresentou como valor de área 8.364 ha cobrindo seis por cento da região (FIGURA 2.3; GRÁFICO 2.1).

Figura 2.3 – Mapa de uso e cobertura das terras da região do Sertão Central do Ceará.



Fonte: Clécia Cristina Barbosa Guimarães (2012). Os pontos azuis no mapa representam as sedes municipais.

A Área Urbana representa um por cento (1.523 ha) da área e se restringe às pequenas localidades centrais somadas a diminutas aglomerações populacionais no interior de cada município (FIGURA 2.3; GRÁFICO 2.1).

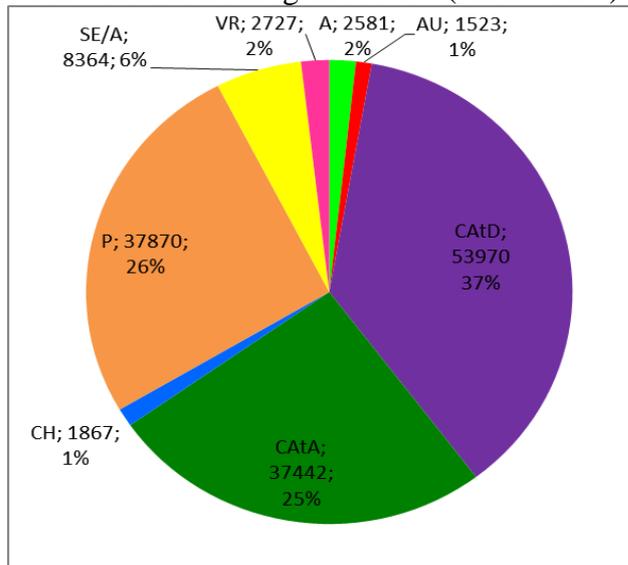
Caatinga Arbustiva Densa possui a maior espacialidade em comparação às outras classes, cobrindo 36% da área (53.970 ha), está espalhada por toda a região (FIGURAS 2.3 e 2.6; GRÁFICO 2.1). Mais ao norte, no município de Pedra Branca, essa classe incorporou a Caatinga Arbórea (pouco representativa) e a Mata Seca (localizada nas maiores altitudes).

A classe Caatinga Arbustiva Aberta também encontra-se espalhada por toda a região de interesse, mas com uma porcentagem menor (25%), abrange uma área de 37.442 ha (FIGURAS 2.3 e 2.7; GRÁFICO 2.1). Essa classe apresenta valores semelhantes ao encontrado para Pastagem (37.870 ha), que cobre 26% da área total (FIGURAS 2.3 e 2.8; GRÁFICO 2.1), e isso é justificável uma vez que essas classes apresentam-se intrinsecamente relacionadas no ambiente, sendo as áreas de Caatinga Arbustiva Aberta, inclusive, muitas vezes também pastejada. O município de Piquet Carneiro concentra a maior proporção dessa classe, indicando que, dentro da região de interesse, é onde houve maior degradação da cobertura vegetal original.

O aparecimento da Caatinga Arbustiva Aberta pode ser consequência do manejo agrícola, especificamente da pastagem, por ser, na região, o uso da terra predominante. Assim, ela surge do abandono das regiões antes pastejadas que passaram por um período de regeneração e, agora, constituem esse tipo de estrato vegetacional. Alves, Araújo e Nascimento (2009) explicam que, nas áreas onde as práticas de pastagem cessam, ocorre um processo de regeneração da Caatinga caracterizada por indivíduos arbustivos de mesmo porte. No entanto, os mesmos autores concluem que o pasto não é o único, mas apenas um dos fatores, que condiciona o aparecimento dos diferentes estratos vegetacionais da Caatinga, há que se considerar também as condições climáticas locais aliadas a outros fatores ecológicos como solos, características herdadas dos sistemas morfoclimáticos, paleoecológicos, etc.

Essa classe também pode ser resultante da degradação de áreas densamente florestadas para que o gado possa se estabelecer. A pecuária realizada na região é conhecida como pecuária extensiva na qual o gado é criado solto, assim, grandes áreas são desmatadas para serem utilizadas como pasto. De acordo com Souza *et al.* (1998), a Caatinga Arbórea foi a unidade vegetacional original que dominou o semiárido cearense, em tempos passados, mas com a ocupação pela pecuária extensiva e os plantios de algodão, praticamente toda a cobertura vegetal natural foi transformada em Caatinga Arbustiva Densa, e a continuidade do antropismo, conseqüentemente, originou a Caatinga Arbustiva Aberta.

Gráfico 2.1- Percentagem da área (em hectares) de cada classe de uso e cobertura.



Fonte: Clécia Cristina Barbosa Guimarães (2012). O gráfico apresenta a proporção de área das classes de uso e cobertura. Cada sigla representa uma classe: A- Agricultura; AU- Área Urbana; CATD- Caatinga Arbustiva Densa; CATa- Caatinga Arbustiva Aberta; CH- Corpo Hídrico; P- Pastagem; SE/A- Solo Exposto/Agricultura; VR- Vegetação Ripária; o valor ao lado da sigla são as áreas em hectares e o valor abaixo é a proporção dessas áreas na paisagem.

Por fim, a classe Vegetação Ripária cobre dois por cento da área total e ocupa 2.727 hectares (FIGURA 2.3; GRÁFICO 2.1).

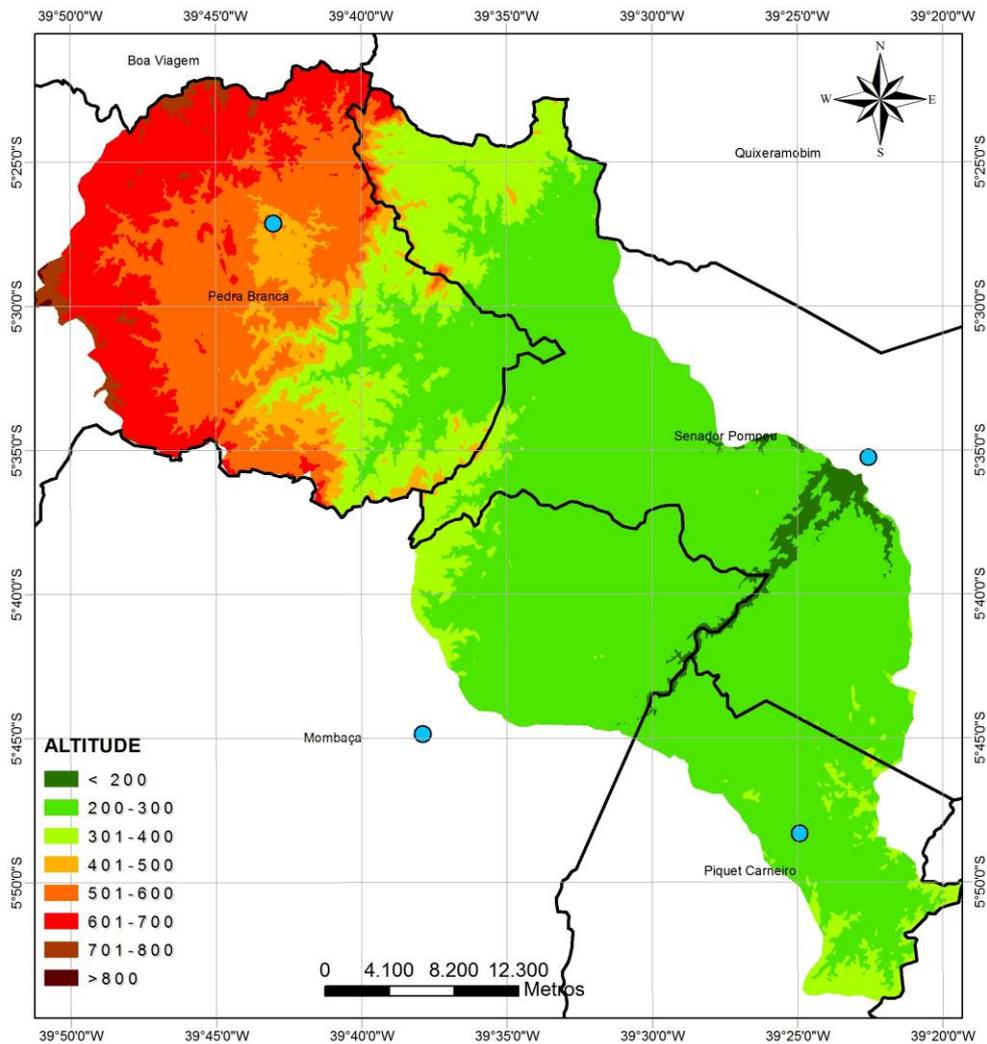
### 2.3.2 Adequabilidade do uso da terra em função da declividade

As informações do mapa de uso e cobertura foram cruzadas com o mapa de declividade para avaliar possíveis áreas inadequadamente utilizadas. O mapa de altitude foi utilizado com o intuito de espacializar os diferentes tipos de relevos encontrados na região.

A FIGURA 2.4 mostra o mapa de altitude da região, com espaçamento de 100 m. Foram encontradas altitudes menores que 200 m e maiores que 800 m, sendo que 56% da área são dominadas por altitudes de 200 a 300 m (GRÁFICO 2.2).

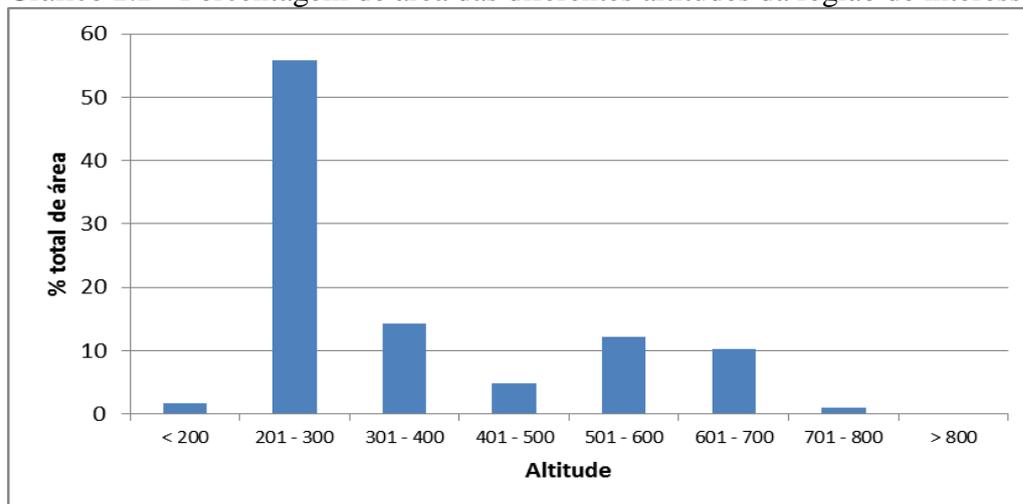
O mapa de declividade é apresentado na FIGURA 2.5. Os intervalos das classes de declividade foram definidos por Ramalho Filho e Beek (1995) conforme o grau de limitação do uso do solo em função da susceptibilidade à erosão. De acordo com Seabra (2012), o mapa de declividade permite inferir sobre as formas da paisagem, erosão, potencialidades de uso agrícola, restrições para ocupação, manejos e práticas conservacionistas e, por isso, foi imprescindível para a avaliação dos padrões de uso e cobertura da região.

Figura 2.4 - Mapa de altitude da região de interesse localizada no Sertão Central Cearense.



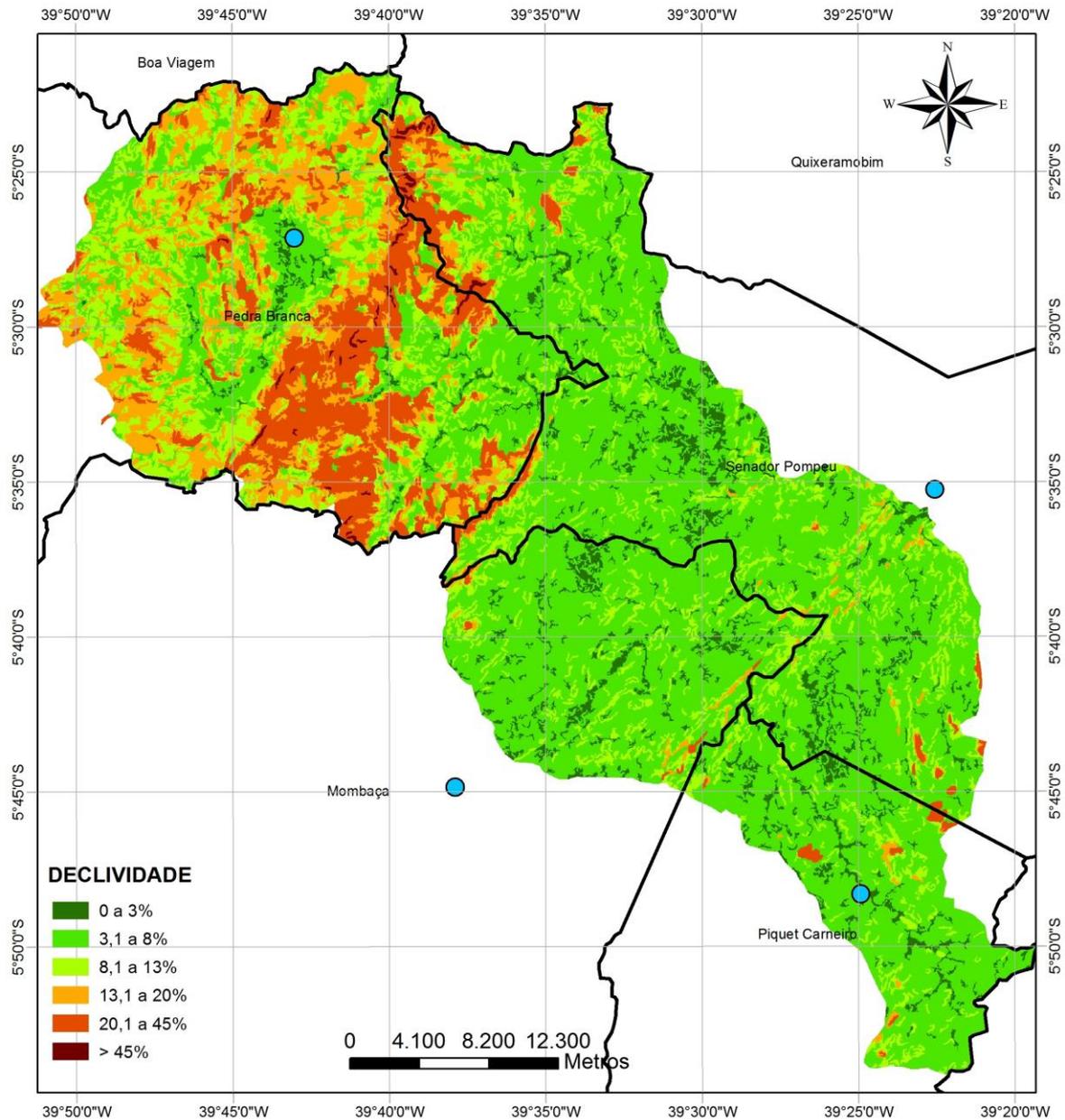
Fonte: Gustavo Souza Valladares (2012). Altitude baseada nos dados do Projeto Topodata (INPE). Os pontos azuis no mapa representam as sedes municipais.

Gráfico 2.2 - Porcentagem de área das diferentes altitudes da região de interesse.



Fonte: Clécia Cristina Barbosa Guimarães (2012).

Figura 2.5 - Mapa de Declividade da Região de Interesse localizada no Sertão Central Cearense.

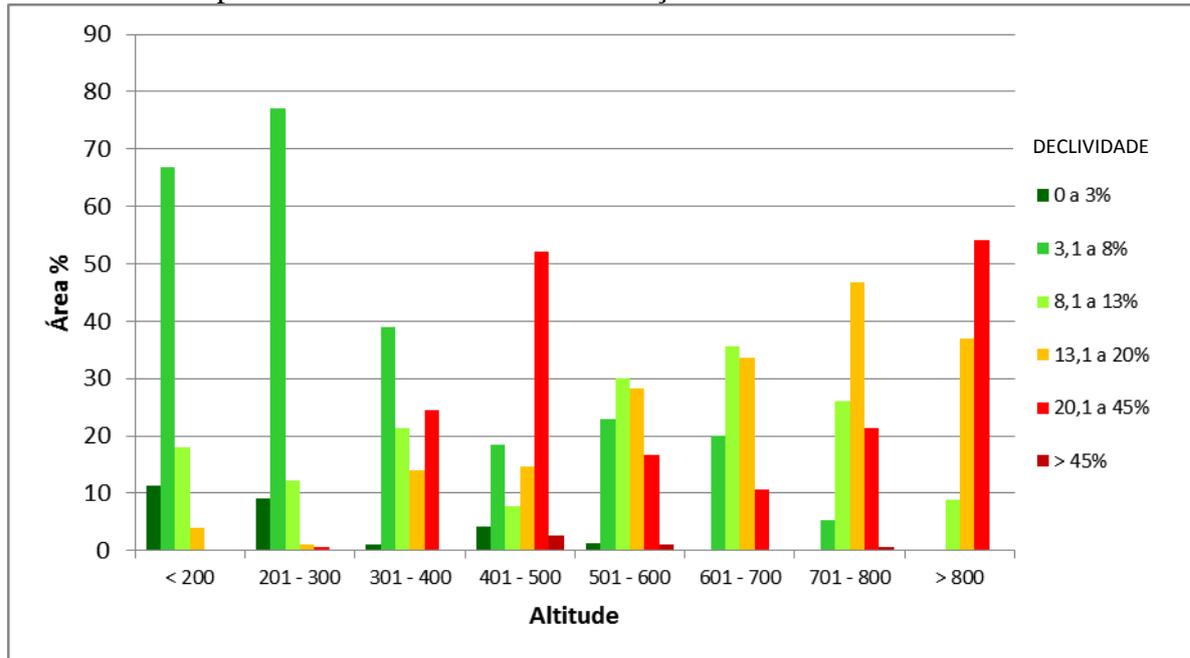


Fonte: Gustavo Souza Valladares (2012). Declividade baseada nos dados do Projeto Topodata (INPE). Os pontos azuis no mapa representam as sedes municipais.

Pelo cruzamento dos mapas de altitude com o de declividade, percebe-se que prevalece na região relevo suave ondulado (declividade 3 a 8%), ocupando 55% da área, com sua maior representatividade em altitudes de 200 a 400 m, onde também predomina o relevo plano (declividade < 3%) que cobre apenas seis por cento da área. O relevo moderadamente ondulado (8 a 13% de declividade) está presente em 18% da área em todas as altitudes. O relevo ondulado (declividade de 13 a 20%) ocupa 10% da área e também encontra-se em todas as altitudes, no entanto encontra-se mais concentrado em altitudes de 500 a 800 m. Os

relevos com declividades de 20 a 45% caracterizados como forte ondulados, cobrem 10% da área e apresentam uma maior concentração em altitudes de 300 a 600 m e dominam altitudes superiores a 800 m. Os relevos montanhosos com declividades acima de 45% são os menos representativos, cobrindo menos de um por cento da área. As poucas manchas desse relevo estão presentes em altitudes de 400 a 600 m (classes 4 e 5 do GRÁFICO 2.3).

Gráfico 2.3 - Representatividade do relevo em função da altitude.



Fonte: Clécia Cristina Barbosa Guimarães (2012).

Esses resultados indicam que 79% das terras da região de interesse (somando as classes de relevo plano, suave ondulado e moderadamente ondulado) apresentam-se adequadas para uso com agricultura e pastagem, considerando-se apenas a declividade como fator limitante, visando à minimização dos processos erosivos e conseqüentemente a conservação dos solos. Estas afirmativas não levam em consideração o manejo empregado na área, sendo importante ressaltar que pode ocorrer sobrepastoreio e emprego de métodos agrícolas não conservacionistas.

A TABELA 2.3 apresenta os tipos de uso e cobertura das terras segundo a declividade do terreno, enquanto a TABELA 2.4 mostra a distribuição da declividade dentro de cada classe de uso e cobertura, das quais, as principais são mostradas nas FIGURAS 2.6, 2.7 e 2.8.

Tabela 2.3 - Proporção de área de uso e cobertura em cada classe de declividade.

<b>Declividade</b>	<b>A</b>	<b>AU</b>	<b>CAtd</b>	<b>CAtA</b>	<b>P</b>	<b>SE/A</b>	<b>VR</b>	<b>Total</b>
decli 1 (< 3%)	1	3	36	16	26	10	4	100
decli 2 (3 a 8%)	1	1	37	24	25	7	2	100
decli 3 (8 a 13%)	2	0	32	29	28	5	2	100
decli 4 (13 a 20%)	3	0	30	31	31	3	1	100
decli 5 (20 a 45%)	2	0	47	25	22	1	1	100
decli 6 (> 45%)	1	0	71	21	6	0	1	100

Fonte: Clécia Cristina Barbosa Guimarães (2012). Legenda: A- Agricultura; AU- Área Urbana; CAtd- Caatinga Arbustiva Densa; CAtA- Caatinga Arbustiva Aberta; CH- Corpo Hídrico; P- Pastagem; SE/A- Solo Exposto/Agricultura; VR- Vegetação Ripária. Nota: em amarelo as classes de uso e cobertura que prevalecem em todas as declividades.

A classe Agricultura não tem uma alta representatividade na paisagem, mas percebe-se que existe uma porcentagem expressiva de sua área entre as classes de declividade quatro e cinco (TABELA 2.4).

Tabela 2.4 – Distribuição da declividade nas classes de uso e cobertura.

<b>Declividade</b>	<b>A</b>	<b>AU</b>	<b>CAtd</b>	<b>CAtA</b>	<b>P</b>	<b>SE/A</b>	<b>VR</b>
decli 1 (< 3%)	3	16	6	4	6	10	12
decli 2 (3 a 8%)	40	74	56	53	53	68	63
decli 3 (8 a 13%)	25	8	16	21	20	14	16
decli 4 (13 a 20%)	18	2	9	13	13	5	7
decli 5 (20 a 45%)	13	1	12	10	8	2	3
decli 6 (> 45%)	0,2	0,0	0,6	0,2	0,1	0,0	0,1
<b>Total</b>	100	100	100	100	100	100	100

Fonte: Clécia Cristina Barbosa Guimarães (2012). Legenda: A- Agricultura; AU- Área Urbana; CAtd- Caatinga Arbustiva Densa; CAtA- Caatinga Arbustiva Aberta; CH- Corpo Hídrico; P- Pastagem; SE/A- Solo Exposto Agricultura; VR- Vegetação Ripária. As linhas da primeira coluna da tabela representam as classes de declividade.

As áreas com declividades de 13% a 20% são mais indicadas para a exploração de culturas permanentes, que proporcionam ao solo maior proteção (RAMALHO FILHO; BEEK, 1995). Na região em estudo prevalece a agricultura itinerante na qual toda a vegetação é retirada e o solo é queimado para novo plantio. Assim, essa prática torna o solo cada vez mais suscetível à erosão. Áreas com declividades superiores a 20% não devem ser utilizadas para agricultura uma vez que a suscetibilidade do solo à erosão é muito maior que nas classes de declividades anteriores. Desta forma, somada as porcentagens de área de Agricultura das classes de declividades quatro, cinco e seis, percebe-se que 31,2% da classe apresentam-se com uso inadequado da terra.

Havendo práticas de conservação do solo, o uso da terra com Agricultura e Pastagem, localizadas em relevos planos (declividade < 3%), suaves ondulados (declividade entre 3% e 8%) e moderadamente ondulados (declividade entre 8% a 13%), apresenta-se adequado.

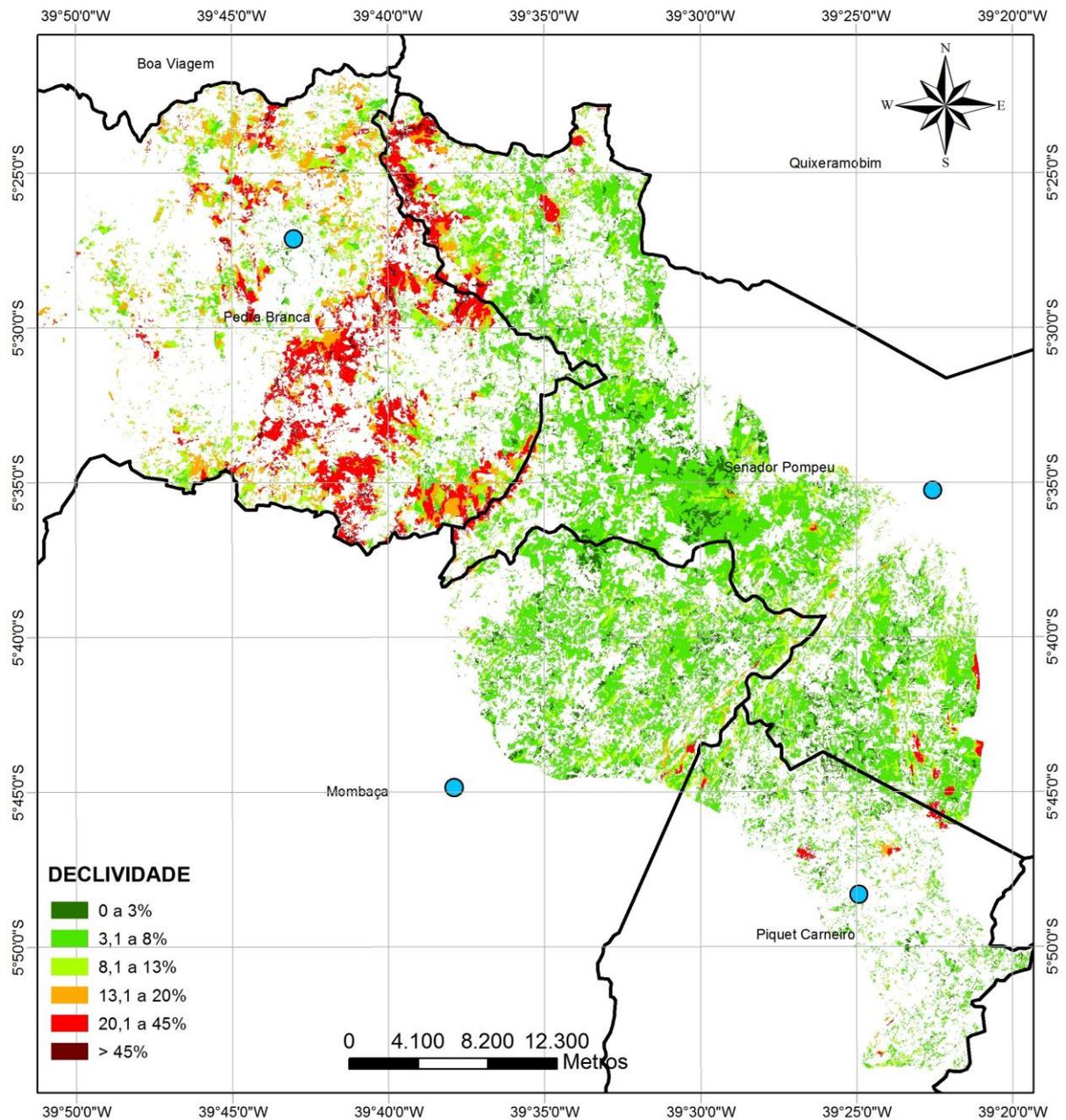
As classes Caatinga Arbustiva Densa, Caatinga Arbustiva Aberta e Pastagem prevalecem em todas as declividades (TABELA 2.3 (em amarelo); FIGURAS 2.6, 2.7 e 2.8). A proporção dessas três classes em regiões mais declivosas, exceto em relevo forte ondulado e montanhoso (declividade > 20%- classes cinco e seis) para a classe Pastagem, não evidencia uso inadequado da terra, uma vez que, segundo Ramalho Filho e Beek (1995), em regiões de relevo com declive de até 20% e, principalmente, no relevo ondulado (declividade entre 13% a 20%), o uso para pecuária e silvicultura é recomendado, podendo ainda serem utilizadas para a conservação ambiental, evitando-se, assim, problemas de erosão do solo.

As áreas com declividade acima de 20% com uso de pastagem apresentam-se inadequadamente utilizadas uma vez que essas regiões possuem severa susceptibilidade à erosão, não sendo recomendadas para pastagem, sob pena de serem erodidas em poucos anos. Nessas áreas deve ser estabelecida uma cobertura vegetal de preservação ambiental. Percebe-se, pela TABELA 2.4, que 8,1% da classe Pastagem já encontra-se em relevo mais declivoso (forte ondulado e montanhoso) indicando que está havendo uma tentativa humana de quebrar a barreira física imposta pelo relevo e instalar suas práticas agrícolas de acordo com suas necessidades de subsistência.

Setenta e um por cento do relevo montanhoso é coberto por Caatinga Arbustiva Densa e, com 21% de Caatinga Arbustiva Aberta (TABELA 2.3), percebe-se que está havendo um processo de degradação da mata mais fechada, que pode ser Caatinga Arbórea ou Arbustiva Densa, cujo resultado é o aparecimento de uma mata mais aberta, com plantas mais baixas. Como reportaram Andrade e Oliveira (2004), e o que se percebe na região, a

degradação da Caatinga Arbórea/Arbustiva Densa em Arbustiva Aberta tem origem nos processos globais de degradação ambiental, favorecidos pelos períodos críticos de semiaridez acentuada e está sendo acelerada pelas atividades antrópicas como o desmatamento para agricultura e pastagem, ou mesmo a retirada de lenha para construção de casas e cercas. Mesmo áreas não desmatadas de Caatinga Arbustiva Aberta são em comum utilizadas para pastoreio animal, aumentando assim o processo de degradação.

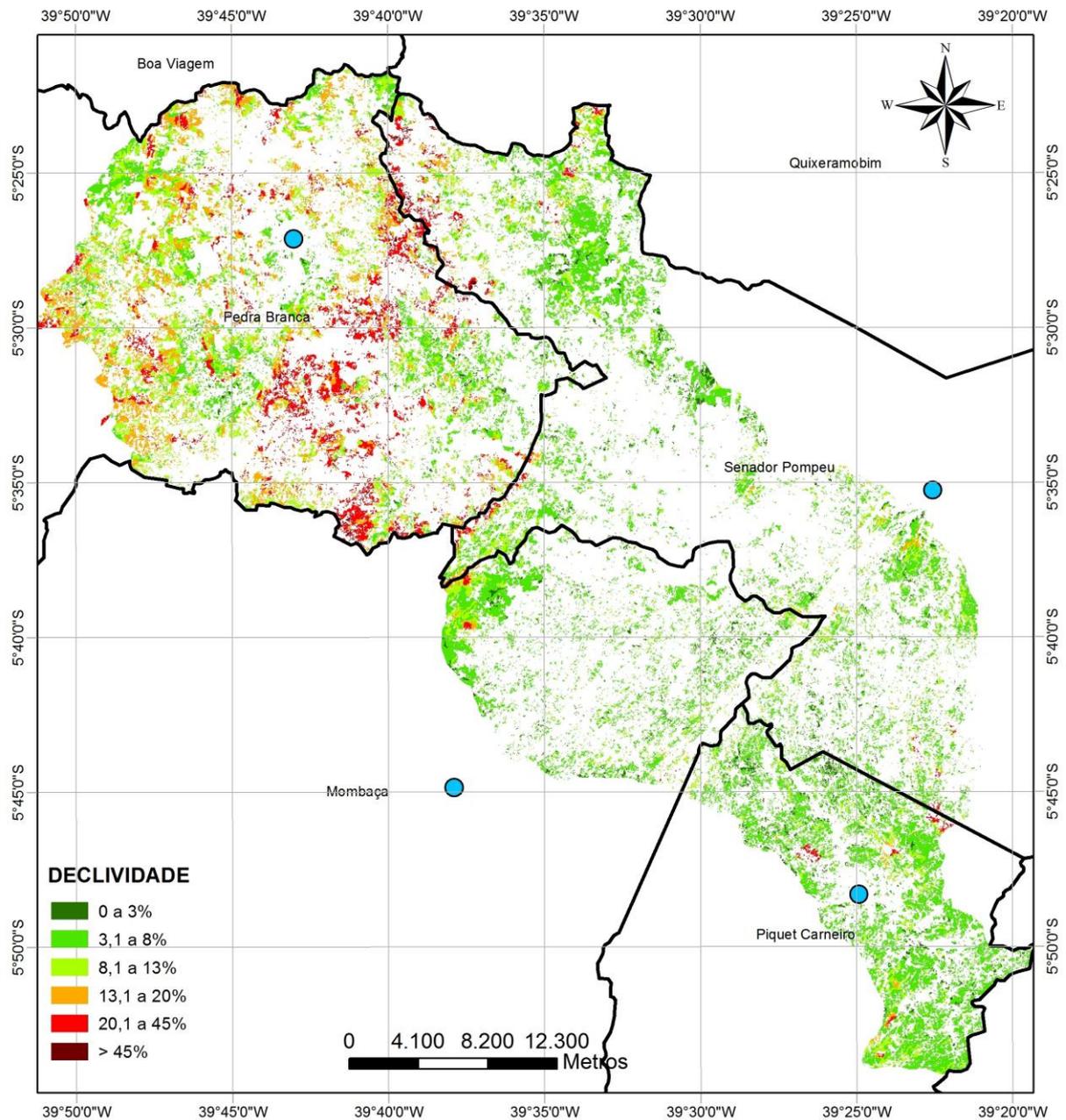
Figura 2.6. Distribuição da classe Caatinga Arbustiva Densa nas diferentes declividades.



Fonte: Clécia Cristina Barbosa Guimarães (2012). Os pontos azuis no mapa representam as sedes municipais.

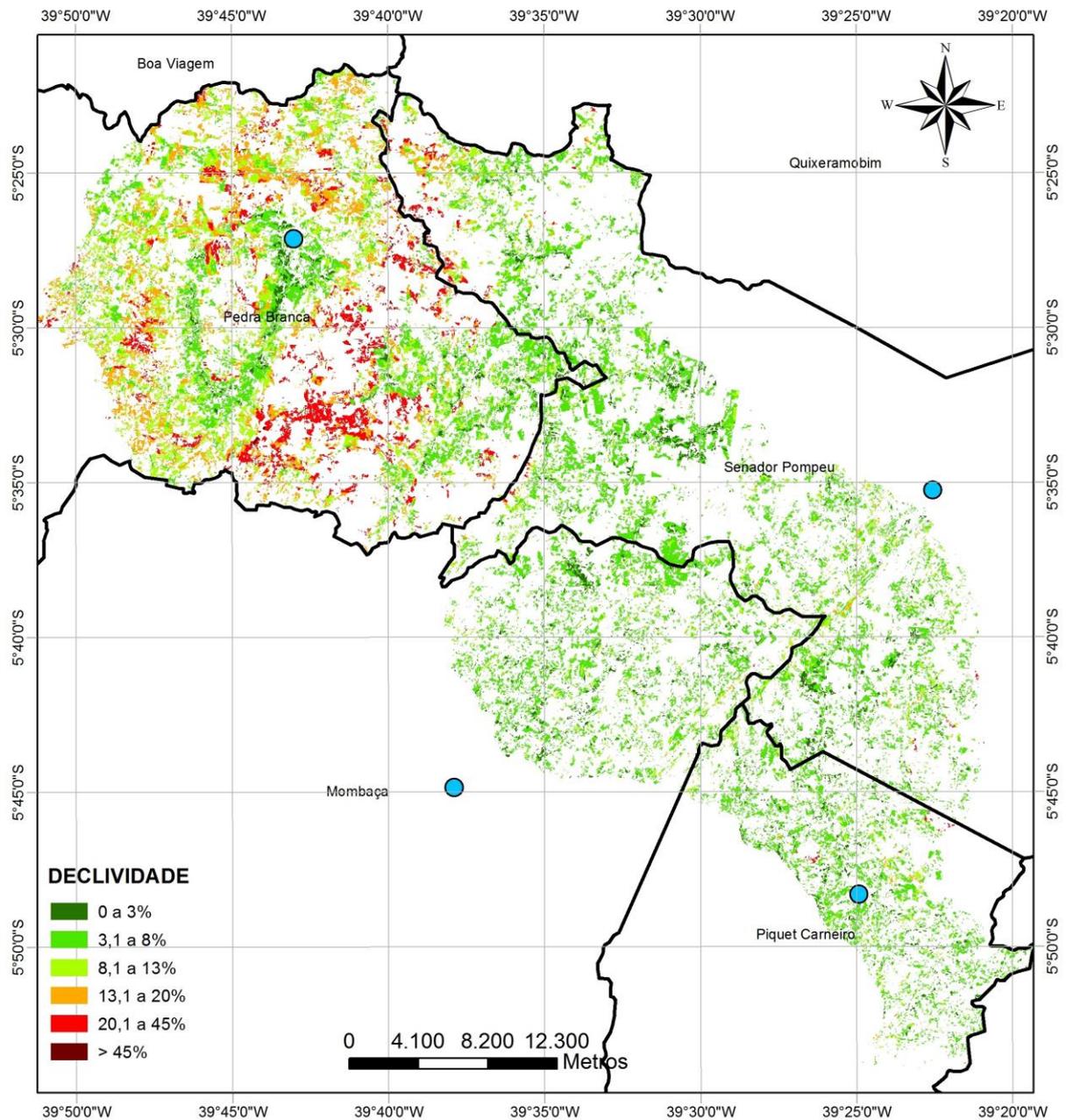
Como mostrado anteriormente, a distribuição de Caatinga Arbustiva Densa teve sua maior porcentagem em relevo montanhoso, no entanto, no mapa da FIGURA 2.6 e na TABELA 2.3, percebe-se uma maior expressividade da mesma em declividades mais baixas. Isso ocorre porque a porcentagem de relevo menos declivoso é maior que a de relevo montanhoso, que cobre menos de um por cento de toda a área. Quase a totalidade desta pequena porcentagem é coberta por Caatinga Arbustiva Densa.

Figura 2.7 – Distribuição da classe Caatinga Arbustiva Aberta nas diferentes declividades.



Fonte: Clécia Cristina Barbosa Guimarães (2012). Os pontos azuis no mapa representam as sedes municipais.

Figura 2.8 – Distribuição da classe Pastagem nas diferentes declividades.



Fonte: Clécia Cristina Barbosa Guimarães (2012). Os pontos azuis no mapa representam as sedes municipais.

A classe Vegetação Ripária encontra-se em quase sua totalidade em relevo suave ondulado (TABELA 2.4) e localiza-se, comumente, próximo ou no interior dos corpos hídricos, indicando que muitos cursos d'água encontram-se protegidos pela vegetação natural, mas também sofrem pressão de pastoreio animal.

Foram encontrados fragmentos da classe Solo Exposto/Agricultura concentrados em relevos planos e suaves ondulados (TABELA 2.3). Das áreas correspondentes a esta classe, 68% encontram-se em relevo suave ondulado (entre 3 e 8% de declividade), e sete por cento encontram-se em declividades acima de 13% (TABELA 2.4). Estes fragmentos, sendo

provenientes de culturas abandonadas, áreas preparadas para cultivo ou aberturas para passagens de veículos, podem facilitar o processo de erosão, uma vez que esses solos ficam mais suscetíveis às ações das chuvas.

A classe Área Urbana encontra-se, na sua totalidade, em relevos planos e suaves ondulado, onde as chances de desabamentos por deslizamento do solo, durante chuvas mais concentradas, são quase nulas. No presente trabalho não está sendo enfocada a questão das enchentes, mas é uma questão importante a ser trabalhada no planejamento urbano.

Quanto à adequação ao uso da terra, considerando apenas as classes de uso (Pastagem, Agricultura e Solo Exposto/Agricultura) em relação à declividade, percebe-se que 3,15% de toda a área (equivalente a 4.657 ha) apresentam-se inadequadamente utilizadas. Esse valor é explicado pelas porcentagens de Agricultura e Solo Exposto/Agricultura nas classes de declividade quatro, cinco e seis somadas à porcentagem de Pastagem nas classes cinco e seis (TABELA 2.5).

Tabela 2.5 – Total de uso e cobertura na paisagem em função da declividade

Declividades	A	AU	CAtD	CAtA	CH	P	SE	VR	total
decli 1 (< 3%)	0,1	0,2	2,1	0,9	0,1	1,5	0,6	0,2	6
decli 2 (3 a 8%)	0,7	0,8	20,6	13,3	0,8	13,6	3,8	1,2	55
decli 3 (8 a 13%)	0,4	0,1	5,8	5,3	0,2	5,0	0,8	0,3	18
decli 4 (13 a 20%)	0,3	0,0	3,3	3,3	0,1	3,3	0,3	0,1	11
decli 5 (20 a 45%)	0,2	0,0	4,5	2,5	0,0	2,1	0,1	0,0	10
decli 6 (> 45%)	0,0	0,0	0,2	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3
Total	2	1	37	25	1	26	6	2	100

Fonte: Clécia Cristina Barbosa Guimarães (2012).

O uso mais preocupante refere-se à Pastagem na declividade seis, mesmo a porcentagem de uso nesta classe de declividade sendo pequena, pois relevos em declividades acima de 45% deveriam obrigatoriamente ter uma cobertura vegetal natural e não serem utilizadas para manejo agrícola por apresentarem maior susceptibilidade à erosão do solo em função da predominância do escoamento superficial sobre os processos de infiltração da água. A cobertura vegetal natural auxilia na conservação dos solos dessas áreas uma vez que facilita a infiltração da água e impede um maior escoamento superficial. Quando áreas assim são inadequadamente utilizadas pelo manejo agrícola, o solo fica desprotegido e aumenta as chances de ser erodido (HACISALIHOGU, 2007). Vanacker (2012) simulou dois cenários, um florestado e um desmatado, para mostrar a importância da preservação da cobertura

natural em declividades elevadas para redução da erosão do solo. Em seus resultados ele encontrou que no cenário florestado a sensibilidade à erosão foi manifestada apenas em declividades acima de 75% e no cenário desmatado, à medida que aumentou o grau de inclinação, maior à sensibilidade do solo à erosão, uma vez que, neste último cenário, a força dominante é o escoamento que aumenta com o acréscimo líquido de chuva e saturação do solo.

É importante frisar que esse tipo de erosão do solo pode acarretar outro problema ambiental que é caracterizado pelo assoreamento dos corpos hídricos que ocorre a partir do transporte e deposição dos sedimentos provenientes dos processos erosivos. Dill (2002), citando Paiva *et al.* (1998), reporta que quando os sedimentos provenientes dos processos erosivos das encostas chegam ao curso hídrico e seu aporte torna-se maior que a sua capacidade de transporte há a deposição desse material nas áreas mais baixas, como rios, lagos, ou açudes, levando ao processo de assoreamento dos mesmos.

Pelos resultados encontrados, percebe-se que a região apresenta-se ainda com uma boa cobertura natural, principalmente nas declividades mais elevadas, mas já se verifica grandes focos de degradação da vegetação que compõem essa cobertura (FIGURA 2.9). O ser humano está tentando ocupar todos os espaços e não são preocupações conservacionistas que estão barrando o crescimento de usos em declividades mais elevadas e sim o difícil acesso a essas áreas.

Figura 2.9 – Degradação da vegetação na área de estudo no Estado do Ceará.



Fonte: Renê Pedro de Aquino (2012). As setas pretas indicam alguns locais de degradação da vegetação natural com o estabelecimento da pastagem.

Nota-se, contudo, que, mesmo com dificuldade, algumas áreas de relevo mais declivoso já estão sendo ocupadas com práticas de pastagem e agricultura itinerante (FIGURA 2.10) podendo ser uma questão de tempo para que a porcentagem de uso inadequado cresça, com maiores riscos de erosão e perda de solo, como já pode ser observado “in loco” em alguns pontos da área (FIGURA 2.11).

Figura 2.10 – Prática de pastagem em região declivosa na área de estudo no Estado do Ceará.



Fonte: Renê Pedro de Aquino (2012). Prática de pastagem evidenciada pelo retângulo preto.

Figura 2.11 – Evidência de processos erosivos na região de estudo no Estado do Ceará.



Fonte: Renê Pedro de Aquino (2012).

Esse crescimento agrícola nas maiores declividades pode ser explicado pelo estabelecimento de grandes propriedades privadas nos relevos menos declivosos, limitando o uso pelos pequenos produtores rurais que encontram nas declividades mais elevadas solução para a manutenção de suas atividades. No entanto, os riscos à erosão seriam diminuídos nessas áreas mais declivosas se os pequenos produtores utilizassem práticas de conservação do solo, como por exemplo, para o sistema de pastagem, o plantio de leguminosas em consórcio com gramíneas, rotação de pastos e o não uso do fogo; e, para culturas agrícolas, plantio em nível e a construção de terraços. Essas práticas ajudam a minimizar os efeitos dos principais processos erosivos (exposição do solo e enxurradas), conciliando a exploração econômica com a preservação do solo (WADT *et al.*, 2003).

Assim, a tomada de consciência e o incentivo de preservação dos recursos naturais devem ser trabalhados com a população local com vistas a melhor adequar os usos da terra às características da área, uma vez que, de acordo com Lambin, Geist e Lepers (2003), as decisões quanto ao uso da terra podem ter consequência positiva ou negativa para o ambiente, e isso vai depender do conhecimento, informação, disponibilidade e capacidade de administração da terra.

O presente estudo analisou a adequabilidade do uso das terras com enfoque no uso e declividade. Ele serve como base para um trabalho mais aprofundado em que a erosividade e as características edáficas do solo devem ser levadas em consideração, uma vez que a maior suscetibilidade do mesmo à erosão vai depender, além do grau de inclinação do relevo, do potencial de erodibilidade do solo e da influência das chuvas.

## **2.4 Conclusões**

1. A pastagem é a atividade agrícola dominante na paisagem e a principal responsável pela degradação da vegetação natural que ainda cobre 64% da área.
2. A região é representada principalmente por relevo pouco declivoso, com 61% de sua área apresentando declividades menores que 8% que representam os relevos planos e suaves ondulados.
3. A alta porcentagem de terras adequadas para práticas agrícolas (79% para agricultura e 89% para pastagem) justificam os 3,15% de uso inadequado encontrados na região.
4. Uma considerável proporção de áreas adequadas para práticas agrícolas são ocupadas por grandes propriedades privadas o que obriga alguns pequenos agricultores a utilizarem inadequadamente regiões de relevo mais declivoso.

5. Uma maior atenção deve ser dada aos relevos mais declivosos, por seus maiores riscos à erosão e por sua baixa proporção na paisagem, para que não sejam erodidos e, sim, conservados.

### **CAPÍTULO 3 – ESTRUTURA DA PAISAGEM EM UM POLÍGONO DO SERTÃO CENTRAL DO ESTADO DO CEARÁ, BRASIL.**

#### **RESUMO**

O uso e ocupação das terras são atividades diretamente relacionadas ao processo de degradação da cobertura vegetal original, uma vez que a vegetação natural precisa ser retirada para que essas atividades possam tomar o lugar, causando modificação na paisagem como um todo. No Sertão Central do Estado do Ceará as práticas de agricultura e pastagem são as principais responsáveis pelo processo de fragmentação da vegetação e modificação da paisagem. Mapas de uso e cobertura das terras são bastante utilizados na avaliação da fragmentação da paisagem natural, usando sobre eles métricas que quantificam a estrutura de uma paisagem. Essas métricas foram utilizadas sobre o mapa de uso e cobertura de um polígono localizado no Sertão Central do Estado do Ceará que caracterizou a estrutura da paisagem e inferiu o quanto de sua vegetação natural apresenta-se degradada. Percebe-se, pelo mapa de uso e cobertura das terras, que a paisagem está estruturada em oito classes: Área Urbana, Agricultura, Corpo Hídrico, Pastagem, Solo Exposto, Vegetação Ripária, Caatinga Arbustiva Aberta e Caatinga Arbustiva Densa; e que a região apresenta-se com uma porcentagem significativa de cobertura natural (65%), mas esta apresenta-se bastante fragmentada em manchas ecologicamente instáveis, com pequenas áreas e grandes perímetros (que lhes assegura muitas reentrâncias), vulneráveis ao efeito de borda e suscetíveis a desaparecerem em pouco tempo.

**Palavras-chave:** Fragmentação. Vegetação. Métricas. Uso e Cobertura. Paisagem.

### 3.1 Introdução

As paisagens são formadas pelo conjunto de mosaicos interativos de uso e cobertura da terra (FORMAN, 1995) e os limites entre esses conjuntos interativos são definidos por três fatores: o ambiente abiótico (formas de relevo, tipos de solo, dinâmica hidrogeomorfológica, parâmetros climáticos), as perturbações naturais (fogo e enchentes) e antrópicas (fragmentação e alteração de habitats, desmatamento, criação de reservatórios, implantação de estradas, entre outros). Estes fatores condicionam, em primeiro lugar, a presença de determinadas unidades (fragmentos ou classes de fragmentos) e, em segundo lugar, a disposição espacial das unidades no mosaico (METZGER, 2001).

Assim, cada mosaico se modifica como resultado de redistribuição de organismos e materiais, perturbações e atividades humanas (WIENS, 2008). As paisagens seriam, assim, como sistemas dinâmicos com múltiplas funções e regenerações (McALPINE *et al.*, 2010) servindo como modelos para estudar o sistema antro-po-natural, uma vez que o ser humano se insere no meio natural, explorando seus recursos e causando modificações na paisagem (LIMA *et al.*, 2004) com o objetivo de acentuar os tipos de habitats favoráveis (NASSAUER; OPDAM, 2008; GILLSON, 2009).

Na região ecogeográfica da Caatinga o conjunto de contrastes físicos e climáticos, juntamente com a atividade antrópica, condicionam o aparecimento de diferentes tipos de mosaicos paisagísticos (FREITAS, 2007). Com o avanço tecnológico, a grande diversidade de paisagens do domínio vem sofrendo modificações, a “paisagem natural” vem sendo substituída pela “paisagem urbana” e pela “paisagem rural” (atividades agropecuárias) (FERRAZ; VETTORAZZI, 2003; SANTOS *et al.*, 2008).

No Estado do Ceará, cerca de 60% da cobertura vegetal natural já foi degradada (COSTA *et al.*, 2012), pela extração de lenha, criação de rebanhos bovinos, caprinos e ovinos ou pela agricultura itinerante, formando um imenso mosaico de áreas em distintos estágios de regeneração (SAMPAIO, 2010). Como consequência, a flora e a fisionomia da vegetação estão sendo marcadamente alterados e reduzidos a pequenos fragmentos de paisagem (CASTELLETTI *et al.*, 2004; MACHADO; LOPES; SAZIMA, 2006).

A Ecologia da Paisagem busca a compreensão da dinâmica de uso e ocupação da terra para entender as regras da distribuição dos elementos da paisagem e dos ecossistemas e as consequentes alterações ecológicas no mosaico paisagístico ao longo do tempo (FORMAN; GODRON, 1986). Ela trabalha com três características da paisagem: estrutura, que são as relações entre os distintos ecossistemas ou elementos presentes em relação ao

tamanho, forma, número, tipo e configuração; funcionamento, traduzido nos fluxos de energia, matéria e espécies dentro da paisagem; e alterações, que são as modificações observadas na estrutura e fluxos do mosaico ecológico ao longo do tempo (TURNER, 1989).

De acordo com Turner (1989), antes de tentar-se entender as interações entre os padrões de paisagem e os processos ecológicos, há que se identificar e quantificar a estrutura da paisagem. Segundo Termorshuizen e Opdam (2009), para um bom desenvolvimento sustentável (equilíbrio entre os padrões da paisagem, processos ecológicos e necessidades humanas), é necessário o conhecimento das características físicas das paisagens. Assim, posteriormente, poderá ser feito um planejamento das atividades a serem desenvolvidas e saber quais serviços podem ser retirados de cada paisagem específica, uma vez que a Ecologia da Paisagem precisa, não apenas, se concentrar em preservar as paisagens atuais e projetar paisagens futuras, que mantenham os padrões e processos da paisagem, mas também, garantir que os serviços do ecossistema, dos quais as pessoas necessitam, sejam mantidos e não esgotados (PEARSON; GORMAN, 2010).

Para as caracterizações das paisagens têm sido empregados índices (TURNER; GARDNER, 1990) que permitem a comparação entre elas, a identificação das principais diferenças e a determinação das relações entre os processos funcionais e os padrões da paisagem, uma vez que eles possibilitam quantificar a composição e a configuração da mesma. De acordo com Couto (2004) as métricas de paisagem são algoritmos que quantificam características espaciais específicas de fragmentos, classes de fragmentos ou o mosaico inteiro da paisagem. Elas se dividem em duas categorias: as que quantificam a composição da paisagem sem referência aos atributos espaciais e as que quantificam a configuração espacial (McGARIGAL; MARKS, 1995).

Ainda, de acordo com os mesmos autores, a composição refere-se às características associadas com a variedade e abundância de tipos de fragmentos no interior da paisagem. As principais métricas são: proporção de abundância para cada classe; riqueza; uniformidade; diversidade e domínio. A configuração tem como objetivo a caracterização espacial, arranjo, posição e orientação dos fragmentos em relação a outros. As principais métricas de configuração são: tamanho do fragmento e densidade (nº de fragmentos, área, perímetro); complexidade da forma (a partir da relação perímetro-área); e isolamento/proximidade (que pode ser calculado pela distância euclidiana). Várias outras métricas foram derivadas desses índices e, atualmente, com o crescimento da viabilidade dos dados espaciais, o desenvolvimento, testes e uso das métricas de paisagem aumentaram bastante (TURNER; GARDNER; O'NEILL, 2001).

Para calcular a ampla variedade de métricas existentes, alguns programas já foram elaborados, como, por exemplo, o FRAGSTATS (McGARIGAL; MARKS, 1995) e módulos desenvolvidos e integrados aos Sistemas de Informações Geográficas (GIS), como o V-LATE (TIEDE, 2004) no ArcGIS.

De acordo com Neel, McGarigal e Cushman (2004), muitas tentativas têm sido feitas utilizando métricas de estrutura para quantificar os processos de fragmentação da paisagem, no entanto, a interpretação ecológica (qualificar) tem sido afetada pela falta de compreensão completa do comportamento teórico dessas métricas. Assim, esses autores observaram o comportamento de 50 métricas (de área e agregação) em paisagens neutras e perceberam que existem métricas que são redundantes e descrevem aspectos semelhantes da estrutura da paisagem e que as métricas de agregação são particularmente úteis para qualificar os efeitos da fragmentação.

Para os estudos da estrutura e função das paisagens a Ecologia de Paisagens obtém auxílio no Sensoriamento Remoto e nos Sistemas de Informações Geográficas (SIG), uma vez que as imagens obtidas remotamente são muito eficazes para fornecer uma vista sinóptica de paisagens, utilizando um grid sistemático de amostragem, um “shape” e o tamanho de cada unidade amostral (em pixels); e impõem uma visão artificial dos objetos (METZGER; MULLER, 1996). Estas são mais rapidamente processadas e melhor visualizadas nos diversos SIG’s existentes atualmente. Assim, ecologistas da paisagem tem a disposição uma maior variedade de ferramentas sofisticadas para tentar compreender os padrões e processos da paisagem e responder aos inúmeros problemas ambientais que têm surgido (WIENS, 2008).

O presente trabalho é dirigido para a quantificação da estrutura de uma determinada paisagem inserida dentro do domínio ecogeográfico da Caatinga, uma vez que a importância ecológico-econômica da Caatinga e o alto nível de alteração que a região está sofrendo justificam a realização de planejamentos para a conservação e o uso racional dos recursos naturais nela existentes, assim poderá se compatibilizar o uso das terras e a sustentabilidade ambiental, social e econômica (METZGER, 2001).

Usando o mapa de uso e cobertura das terras do capítulo 2 e métricas de Ecologia da Paisagem, foi possível caracterizar a estrutura da paisagem e inferir o quanto de sua vegetação apresenta-se fragmentada. Uma análise estatística adicional foi realizada para melhor agrupar as classes de uso e cobertura das terras e quantificar os fatores que explicam as métricas utilizadas.

## 3.2 Materiais e Métodos

### 3.2.1 Caracterização da Área de estudo

A região de estudo perfaz um total aproximado de 1.490 km<sup>2</sup> de área, está inserida no Sertão Central Cearense, microrregião do Sertão de Senador Pompeu, bacia hidrográfica Banabuiú e está localizada entre as coordenadas geográficas 5° 21' e 5° 53' de latitude sul e 39° 18' e 39° 51' de longitude oeste (FIGURA 2.1, cap. 2).

Apresenta clima tropical quente semiárido (IPECE, 2007a), com chuvas concentradas de janeiro a abril, média pluviométrica de 800 a 1500 mm.ano<sup>-1</sup> (IPECE, 2010) e temperatura média de 25° C (VIANA, 2010).

A pecuária extensiva e a agricultura tradicional de corte e queima são as principais atividades agrícolas praticadas na região e são, essencialmente, as responsáveis pelo grau de degradação da vegetação natural que compreende, hoje, manchas de Caatinga Arbustiva Densa e Aberta, Caatinga Arbórea (Floresta Caducifólia Espinhosa), Mata Seca (Floresta Subcaducifólia pluvial tropical) e Vegetação Ripária (IPECE, 2007b).

O relevo oferece à paisagem uma característica singular uma vez que apresenta-se bastante diversificado, variando de plano a montanhoso. A altitude que prevalece na área de estudo varia de 200 a 300 m, no entanto, pode-se encontrar na região elevação superior a 700 m (VALERIANO; ROSSETTI, 2011). Segundo Jacomine *et al.* (1973) e EMBRAPA (2006) os principais solos que ocorrem na região são Brunizém Avermelhado (CHERNOSSOLO), Bruno Não-Cálcico (LUVISSOLO), Podzólico Vermelho-Amarelo Equivalente Eutrófico (ARGISSOLO), Solo Litólico Eutrófico (NEOSSOLO LITÓLICO) e Planossolo (PLANOSSOLO).

### 3.2.2 Análise da Estrutura da Paisagem

O mapa de uso e cobertura das terras foi elaborado a partir da classificação supervisionada (pixel a pixel) das imagens de satélites da região de interesse obtidas pelo sistema de sensores RapidEye, datadas de setembro e dezembro de 2011. Foram interpretadas as bandas do visível e utilizado o algoritmo de classificação de Máxima Verossimilhança presente no software GvSIG 1.11.

Antes da classificação, foram coletados 20 pontos amostrais de cada uma das classes de uso e cobertura identificadas durante as visitas de campo que ocorreram em

fevereiro e abril de 2012. OS pontos amostrais foram localizados na imagem de satélite para o processamento da classificação automática.

O “raster” do mapa de uso e cobertura, resultante da classificação, foi transferido para o programa ArcGis 10.1 e homogeneizado. Algumas incorreções foram corrigidas, após a transformação do “raster” em “vetor”; polígonos vizinhos de mesma classe foram incorporados, formando um único polígono; e os menores que 1000 m<sup>2</sup> eliminados, para facilitar a interpretação das classes. Todos esses métodos auxiliaram a melhorar a qualidade do mapa que foi avaliada pelo índice Kappa (LANDIS; KOCH, 1977)

Sobre o shapefile do mapa de uso e cobertura das terras foram aplicadas as métricas presentes no V-LATE 2.0 beta. O V-LATE é uma extensão do ArcGIS que emprega 7 categorias diferentes de métricas (área, forma, área core, borda, proximidade, diversidade e subdivisões das análises). Requer um shape como entrada e resulta em dois arquivos-textos de saída (.txt), um relativo à paisagem e outro à classe. As métricas individuais de fragmentos são inseridas na tabela de conteúdos do shape no ArcGIS (TIEDE, 2004).

Fez-se uso das métricas (de fragmento e classe) de configuração da paisagem que quantificaram o padrão dos fragmentos dentro de cada classe (Tabela 3.1), que são:

- a) Métricas de fragmento: área (A); perímetro (P); índice de forma (I), relação perímetro-área (PARA) e distância euclidiana (NNDist);
- b) Métrica de classe: número total (NP) de fragmentos

A análise feita a partir dos valores encontrados nessas métricas de fragmentos (Tabela 3.1) contribui para um melhor entendimento do padrão espacial da paisagem, uma vez que são os fragmentos os principais elementos que definem a estrutura da paisagem (BATISTELLA, 2001).

Essas métricas foram utilizadas com o intuito de quantificar a composição e configuração da paisagem, identificar as classes predominantes e avaliar o processo de fragmentação e escolhidas por estarem estritamente relacionadas com o processo de fragmentação da região.

Tabela 3.1 – Métricas de fragmentos utilizadas na análise da estrutura da paisagem.

Métricas	Sigla	Fórmula	Variação
Área	A	$a_{ij}$ (m <sup>2</sup> )	$A > 0$ , sem limite.
Perímetro	P	$p_{ij}$ (m)	$P > 0$ , sem limite.
Forma	I	$25p_{ij} / \sqrt{a_{ij}}$	$I \geq 1$ , sem limite. $I = 1$ quando o fragmento é quadrado e aumenta sem limite a medida que a forma fica mais irregular.
Relação perímetro-área	PARA	$p_{ij}/a_{ij}$	$PARA > 0$ , sem limite.
Distância Euclidiana	NNDist	$H_{ij}$	$NNDist > 0$ , sem limite.
Área total da classe	CA	$\sum_{j=1}^n a_{ij}$	$CA > 0$ , sem limite.
Número total de fragmentos na classe	NP	$N_i$	$NP \geq 1$ , sem limite.
Perímetro total	TE	$\sum_{k=1}^n e_{ik}$	$TE \geq 0$ , sem limite.

Fonte: Mcgarigal; Cushman; Ene (2012). Legenda:  $a_{ij}$ = área do fragmento  $ij$  na paisagem;  $p_{ij}$ = perímetro do fragmento  $ij$  na paisagem;  $h_{ij}$ = distância (m) do fragmento  $ij$  ao seu vizinho mais próximo de mesma classe, baseada na distância borda a borda;  $n_i$ = número de fragmentos da classe  $i$  da paisagem;  $e_{ik}$ = comprimento total da borda de uma classe  $i$  na paisagem.

As outras métricas de classe são uma representação mais generalizada das métricas de fragmentos, utilizadas mais especificamente, neste estudo, para análise estatística.

- c) Métricas de classe: área total (CA), média da área total (MPS), desvio padrão da média da área total (PSSD), perímetro total (TE), média do perímetro total (MPE), média do índice de forma (MSI), média da relação perímetro-área (MPAR).

### 3.2.3 Análise dos Componentes Principais

Como, de acordo com Couto (2004), determinadas métricas de paisagem são formas alternativas de representar a mesma informação básica, fez-se uma análise multivariada sobre as métricas de classe NP, CA, MPS, PSSD, TE, MPE, MSI e MPAR, que

representam a totalidade das métricas de fragmentos usadas neste estudo, para avaliar quais delas melhor se correlacionam com as classes encontradas (melhor explicam a variabilidade), quantos fatores são necessários para explicar as métricas utilizadas e quais classes melhor se correlacionam entre si.

As métricas de fragmentos não foram utilizadas porque formam um número de variáveis em quantidade significativamente alta que torna a análise de correlação inviável e, ao nível de classe, os padrões específicos dentro da paisagem se tornam mais claros (BATISTELLA, 2001).

A matriz de correlações foi feita segundo a análise de correlação linear de Pearson que mediu o grau de correlação entre as variáveis, duas a duas, quanto mais próximo de 1 ou -1, mais correlacionadas encontravam-se as variáveis selecionadas.

A análise dos componentes principais (ACP) é um método da estatística multivariada, no qual cada componente principal (fator) é uma combinação linear das variáveis originais. É útil na análise simultânea de vários fatores e é uma técnica que explica a variabilidade dos dados durante a redução de um grande número de variáveis em poucos componentes não-correlacionados. O método pode fornecer bases para a formação de grupos de variáveis ou de indivíduos de uma amostra ou população, como já relacionados em alguns trabalhos.

Na análise ACP os dados foram padronizados para média 0 e variância 1 e as análises foram realizadas na matriz de dados. Na ACP são calculados os fatores que se referem a informações de todas as métricas pesquisadas, cada uso e cobertura do solo, que era definido pelos valores médios das métricas de paisagem, foi definido pelas novas variáveis (fatores) o que possibilita sua localização como um ponto em um gráfico bidimensional, e quanto mais próximos forem os pontos maiores tenderão a ser suas semelhanças, podendo ser utilizada como ferramenta no agrupamento de usos e cobertura e assim auxiliar na explicação da dinâmica de uso e cobertura das terras.

### **3.3 Resultados e Discussão**

#### ***3.3.1 Estrutura da paisagem***

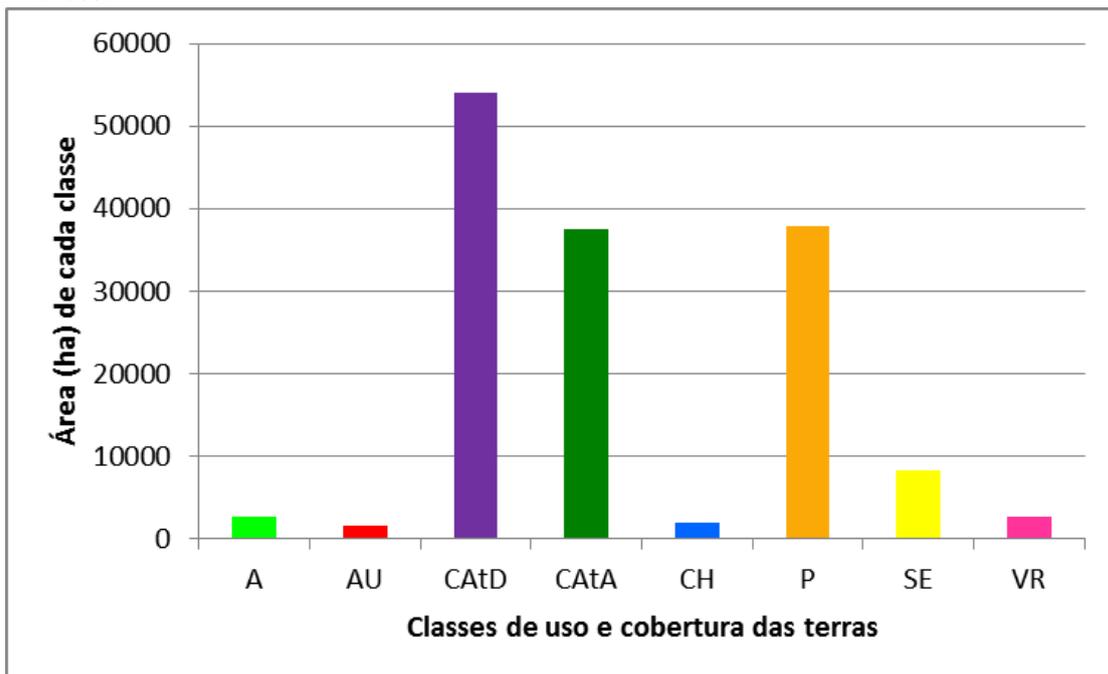
O mapa de uso e cobertura das terras foi analisado quanto a sua composição e configuração e, assim avaliou-se a degradação da paisagem na região. Esses mapas são de

fundamental importância para o estudo da degradação ambiental uma vez que refletem a relação entre a dinâmica antrópica e a natural (SANTOS; PIROLI, 2012).

As classes encontradas no mapa de uso e cobertura são: Área Urbana (AU), Agricultura (A), Corpo Hídrico (CH), Pastagem (P), Solo Exposto/Agricultura (considerado neste capítulo apenas como Solo Exposto (SE), uma vez que qualquer uma das duas denominações é irrelevante para a compreensão dos resultados), Vegetação Ripária (VR), Caatinga Arbustiva Aberta (CAAtA) e Caatinga Arbustiva Densa (CAAtD) (FIGURA 2.2, cap. 2). O mapa foi classificado como de ótima qualidade uma vez que mostrou valor do Kappa igual a 0,9.

A área total de cada classe está mostrada no GRÁFICO 3.1 e, pelo exposto, pode-se perceber que a maior classe encontrada foi Caatinga Arbustiva Densa, ocupando aproximadamente 37% da área.

Gráfico 3.1- Área total (em hectares) de cada classe de uso e cobertura das terras da região de interesse.



Fonte: Clécia Cristina Barbosa Guimarães (2012). Cada sigla representa uma classe: A- Agricultura; AU- Área Urbana; CAAtD- Caatinga Arbustiva Densa; CAAtA- Caatinga Arbustiva Aberta; CH- Corpo Hídrico; P- Pastagem; SE/A- Solo Exposto; VR- Vegetação Ripária.

O percentual de modificação da paisagem, que caracteriza o antropismo na região, pode ser calculado pelo somatório das classes Agricultura, Pastagem, Solo Exposto e Área Urbana que perfazem um total de 35% da área, enquanto que as classes Caatinga Arbustiva Densa, Caatinga Arbustiva Aberta, Corpo Hídrico e Vegetação Ripária, que representam a paisagem natural, somam 65% da área. Como explicado no capítulo anterior, a presença de

Caatinga Arbustiva Aberta na região é causa ou consequência da atividade antrópica somada aos fatores ambientais, que dificultam e retardam a regeneração da vegetação natural, e essa conversão antrópica de vegetações nativas densas em menos densas ou abertas, e também a construção de barragens originam, na área, corpos hídricos lânticos.

Foi encontrado um total de 70.897 fragmentos, com predomínio destes nas classes Caatinga Arbustiva Aberta, Pastagem e Caatinga Arbustiva Densa (TABELA 3.2).

Tabela 3.2 - Número de fragmentos (NP) de cada classe.

<b>Classes</b>	<b>NP</b>	<b>% NP</b>
AU	488	1
CH	1339	2
A	2425	3
VR	3455	5
SE	10061	14
CAAtD	15289	22
P	15764	22
CAAtA	22076	31

Fonte: Clécia Cristina Barbosa Guimarães (2012). Legenda: A- Agricultura; AU- Área Urbana; CAAtD- Caatinga Arbustiva Densa; CAAtA- Caatinga Arbustiva Aberta; CH- Corpo Hídrico; P- Pastagem; SE- Solo Exposto; VR- Vegetação Ripária.

As maiores proporções dos fragmentos grandes também foram encontradas nas mesmas classes (TABELA 3.3), incluindo Área Urbana que apresenta fragmentos maiores que 100 hectares devido às localidades centrais de cada município.

Tabela 3.3 – Porcentagem de fragmentos pequenos, médios e grandes em cada classe de uso e cobertura.

<b>Classes</b>	<b>Fragmentos Pequenos (0 a 10 ha)</b>	<b>Fragmentos Médios (&gt;10 a 100 ha)</b>	<b>Fragmentos Grandes (&gt; 100 ha)</b>
AU	96,1	3,3	0,6
CH	98,4	1,5	0,1
A	98,7	1,3	0,0
VR	99,2	0,8	0,0
SE	99,0	0,9	0,1
CAAtD	97,7	2,0	0,3
P	96,3	3,3	0,4
CAAtA	98,0	1,7	0,3

Fonte: Clécia Cristina Barbosa Guimarães (2012). Legenda: A- Agricultura; AU- Área Urbana; CAAtD- Caatinga Arbustiva Densa; CAAtA- Caatinga Arbustiva Aberta; CH- Corpo Hídrico; P- Pastagem; SE- Solo Exposto; VR- Vegetação Ripária.

Esses dados deveriam indicar uma maior preservação da paisagem, mas vê-se, pela mesma TABELA 3.3, que em todas as classes predominam pequenos fragmentos, o que, para os fragmentos naturais de vegetação, significa subdivisão dos seus fragmentos maiores,

ou seja, percebe-se que está havendo, de acordo com Lovejoy (1997), uma expressiva fragmentação da paisagem uma vez que esta apresenta-se confinada a pequenos fragmentos rodeados por muitos fragmentos de atividade humana. Cabe frisar que, para a delimitação de fragmentos com tamanhos tão reduzidos, foi importante o uso de imagens Rapideye com 5 m de resolução espacial.

A causa deste processo é condizente com o que foi relatado por Tabarelli, Silva e Gascon (2004). De acordo com estes autores, a fragmentação da paisagem natural de regiões neotropicais está sempre associada com o estabelecimento humano e às suas necessidades de subsistências. Apesar dos autores citarem como exemplo apenas a Amazônia e a Mata Atlântica, percebe-se que a região de Caatinga analisada insere-se claramente no mesmo contexto, uma vez que surgem fragmentos menores de vegetação natural devido à inserção de outros fragmentos não naturais que são resultantes das necessidades de estabelecimento e subsistência humana.

Andrade-Lima (1981) divide a caatinga em dois estratos, arbóreo e arbustivo, nos quais predomina, em quase todas as espécies, a caducidade das folhas sobre as outras formas de resistência à deficiência hídrica; medianamente rica em cactáceas e bromeliáceas somada à outras espécies espinhentas e vários endemismos. As variações encontradas nos estratos da caatinga são consideradas pelo autor não apenas o resultado das variações climáticas e edáficas e, sim, resultante das atividades antrópicas que ocasionam a redução de grandes manchas de vegetação natural.

As consequências desse predomínio de pequenas manchas para a paisagem é que ela perde muitos valores, uma vez que as grandes manchas de vegetação natural são as únicas estruturas em uma paisagem que protegem os aquíferos e interconectam as redes hidrográficas, sustentam e protegem populações viáveis de muitas espécies e ocasionam regimes de distúrbios naturais que são essenciais para a manutenção da heterogeneidade. Lembrando também que a taxa de extinção de espécies tende a ser elevada em manchas pequenas e de baixa qualidade (FORMAN, 1995).

No entanto, as pequenas manchas também são importantes para a paisagem, pois, de acordo com o mesmo autor, elas podem servir como trampolins ou corredores naturais que ajudam na dispersão de espécies, podem proteger pequenas espécies espalhadas ou até mesmo servirem de habitat ocasional para espécies restritas a pequenos fragmentos, e também oferecem heterogeneidade à paisagem. Porém estas não substituem, em valor e função, as manchas grandes, e sim as complementam. Para uma melhor estruturação da paisagem em

estudo, deveria existir uma maior quantidade de manchas grandes de vegetação natural complementada pelas menores.

As próximas métricas foram analisadas apenas para as classes: Vegetação Ripária, Caatinga Arbustiva Densa e Caatinga Arbustiva Aberta, haja visto que a fragmentação ocorre na vegetação natural intacta e é a degradação da mesma na paisagem que está sendo analisada neste estudo.

### 3.3.1.1 Perímetro e relação perímetro-área

O perímetro e a relação perímetro-área são métricas que quantificam e qualificam os fragmentos quanto ao efeito de borda que é, segundo Volotão (1998), um importante aspecto estudado por pesquisadores ecológicos porque ele pode garantir ou não a estabilidade ecológica do fragmento. De acordo com Metzger e Dècamps (1997), o efeito de borda é um dos principais processos associados à fragmentação uma vez que promove mudanças profundas na estrutura da vegetação e na dinâmica biológica.

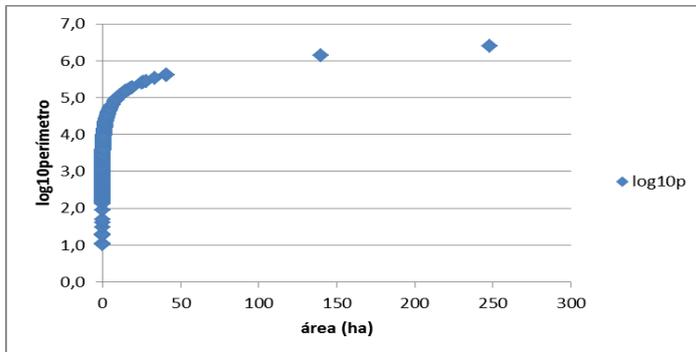
A métrica perímetro indica a quantidade de reentrâncias presente no fragmento. Para fragmentos de mesma área, dentro da mesma classe, que apresentam perímetros diferentes, uns com valores mais altos que outros, significam que àqueles com maiores perímetros possuem maior número de reentrâncias ou bordas que, conseqüentemente, para os fragmentos naturais, significa maior fragmentação.

Como mostrado no GRÁFICO 3.2 (a, b e c) percebe-se uma maior variabilidade dos dados de perímetro para fragmentos pequenos e médios, significando que nesses grupos existem aqueles que estão aumentando em borda.

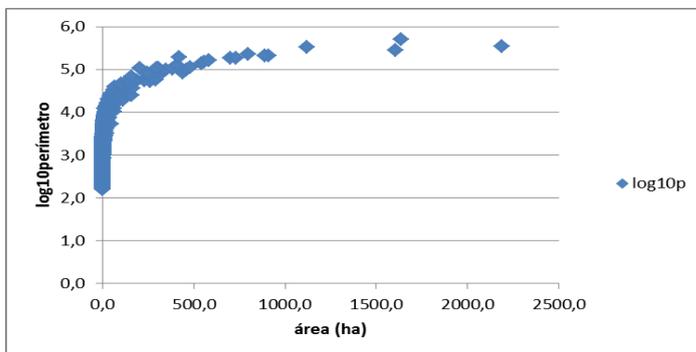
Pode-se inferir, assim, que os menores fragmentos estão sofrendo uma maior degradação e isso pode ser resultado dos danos ecológicos que o efeito de borda causa nas espécies vegetais. Laurance *et al.* (2000), estudando as conseqüências da fragmentação da paisagem para árvores grandes localizadas nas bordas dos fragmentos na Amazônia, descobriram que as espécies de plantas localizadas nas bordas dos fragmentos, além dos danos antrópicos, sofreram muitos danos ecológicos, como o desenraizamento e quebra das espécies maiores e aumento da competição das espécies menores com espécies invasoras e oportunistas, assim a mortalidade das mesmas tornou-se mais elevada, diminuindo mais ainda o fragmento e aumentando sua borda. Estudar quais danos ecológicos são preponderantes para o aumento das bordas nos fragmentos de vegetação natural na Caatinga é uma perspectiva futura.

Gráfico 3.2 – Variabilidade de perímetro em relação à área dos fragmentos de Caatinga Arbustiva Densa, Caatinga Arbustiva Aberta e Vegetação Ripária.

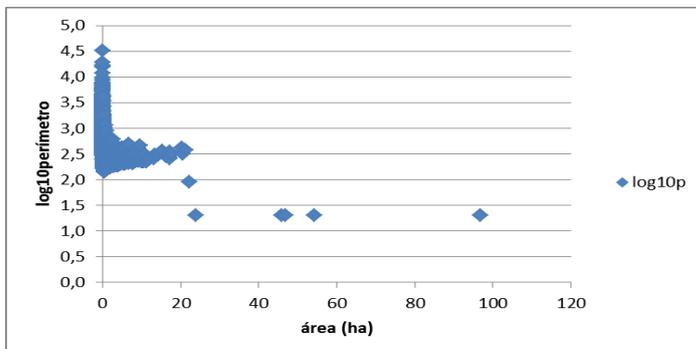
a) Caatinga Arbustiva Densa



b) Caatinga Arbustiva Aberta



c) Vegetação Ripária



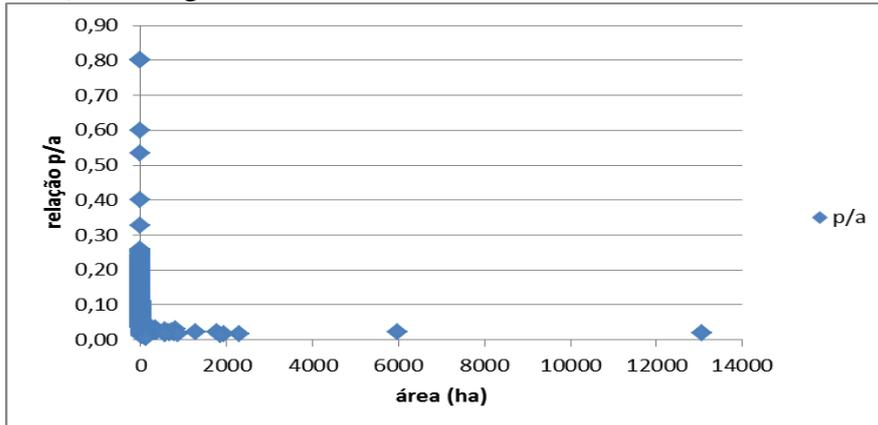
Fonte: Clécia Cristina Barbosa Guimarães, 2012.

Os fragmentos de Caatinga Arbustiva Densa e Aberta acima de 30 hectares, e de Vegetação Ripária acima de 12 hectares apresentaram uma pequena ou inexistente variação de perímetro entre fragmentos de mesma área. Isso significa que, nesses grupos, após a borda estar estabelecida não há um crescimento da mesma, permanecendo, assim, como fragmentos mais estáveis quanto ao processo de fragmentação. A maior estabilidade desses fragmentos pode ser devida à grande área nuclear que eles apresentam em comparação à sua menor borda. Assim, as espécies localizadas no interior deles sofrem bem menos danos ecológicos (LAURANCE *et al.*, 2000) e estabilizam o processo de fragmentação nos mesmos.

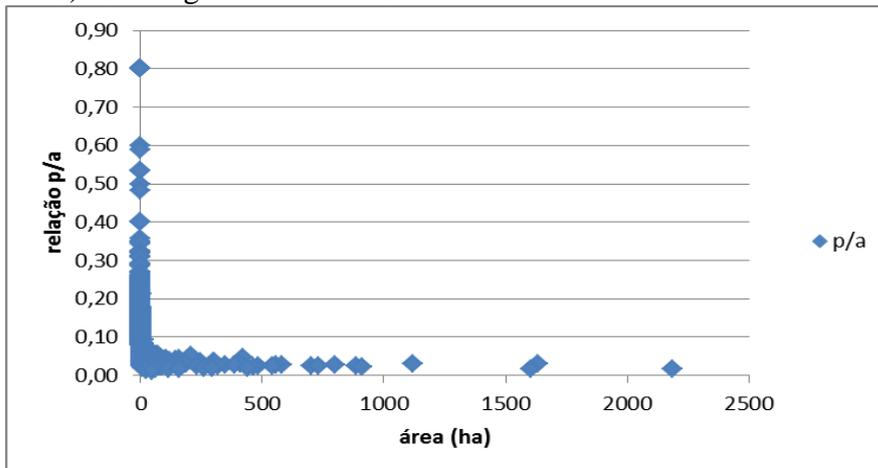
A relação perímetro-área qualifica o efeito de borda: quanto maior o valor dessa métrica, maior o efeito de borda no fragmento. Pelo GRÁFICO 3.3 (a, b e c), percebe-se que à medida que os fragmentos aumentam em tamanho, diminui o efeito de borda nos mesmos.

Gráfico 3.3 – Efeito de borda em relação ao tamanho dos fragmentos de Caatinga Arbustiva Densa, Caatinga Arbustiva Aberta e Vegetação Ripária.

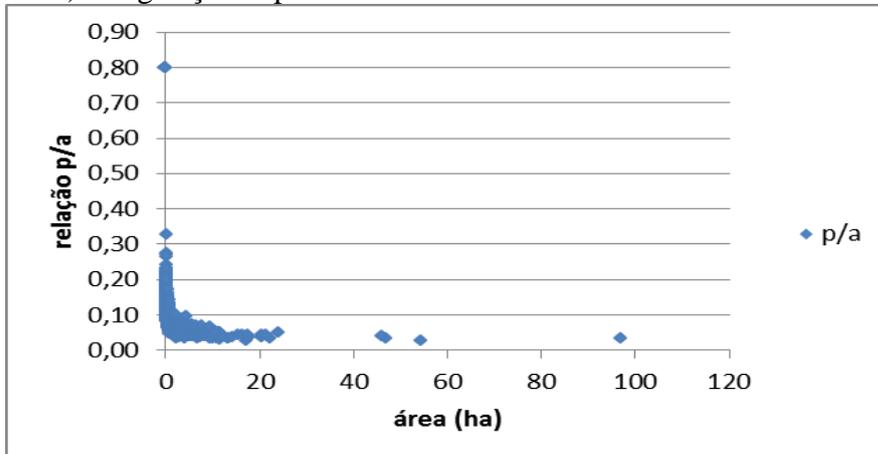
a) Caatinga Arbustiva Densa



b) Caatinga Arbustiva Aberta



c) Vegetação Ripária



Fonte: Gustavo Souza Valladares (2012).

Assim, pode-se inferir, no presente estudo, que as reentrâncias dos fragmentos grandes causam-lhes um menor efeito de borda, apresentando, em todas as três classes, um valor de métrica mais baixo, sendo o menor (0,01) encontrado num fragmento de Caatinga Arbustiva Densa de 119 ha de área e 8.438 m de perímetro. O maior valor da métrica (0,8) foi encontrado em todos os pequenos fragmentos das três classes que possuem 0,0025 ha de área e 20 m de perímetro.

Laurance *et al.* (2002) relata que fragmentos menores que 100 hectares na Amazônia são pequenos e muito vulneráveis aos efeitos de borda, estando sujeitos a alterações drásticas e progressivas. Torna-se imperativo na Caatinga trabalhos que avaliem o tamanho mínimo necessário para que um fragmento possa se manter viável para manter flora e fauna e, assim, sejam priorizados nas estratégias de conservação.

### 3.3.1.2 Índice de forma

O índice de forma (shape), segundo Volotão (1998), terá valor igual a um quando o fragmento apresentar a forma mais simples (quadrada) na paisagem. Esta forma é eficaz na conservação de recursos internos, uma vez que o perímetro exposto aos efeitos externos é minimizado (HARRIR; KANGAS, 1979 apud FORMAN, 1995). Fragmentos que apresentam grandes áreas e menos recortes são menos suscetíveis a perturbações externas, uma vez que o efeito de borda é minimizado pela área nuclear (MILAN; MORO, 2012). De acordo com Forman (1995), para realizar várias funções chave, uma forma de fragmento ecologicamente ótima geralmente tem uma grande área interna com alguns limites curvilíneos e lóbulos estreitos. No entanto, é preciso ficar claro que cada espécie irá responder de maneira diferente a uma determinada forma de fragmento. A instabilidade dos fragmentos se manifesta completamente quando estes apresentam pequena área e uma forma bastante irregular.

O valor do índice de forma variou de 1 (um) a 61, com 21,25% dos fragmentos das três classes apresentando o valor mais baixo. Aproximadamente 65% dos fragmentos das três classes apresentaram *shape* dois (TABELA 3.4). A quase totalidade dos fragmentos que apresentam índice de forma um e dois (99,92%) possuem área de até 10 hectares, indicando que esses fragmentos são bastante instáveis, uma vez que possuem *shape* muito baixo e são pequenos em área. Apenas um fragmento de Caatinga Arbustiva Densa, com aproximadamente 13.056 hectares de área, apresentou o índice mais alto, sendo este o fragmento mais estável na paisagem.

Tabela 3.4 – Dados do índice de forma das classes Caatinga Arbustiva Densa, Caatinga Arbustiva Aberta e Vegetação Ripária

Shape	CAtd	CAta	VR	% da soma das três classes
	Nº de fragmentos	Nº de fragmentos	Nº de fragmentos	
1	3818	4116	742	21,25
2	9580	14580	2259	64,72
3	1310	2288	353	9,68
4	326	593	74	2,43
5	118	236	19	0,91
6	50	108	4	0,40
7	22	48	2	0,18
8	13	27	1	0,10
10	6	16	0	0,05
11	5	11	0	0,04
12	2	9	0	0,03
13	6	8	0	0,03
14	5	1	0	0,01
15	3	5	0	0,02
16	1	0	0	0,00
17	1	2	0	0,01
18	3	3	0	0,01
19	1	4	0	0,01
20	1	2	0	0,01
21	2	2	0	0,01
23	0	1	0	0,00
24	1	0	0	0,00
25	1	0	0	0,00
27	0	1	0	0,00
28	1	1	0	0,00
35	0	1	0	0,00
51	1	0	0	0,00
61	1	0	0	0,00

Fonte: Clécia Cristina Barbosa Guimarães (2012). A primeira coluna representa o valor de forma encontrado nos fragmentos das três classes. As três colunas do meio apresentam a quantidade de fragmentos que possuem o valor de forma especificado na primeira coluna e a última coluna é a percentagem da soma do número de fragmentos em relação ao total das três classes.

A quantidade de borda e a forma dos fragmentos ditam as interações entre os diferentes tipos de fragmentos e o fluxo de espécies ao longo da paisagem (BATISTELLA, 2001). Nesse sentido, a presente pesquisa fornece uma análise preliminar de bordas e formas de fragmentos que podem servir de base para estudos que envolvam as diferentes espécies que vivem nesses fragmentos e seus fluxos gênicos.

### 3.3.1.3 Distância entre vizinhos mais próximos

Para Volotão (1998), a métrica do vizinho mais próximo é definida como a distância de um fragmento para o fragmento que está a sua volta, da mesma classe. O autor indica que esta métrica quantifica a configuração da paisagem e está baseada na distância borda-a-borda.

A proximidade entre os fragmentos de mata natural é importante para os processos ecológicos e tem implícitos em seus resultados o grau de isolamento dos fragmentos, uma vez que o movimento ou fluxo de espécies entre fragmentos decresce quanto mais distante encontram-se esses fragmentos (FORMAN, 1995). Quanto mais isolados os fragmentos, maior o valor do índice.

Todas as três classes apresentaram fragmentos muito próximos, com distância euclidiana de 60 e 67 m. Caatinga Arbustiva Densa, Caatinga Arbustiva Arbórea e Vegetação Ripária apresentaram, isoladamente, 65%, 68% e 44%, respectivamente, dos seus fragmentos com estas distâncias. Apenas a Vegetação Ripária apresentou fragmentos (42 fragmentos) com distância maior que 1000 m. Esse maior isolamento nessa classe pode ser explicado muito mais pelo padrão de localização dos rios do que pelo antropismo, uma vez que o estabelecimento dessa classe é dependente da localização dos mesmos. As classes Caatinga Arbustiva Densa e Caatinga Arbustiva Aberta apresentaram 13 e 15 fragmentos (todos eles com área menor que dois hectares e bordas extensas), respectivamente, mais isolados, com 500 a 1000 m de distância entre eles. Estes fragmentos são os mais instáveis na paisagem, pois são muito pequenos, estão mais susceptíveis aos efeitos de borda e apresentam barreira física (distância) ao fluxo gênico.

Sabe-se que cada espécie na natureza responde a uma determinada distância entre fragmentos para que suas populações não se tornem geneticamente isoladas. Assim, faz-se necessário estudos que avaliem as distâncias que cada espécie da região responde para a manutenção dos seus fluxos gênicos.

O processo de fragmentação da paisagem natural já vem ocorrendo na região desde tempos remotos, uma vez que já existem áreas antropizadas no passado que foram abandonadas e, hoje, encontram-se em recuperação, caracterizada pela presença de Caatinga Arbustiva Aberta com arbustos bem alinhados e do mesmo tamanho. Pelo somatório dos resultados das métricas analisadas, vê-se que as atividades agrícolas na região, principalmente pastagem, vem acelerando ainda mais esse processo de fragmentação e que os pequenos fragmentos logo poderão ser extintos, uma vez que estão se tornando cada vez mais

degradados. Esses resultados estão condizentes com os encontrados por Castelletti *et al.* (2004). Estes autores trabalharam com a região total da Caatinga e comprovaram que toda ela apresenta-se fragmentada.

Para a região, há a necessidade de priorização de áreas naturais que sejam conservadas para manutenção de espécies vegetais e animais. A escolha dessas áreas tem que considerar o quanto elas estão conectadas, considerando principalmente a distância entre elas, lembrando pela 1ª Lei da Geografia que objetos próximos são mais relacionados que objetos distantes; quais barreiras elas apresentam para o fluxo de matéria e energia; e que características de habitat (considerando qualidade e quantidade) elas possuem para conservar determinadas espécies (FORMAN, 1995).

### ***3.3.2 Análise dos Componentes Principais Aplicadas as Métricas de Paisagem***

Com objetivo de agrupar e melhor caracterizar os usos e coberturas das terras, foi utilizado análise dos componentes principais das métricas da paisagem. Este é um dos métodos estatísticos mais usados quando se pretende analisar dados multivariados. O objetivo mais imediato desta análise é verificar se existe um pequeno número das primeiras componentes principais que seja responsável por explicar uma proporção elevada da variação total associada ao conjunto original de dados (RODRIGUES; BRANCO, 2006).

Assim, os três primeiros componentes principais- fatores F1, F2 e F3 foram suficientes para explicar a variabilidade das métricas obtidas neste trabalho uma vez que, juntos, explicam 95% da variância dos dados (TABELA 3.5).

Tabela 3.5 - Autovalores e variância dos três primeiros fatores calculados pela análise dos componentes principais.

	<b>F1</b>	<b>F2</b>	<b>F3</b>
Autovalores	4,675	1,620	1,306
% variância	58,444	20,252	16,321
Cumulativo %	58,444	78,695	95,016

Fonte: Clécia Cristina Barbosa Guimarães (2012).

A TABELA 3.6 apresenta a matriz de correlação das métricas analisadas. Algumas métricas mostram alta correlação com outras que também podem ser visualizadas na TABELA 3.7. Apenas MPAR não apresenta alta correlação com nenhuma outra métrica, mas percebe-se uma baixa correlação com MSI.

Observa-se que o F1 (TABELA 3.7) explica a variância de quase todas as métricas (NP, CA, MPS, PSSD, TE, MPE), mostrando valores elevados e positivos. Indica, portanto, alta correlação entre essas métricas, que levam em consideração o tamanho do fragmento, resultado que pode ser corroborado pela matriz de correlação apresentada na TABELA 3.6.

A métrica MSI mostrou ambiguidade nos três fatores. Na matriz de correlação percebe-se que esta métrica apresenta uma alta correlação apenas com MPE que mostra o segundo maior valor no F2, indicando que a correlação entre essas duas métricas é mais fraca que a correlação que MPE tem com as demais métricas.

Tabela 3.6 - Matriz de correlação entre as métricas.

	NP	CA	MPS	PSSD	TE	MPE	MSI	MPAR
NP	1	<b>0,894</b>	0,296	0,479	<b>0,971</b>	0,268	0,244	0,540
CA	<b>0,894</b>	1	0,615	<b>0,794</b>	<b>0,968</b>	0,495	0,229	0,349
MPS	0,296	0,615	1	<b>0,801</b>	0,478	<b>0,938</b>	0,547	0,088
PSSD	0,479	<b>0,794</b>	<b>0,801</b>	1	0,625	0,589	0,141	0,180
TE	<b>0,971</b>	<b>0,968</b>	0,478	0,625	1	0,418	0,276	0,432
MPE	0,268	0,495	<b>0,938</b>	0,589	0,418	1	<b>0,793</b>	0,234
MSI	0,244	0,229	0,547	0,141	0,276	<b>0,793</b>	1	0,593
MPAR	0,540	0,349	0,088	0,180	0,432	0,234	0,593	1

Fonte: Clécia Cristina Barbosa Guimarães (2012). Em negrito, significante correlação positiva (exceto na diagonal) para um nível de significância alfa= 0,05 (teste bicaudal). Legenda: NP - Número de fragmento de cada classe; CA - Área total de cada classe; MPS - Média da área total de cada classe; PSSD - Desvio Padrão da média da área total de cada classe; TE - Perímetro total de cada classe; MPE - Média do perímetro total de cada classe; MSI - Média do índice de forma de cada classe; MPAR - Média da relação perímetro-área de cada classe.

Tabela 3.7 - Escores das métricas calculados pela análise dos componentes principais para os fatores F1, F2 e F3.

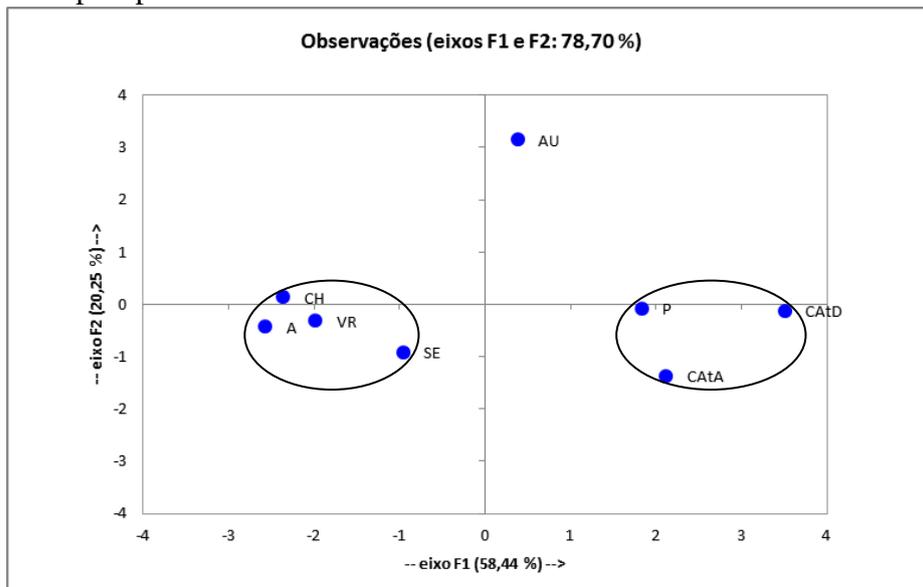
	F1	F2	F3
NP	<b>0,791</b>	-0,561	0,165
CA	<b>0,916</b>	-0,349	-0,184
MPS	<b>0,797</b>	0,498	-0,336
PSSD	<b>0,794</b>	0,010	-0,469
TE	<b>0,879</b>	-0,440	-0,003
MPE	<b>0,767</b>	0,629	-0,039
MSI	<b>0,572</b>	<b>0,574</b>	<b>0,564</b>
MPAR	0,506	-0,130	<b>0,769</b>

Fonte: Clécia Cristina Barbosa Guimarães (2012). Em vermelho encontram-se os maiores valores encontrados. Legenda: NP - Número de fragmento de cada classe; CA - Área total de cada classe; MPS - Média da área total de cada classe; PSSD - Desvio Padrão da média da área total de cada classe; TE - Perímetro total de cada classe; MPE - Média do perímetro total de cada classe; MSI - Média do índice de forma de cada classe; MPAR - Média da relação perímetro-área de cada classe.

O F3 explicou somente a métrica MPAR, indicando que esta métrica não apresenta correlação com as demais.

O agrupamento das classes de uso e cobertura em relação às métricas analisadas resultantes dos fatores um e dois, que explica 78,7% da variância dos dados, está apresentado na FIGURA 3.1. Um grupo é formado por Agricultura (A), Corpo Hídrico (CH), Vegetação Ripária (VR) e Solo Exposto (SE), outro grupo, mais discreto, é formado por Pastagem (P), Caatinga Arbustiva Aberta (CAAtA) e Caatinga Arbustiva Densa (CAAtD), esta última ficando um pouco mais distante no grupo, e Área Urbana (AU) apresenta-se isolada. Pode-se inferir, a partir do exposto, que ou a associação das métricas foram menos eficientes em separar as classes agrupadas, ou existe uma associação intrínseca entre essas classes.

Figura 3.1 - Agrupamento das classes associadas às métricas da Análise dos Componentes Principais para os fatores um e dois.

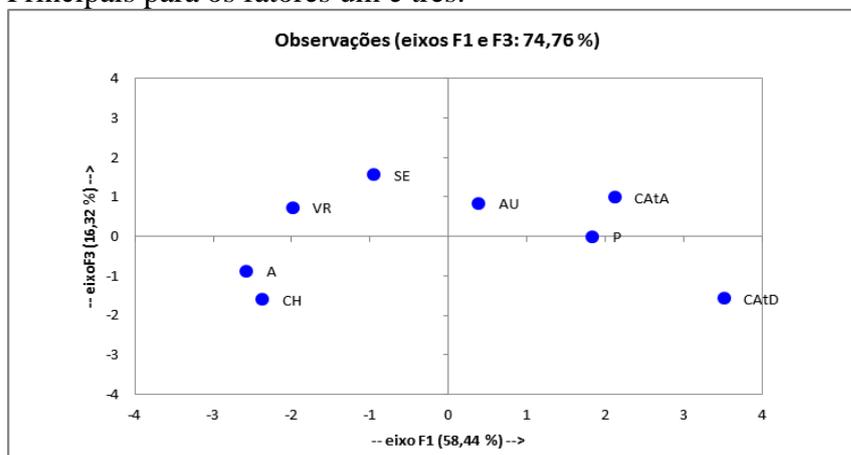


Fonte: Clécia Cristina Barbosa Guimarães (2012). Legenda: A – Agricultura; CH – Corpo Hídrico; VR – Vegetação Ripária; SE – Solo Exposto; AU- Área Urbana; P – Pastagem; CAAtA – Caatinga Arbustiva Aberta; CAAtD – Caatinga Arbustiva Densa.

Quando se observa as três primeiras classes do primeiro grupo (Agricultura, Corpo Hídrico e Vegetação Ripária) percebe-se que não há associação intrínseca entre a classe Agricultura e as outras duas, uma vez que são diferentes e independentes quanto ao uso e cobertura. Agricultura é uma classe de uso, enquanto Corpo Hídrico e Vegetação Ripária são classes naturais de cobertura intimamente associadas, uma vez que a Vegetação Ripária da região é formada por plantas hidrófilas que crescem dentro, ou próximas, aos corpos hídricos naturais. Todavia solo exposto não está tão distante deste grupo e, como explicado no capítulo 2, está associado a corpos hídricos e agricultura.

Assim, além da associação de Solo Exposto com Corpo Hídrico e Agricultura, o melhor agrupamento das três classes (A, CH e VR) é explicado pelas semelhanças quanto ao tamanho, forma e quantidade dos fragmentos. São classes que apresentam menor quantidade e tamanho dos fragmentos que associada à forma, que é semelhante em todas as classes, separam-nas em um grupo distinto. Área Urbana não está incluída neste grupo, mesmo apresentando pequenos tamanhos e quantidades de fragmentos, porque esta classe possui uma forma bastante diferenciada das classes agrupadas aqui. Sendo a Área Urbana a classe com mais reentrâncias e sinuosidades, ela apresenta nas métricas MPE e MSI valores mais altos. Como essas métricas são melhores explicadas, principalmente MSI, pelo F2 a classe Área Urbana apresenta o maior valor positivo para esse fator que a separou das demais (GRÁFICO 3.3 a, b, c, d, e, f). A média da relação perímetro-área MPAR, melhor explicada por F3 (FIGURA 3.2), distanciou a classe Solo Exposto das demais do seu grupo. A métrica torna-se com valor mais elevado quando o perímetro é maior do que a área do fragmento, resultado encontrado na classe citada, uma vez que nesta classe foram englobados fragmentos alongados com pequenas áreas e grandes perímetros, como por exemplo, as estradas não pavimentadas e trilhas.

Figura 3.2 - Agrupamento das classes associadas às métricas da Análise dos Componentes Principais para os fatores um e três.

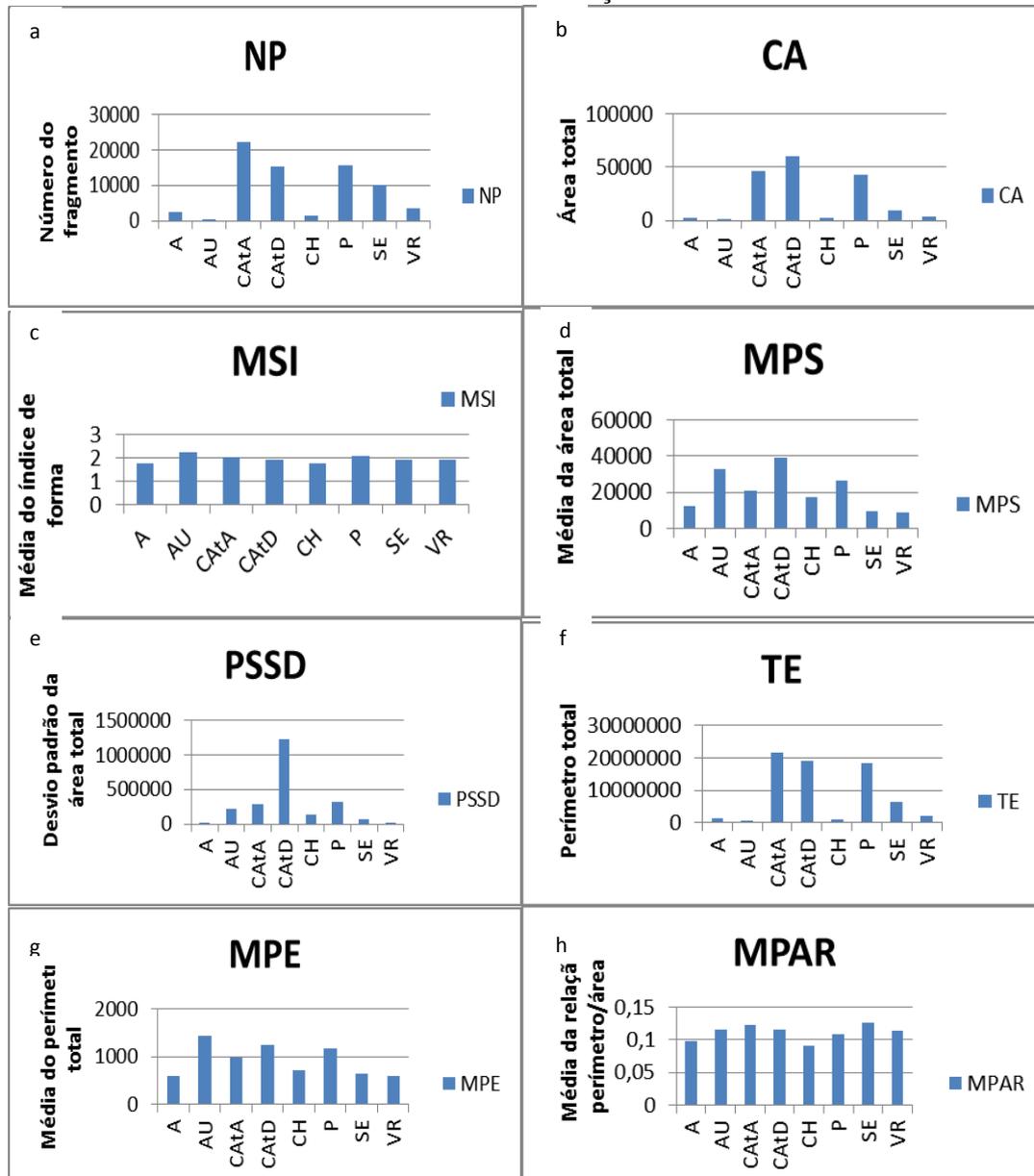


Fonte: Clécia Cristina Barbosa Guimarães (2012). Legenda: A – Agricultura; CH – Corpo Hídrico; VR – Vegetação Ripária; SE – Solo Exposto; AU- Área Urbana; P – Pastagem; CATa – Caatinga Arbustiva Aberta; CATd – Caatinga Arbustiva Densa.

Observando as FIGURAS 3.1 e 3.2, percebe-se que as classes Pastagem, Caatinga Arbustiva Aberta e Caatinga Arbustiva Densa apresentam os mais altos valores de F1, representados na TABELA 3.7 pelas métricas NP, CA, MPS, PSSD, TE e MPE, as quais estão relacionadas à quantidade e tamanho dos fragmentos. Essas classes são as que se apresentam em maior número e com maiores tamanhos de área e borda na paisagem

(GRÁFICO 3.4 a, b, d, e, f, g). Essas classes, quanto às métricas, deveriam apresentar um agrupamento forte. No entanto, a separação que ocorre entre elas pode ser explicada, não pelas métricas, que as tornam semelhantes, e sim pelas características de uso e cobertura. Pastagem apresenta-se mais agrupada à Caatinga Arbustiva Aberta por haver, entre elas, uma maior associação quanto ao manejo agrícola. Pois, após o abandono de uma área de pasto e o estabelecimento da vegetação inicial, são os pequenos arbustos que dominam a região por um tempo, processo conhecido como sucessão. Além disso, áreas de Caatinga Arbustiva Aberta também podem servir para pastagem sendo a cobertura diferente de campos de pastagem, mas o uso da terra é o mesmo.

Gráfico 3.4 - Classes de uso e cobertura em relação às métricas selecionadas.



Fonte: Clécia Cristina Barbosa Guimarães (2012).

A sucessão entre classes continua até o estabelecimento de uma vegetação mais estável, nesse caso, representada pela classe Caatinga Arbustiva Densa. Assim, essa classe agrupa com as outras duas de forma mais discreta por ser uma forma menos degradada de vegetação.

### 3.4 Conclusões

1. A paisagem da área de estudo está reduzida a pequenos fragmentos de cobertura natural que ameaçam a manutenção de espécies da flora e fauna e a heterogeneidade da paisagem.
2. Os menores fragmentos sofrem mais com o efeito de borda.
3. A região apresenta a maior parte dos seus fragmentos de vegetação natural com forma simples, próximo ao quadrado, que é importante para a manutenção dos recursos internos de cada fragmento, mas prejudica o fluxo de espécies, causando alguma instabilidade na paisagem.
4. A maioria dos fragmentos de vegetação natural apresenta-se com distância de outros de sua classe de menos que 1000 m. Classificá-los como distantes ou próximos para fluxos de matéria e energia dependerá das espécies que os compõem.
5. As classes de uso e cobertura Agricultura, Solo Exposto, Vegetação Ripária e Corpo Hídrico apresentam métricas de configuração da paisagem semelhantes.
6. Pastagem, Caatinga Arbustiva Aberta e Caatinga Arbustiva Densa são classes intrinsecamente associadas quanto ao processo de sucessão, considerando, no mesmo, a degradação, o abandono e reestabelecimento e “equilíbrio” como caracterizando cada classe, respectivamente.

## CAPÍTULO 4 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

O uso de imagem de satélite de média-alta resolução espacial (5 m) foi de extrema relevância para a percepção dos padrões de uso e cobertura da área de estudo, levando a um alto valor de acurácia, associado ao método de classificação supervisionada, seguido de correção analógica.

Na região de estudo predominam declives de 3 a 8% que representam os relevos suaves ondulados, cobrindo 55% da área. Levando em conta apenas a declividade, percebe-se que 79% das terras na região apresentam uso adequado para agricultura e 89% para pecuária.

Através do cruzamento dos mapas de uso e cobertura das terras e declividade foi possível especializar as áreas mais críticas, isto é, com maiores riscos de erosão que estão inadequadamente sendo utilizadas com lavouras e pastagem.

A região apresenta-se com uma cobertura vegetal natural com porcentagem bastante significativa (65% ao somar as classes Caatinga Arbustiva Densa, Caatinga Arbustiva Aberta e Vegetação Ripária), porém ela é representada, quase que totalmente, por pequenos fragmentos de até 10 hectares de área que são resultantes da degradação dos grandes fragmentos de vegetação natural e inserção de fragmentos de agricultura e pastagem, demonstrando o processo de fragmentação da paisagem.

Fragmentos de até 10 hectares de área são bastante instáveis na paisagem e podem não conseguir manter populações de fauna e flora por muito tempo. São necessários estudos que avaliem a viabilidade desses fragmentos para conservação.

Devido à inadequabilidade de uso e à fragmentação da paisagem, somada às peculiaridades de solo e clima características da região semiárida, ocorre a redução da qualidade socioambiental. Assim, os órgãos gestores e a população local precisam, juntos, planejar técnicas ambientais de conservação da vegetação natural e dos solos menos predatórias e que sejam adaptadas à realidade da região.

## REFERÊNCIAS

- ALVES, J. J. A.; ARAÚJO, M. A.; NASCIMENTO, S. S. Degradação da Caatinga: Uma investigação Ecogeográfica. **Revista Caatinga**, v. 22, n. 3, p. 126 - 135, jul./set., 2009.
- ANDRADE-LIMA, D. The caatinga dominium. **Rev. Bras. Bot.**, v. 4, n. 1, p. 149 – 153, 1981.
- ANDRADE, J. B; OLIVEIRA, T. S. Análise Espaço-Temporal Do Uso Da Terra Em Parte Do Semi-Árido Cearense. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 28, p. 393 – 401, 2004.
- BATISTELLA, M. **Landscape change and land-use/land-cover dynamics in Rondônia, Brazilian Amazon**. 2001. 399f. PhD diss. - Indiana University, Bloomington: Indiana, 2001.
- BATISTELLA, M.; VALLADARES, G. S. Farming expansion and land degradation in Western Bahia, Brazil. **Biota Neotropica**, v. 9, n. 3, p. 061 – 076, 2009.
- BROWN, D. G.; PIJANOWSKI, B. C; DUH, J. D. Modeling the relationships between land use and land cover on private lands in the Upper Midwest, USA. **Journal of Environmental Management**, v. 59, p. 246 – 263, 2000.
- CARNEIRO-TORRES, D. S. *et al.* Three new species of Croton (Euphorbiaceae s.s.) from the Brazilian Caatinga. **Brittonia**, v. 63, n. 1, p. 122 – 132, 2011.
- CASAGRANDE, C. A. **Diagnóstico ambiental e análise temporal da adequabilidade do uso e cobertura do solo na Bacia do Ribeirão dos Marins, Piracicaba – SP**. 2005. 153f. Dissertação (Mestrado em Ecologia de Agroecossistemas)- Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2005.
- CASTELLETTI, C. H. M. *et al.* Quanto ainda resta da Caatinga? Uma estimativa preliminar. In: SILVA, J. M. C.; TABARELLI, M.; FONSECA, M; LINS, L.(Org.). **Biodiversidade da Caatinga: áreas e ações prioritárias para a conservação**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2004. p. 91–100.
- CAVALCANTI, E. R.; COUTINHO, S. F. S. Desertification in the northeast of Brazil: the natural resources use and the land degradation. **Sociedade & Natureza**, Uberlândia, p. 891 – 900, 2005.
- CENTURION, J. F.; CARDOSO, J. P.; NATALE, W. Efeito de formas de manejo em algumas propriedades físicas e químicas de um Latossolo Vermelho em diferentes agroecossistemas. **R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, v. 5, p. 254 – 258, 2001.
- COLLINS, M. G.; STEINER, F. R.; RUSHMAN, M. J. Land-Use Suitability Analysis in the United States: Historical Development and Promising Technological Achievements. **Environmental Management**, v. 28, n. 05, p. 611 – 621.
- COSTA, A. S. **Levantamento da Capacidade de Uso da Terra na Fazenda Afluente do Quipauá, em Ouro Branco (RN)**. 2009. 41f. Monografia (Graduação em Engenharia Florestal)- Universidade Federal de Campina Grande, Patos, 2009.

COSTA, P. H. H. L. *et al.* **Relatório do Ceará: Conferência Regional de Desenvolvimento Sustentável do Bioma- A Caatinga e a Rio +20.** Fortaleza, 2012. 91p.

COUTO, P. Análise Factorial Aplicada a Métricas da Paisagem Definidas em Fragstats. **Investigação Operacional**, v. 24, p. 109 – 137, 2004.

DELMANTO JUNIOR, O. **Determinação da capacidade de uso da terra do Município de São Manuel (SP), obtido por meio de Sistema de Informações Geográficas (SIG) – IDRISI.** 2003. 94f. Tese (Doutorado em Agronomia)- Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2003.

DILL, P. R. J. **Assoreamento Do Reservatório Do Vacacaí-Mirim E Sua Relação Com A Deterioração Da Bacia Hidrográfica Contribuinte.** 2002. 125f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)- Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2002.

DINIZ, S. F.; MOREIRA, C. A.; CORRADINI, F. A. Susceptibilidade Erosiva do Baixo Curso do Rio Acaraú- Ce. **Geociências**, v. 27, n. 3, p. 355 – 367, 2008.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Sistema brasileiro de classificação de solos.** Rio de Janeiro : EMBRAPA-SPI, 2006.

FARIA, A. L. L.; VALLADARES, G. S. ; RODRIGUES, A. F. Bacia do Coruripe (Alagoas - AL): uma análise por geoprocessamento das áreas de susceptibilidade à erosão do solo.. In: Angelo Adriano Faria de Assis; André Luiz Lopes de Faria. (Org.). **O onde e o quando: Espaço e memória na construção da História e da Geografia.** Viçosa-MG: Geographica, 2012, p. 254-273.

FERRAZ, S. F. B.; VETTORAZZI, C. A.. Identificação de áreas para recomposição florestal com base em princípios de Ecologia da Paisagem. **Revista Árvore**, v. 27, n. 1, p. 575-583, 2003.

FOLEY, J. A. *et al.* Global Consequences of Land Use. **Science**, v. 309, n. 570, p. 569 – 574, 2005.

FORMAN, R. T. T. Some General Principles of Landscape and Regional Ecology. **Landscape Ecology**, v. 10, n. 3, p. 133 – 142, 1995.

FORMAN, R. T. T.; GODRON, M. **Landscape Ecology.** New York: John Willey & Sons, 1986. 619 p.

FREITAS, M. W. D. **Estudo Integrado da Paisagem no Sertão Pernambucano (NE-Brasil) Com o Uso de Sistemas de Informação Geográfica e Sensoriamento Remoto.** 2006. 191 f. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto)- Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, INPE, São José dos Campos, 2007.

FUNCEME. Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos. **Meio Ambiente-Solos.** Fortaleza, 2010. Disponível em: <<http://www.funceme.br/index.php/areas/meio-ambiente/solos>>. Acesso em: 10/12/2012.

GILLSON, L. Landscapes in Time and Space. **Landscape Ecol.**, v. 24, p. 149 – 155, 2009.

GOMES, A. R. **Mudando o curso da conservação da biodiversidade na Caatinga do Nordeste do Brasil**. 2005. 163 f. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto)- Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, INPE, São José dos Campos, 2005.

HACISALIHOGU, S. Determination of soil erosion in a steep hill slope with diferente land-use types: a case study in Mertesdorf (Ruwertal/ Germany). **Journal of Environmental Biology**, v. 28, p. 433 – 438, 2007.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Populacional 2010**. Fortaleza, 2010.

IPECE. Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará. **Ceará em Mapas - Tipos Climáticos**. Fortaleza, 2007a. 1 Mapa. Escala: 1: 2.500.000.

IPECE. Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará. **Ceará em Mapas – Unidades Fitoecológicas**. Fortaleza, 2007b. 1 Mapa. Escala: 1: 2.500.000.

IPECE. Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará. **Ceará em Mapas – Precipitação Pluviométrica**. Fortaleza, 2009. Mapa. Escala: 1: 2.500.000.

IPECE. Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará. **Anuário Estatístico do Ceará- 2010**. Disponível em: <http://www2.ipece.ce.gov.br/publicacoes/anuario/anuario2010/fisiografia/recursos.htm>. Acesso em: 03/03/2013.

JACOMINE, P.K.T.*et al.* **Levantamento exploratório-reconhecimento de solos do Estado do Ceará**. Recife, 1973. v. 2. 830p. (DPP, Boletim Técnico, 28. SUDENE, Série Pedologia, 16).

JENSEN, J. R. **Sensoriamento Remoto Do Ambiente: Uma Perspectiva Em Recursos Terrestres**. 2ª ed. São José dos Campos (SP): Parêntese, 2011.

LAL, R. Soil Degradation by erosion. **Land Degradation & Development**, v. 12, p. 519 – 539, 2001.

LAMBIN, E. F.; GEIST, H. J.; LEPERS, E. Dynamics of land-use and land-cover change in tropical regions. **Annu. Rev. Environ. Resour.**, v. 28, p. 205 – 241, 2003.

LANDIS, J. R.; KOCH, G. G. The measurement of observer agreement for categorical data. **Biometrics**, v. 33, n. 1, p. 159 – 174, 1977.

LAURANCE, W. F. *et al.* Rainforest fragmentation kills big trees. **Nature**, v. 404, p. 836, 2000.

LAURANCE, W. F. *et al.* Ecosystem Decay of Amazonian Forest Fragments : a 22-Year Investigation. **Conservation Biology**, v. 16, n. 3, p. 605 – 618, 2002.

LIMA, E. C. *et al.*, Qualidade da Paisagem: Estudo de Cason a Floresta Ombrófila Mista. **Revista Floresta**, v. 34, n. 1, p. 45 – 56, 2004.

LOVEJOY, T. E. Foreword. *In: Tropical forest remnants: ecology, management, and conservation of fragmented communities*, ed. LAURANCE, W. F.; BIERREGAARD JÚNIOR, R. O. Chicago: University of Chicago Press, 1997.

LU, D. *et al.* Mapping soil erosion risk in Rondônia, Brazilian Amazonia: using rusle, remote sensing and GIS. **Land Degradation & Development**, v. 15, p. 499 – 512, 2004.

MACHADO, R. M *et al.*, Evolução do Recobrimento Vegetacional da APA da Serra de Aratonha. *In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA*, 13., 2009, **Seminário...** Natal, 2009.

MACHADO, I. C.; LOPES, A. V.; SAZIMA, M. Plant Sexual Systems and a Review of the Breeding System Studies in the Caatinga, a Brazilian Tropical Dry Forest. **Annals of Botany**, v. 97, p. 277 – 287, 2006.

MALCZEWSKI, J. GIS-based land-use suitability analysis: a critical overview. **Progress in planning**, [Ontario], v. 62, p. 3 – 65, 2004.

MARINHO, C. A. C. **Utilização de Técnicas de Sensoriamento Remoto para Modelagem da Planície de Inundação do Baixo São Francisco**. 2011. 35 f. Monografia (Especialização em Geoprocessamento)- Centro do Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, 2011.

McALPINE, C. A. *et al.* Can a problem-solving approach strengthen landscape ecology's contribution to sustainable landscape planning?. **Landscape Ecol.**, v. 25, p. 1155 – 1168, 2010.

McGARIGAL, K.; MARKS, B. J. **FRAGSTATS**: Spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure. Amherst, versão 3.3, 1995.

McGARIGAL, K; CUSHMAN, S. A.; ENE, E. **FRAGSTATS**: Spatial pattern analysis program for categorical and continuous maps. Amherst, versão 4, 2012.

METZGER, J. P.. O que é ecologia de paisagens?. **BiotaNeotropica**, v. 1, n. 1/ 2, dez. 2001.

METZGER, J. P; DÈCAMP, H. The structural connectivity threshold: na hypothesis in conservation biology at the landscape scale. **Acta Oecologica**, v. 18, n. 1, p. 1 -12, 1997.

METZGER, J. P.; MULLER, E. Characterizing the complexity of landscape boundaries by remote sensing. **Landscape Ecology**, v. 11, n. 2, p. 65 – 77, 1996.

MILAN, E.; MORO, R. S. Padrões de fragmentação florestal natural no parquet estadual de Vilha Velha, Ponta Grossa (PR). **Ambiência Guarapuava (PR)**, v. 8, ed. Especial, p. 685 – 697, nov. 2012.

NASSAUER, J. I.; OPDAM, P. Design in science: extending the landscape ecology paradigma. **Landscape Ecol.**, v. 23, p. 633 – 644, 2008.

- NEEL, M. C; McGARIGAL, K.; CUSHMAN, S. A. Behavior of class-level landscape metrics across gradients of class aggregation and area. **Landscape Ecology**, v. 19, p. 435 – 455, 2004.
- PEARSON, D. M.; GORMAN, J. T. Exploring the relevance of a landscape ecological paradigm for sustainable landscapes and livelihoods: A case application from the Northern Territory Australia. **Landscape Ecol.**, v. 25, p. 1169 – 1183, 2010.
- PEREIRA, D. D. **Ecologia das Caatingas**. Módulo 16, Campina Grande: Associação Brasileira de Educação Agrícola Superior (ABEAS), 2006. 90p.
- PRADO, R. B.; NOVO, E. M. L. M.; PEREIRA, M. N. Evaluation of Land Use and Land Cover Dynamics in the Hydrographic Contribution Basin of Barra Bonita Reservoir – SP. **Rev. Brasileira de Cartografia**, v. 2, n. 59, p. 127 – 136, 2007.
- RABUS, B. *et al.* The shuttle radar topography mission – a new class of digital elevation models acquired by spaceborne radar. **Journal of Photogrammetry & Remote Sensing (ISPRS)**, v. 57, n.4, p. 241-262, 2003.
- RAMALHO FILHO, A.; BEEK, K.J. **Sistema de avaliação da aptidão agrícola das terras**. Rio de Janeiro: EMBRAPA/CNPS, 1995. 65p.
- RODRIGUES, P. C.; BRANCO, J. A. A Análise dos Componentes Principais sobre Dados Dependentes. *In*: CONGRESSO ANUAL DA SOCIEDADE PORTUGUESA DE ESTATÍSTICA, 14., 2006, Portugal. **Seminário...** Portugal: Sociedade Portuguesa de Estatística, 2006.
- RUDORFF, C. M. *et al.* Superfícies de resposta espectro-temporal de imagens do sensor MODIS para classificação de área de soja no Estado do Rio Grande do Sul. **Ciência Rural**, v. 37, n. 1, p. 118 – 125, 2007.
- SAMPAIO, E. V. S. B. Características e Potencialidades. *In*: GARIGLIO, M. A. *et al.* **Uso Sustentável e Conservação dos Recursos Florestais da Caatinga**. Brasília: Serviço Florestal Brasileiro, 2010. p. 29 – 42.
- SANTOS, L. C. *et al.* Estudo de uma flora em dois ambientes no município de Quixadá – CE. **Revista Verde**, v.3, n.2, p.116 - 135, 2008.
- SANTOS, E. P; PIROLI, E. L. Análise do uso e cobertura da terra da Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Rebojo usando geoprocessamento: uma contribuição ao planejamento ambiental-UGRHI Pontal do Paranapanema (SP) – Brasil. **Rev. Geonorte** (edição especial), v. 2, n. 4, p. 1244 – 1261, 2012.
- SEABRA, V. S. Uso de Modelos Digitais de Elevação para Mapeamento de Variáveis Morfométricas do Relevo na Bacia Hidrográfica do Rio São João. **Rev. Tamoios**, ano 08, n. 01, p. 68 – 79, 2012.
- SHIFERAW, B.; HOLDEN, S. Soil erosion and smallholders' conservation decisions in the highlands of Ethiopia. **World Development**, v. 27, n. 4, p. 739 – 752, 1999.

- SOUZA, B. D. *et al.* Water relations and chlorophyll fluorescence responses of two leguminous trees from the Caatinga to different watering regimes. **Acta Physiol. Plant**, v. 32, p. 235 – 244, 2010.
- SOUZA, M. J. N. *et al.* **Diagnóstico e Macrozoneamento Ambiental do Ceará-Diagnóstico Geoambiental**. v. 1. Fortaleza, 1998.
- TABARELLI, M.; SILVA, J. M. C.; GASCON, C. Forest fragmentation, synergism and the impoverishment of neotropical forest. **Biodiversity and Conservation**, v. 13, p. 1419 – 1425, 2004.
- TEOTIA, H. S. *et al.* Classificação da cobertura vegetal e capacidade de uso da terra na região do Cariri Velho (Paraíba), através de Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 11., 2005, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: INPE, 2003. p. 1969 – 1976.
- TERMORSHUIZEN, J. W.; OPDAM, P. Landscape services as a bridge between landscape ecology and sustainable development. **Landscape Ecol.**, v. 24, p. 1037 – 1052, 2009.
- TIEDE, D. **vLATE**. Austria: University of Salzburg, versão 2.0, 2004.
- TURNER, M. G. Landscape Ecology: the effect of pattern on process. **Annu. Rev. Ecol. Syst.**, v. 20, p. 171 – 197, 1989.
- TURNER, M. G.; GARDNER, R. H. **Quantitative methods in landscape ecology: the analysis and interpretation of landscape heterogeneity**. Nova York: Springer Verlag, 1990. 536p.
- TURNER M.G., GARDNER R.H. & O'NEILL R.V. **Landscape ecology in theory and practice: pattern and process**. New York: Springer, 2001
- VALERIANO, M. M.; ROSSETTI, D. F. Topodata: Brazilian full coverage refinement of SRTM data. **Applied Geography (Sevenoaks)**, v. 32, p. 300-309, 2011.
- VANACKER, V. **Impact of deforestation on slope stability**. University of Louvain: 2012. Disponível em: <<http://serc.carleton.edu/31991>>. Acesso em: 19/12/2012
- VASCONCELOS, C. H.; NOVO, E. M. L. M. Mapeamento do uso e cobertura da terra a partir da segmentação e classificação de imagens – fração solo, sombra e vegetação derivadas do modelo linear de mistura aplicado a dados do sensor TM/Landsat5, na região do reservatório de Tucuruí - PA. **Acta Amazônica**, v. 34, n. 3, p. 487 – 493, 2004.
- VIANA, P. C. **Estimativa e Especialização das Temperaturas do Ar Mínimas, Médias e Máximas no Estado do Ceará**. 2010. Monografia- Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE), Iguatu, 2010.
- VOLOTÃO, C. F. S. **Trabalho de Análise Espacial Métricas do Fragstats**. 1998. Dissertação. (Mestrado em Pesquisa Espacial) – Instituto Nacional de Pesquisa Espacial (INPE), São Paulo, 1998.

WADT, P. G. S. *et al.* **Práticas de Conservação do Solo e Recuperação de Áreas Degradadas**. Acre: EMBRAPA ACRE, 2003. 29p. (Documento, 90).

WIENS, J. A. Allerton Park 1983: the beginnings of a paradigm for landscape ecology?. **Landscape Ecol.**, v. 23, p. 125 – 128, 2008.