

Universidade Federal do Rio de Janeiro

Centro de Ciências Matemáticas e da Natureza

Instituto de Geociências

Departamento de Geografia

Programa de Pós-Graduação em Geografia

Mapeamento de Tipologias de Caatinga na Bacia Hidrográfica do Rio Taperoá, PB, Através de Imagens Orbitais e GEOBIA

Diego Vicente Sperle da Silva

Orientação: Carla Bernadete Madureira Cruz

Diego Vicente Sperle da Silva

Mapeamento de Tipologias de Caatinga na Bacia Hidrográfica do Rio Taperoá, PB, Através de Imagens Orbitais e GEOBIA

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como requisito parcial para obtenção do Título de Mestre em Geografia.

Orientadora, Carla Bernadete Madureira Cruz, Dra., UFRJ

Mônika Richter, Dra., UFRJ

Rafael Silva de Barros, Dr., UFRJ

Dedicatória

*À minha família,
por alimentar a minha curiosidade.*

Agradecimentos

À minha família, que desde cedo me ensinou a fazer perguntas, e que também me ensinou uma das coisas mais difíceis da vida, que nem sempre as perguntas serão respondidas. Agradeço todo o apoio recebido por meus pais, minha avó materna e Andréia, que sempre me apoiaram e financiaram meus estudos e mostraram que o conhecimento é uma das coisas mais valiosas da vida.

À Carla Madureira, minha orientadora, que me acolheu no segundo período da graduação, e que em 2018, quase seis anos depois, continua sendo fundamental no meu aprendizado acadêmico, profissional e pessoal. Sendo a pessoa mais importantes para a minha formação acadêmica, agradeço tudo o que aprendi, e ainda aprendo. Obrigado pela generosidade.

Quero agradecer à equipe do Laboratório Espaço, sou muito grato por fazer parte deste grupo. Sem as pessoas incríveis que compartilham este local de trabalho e que estão sempre dispostas a ajudar. Especialmente para Marcus, Gabriella e Felipe.

Agradeço aos professores Rafael Albuquerque Xavier e Vinícius da Silva Seabra por todo o apoio durante a pesquisa, principalmente durante o trabalho de campo, sem este apoio não seria possível concluir o trabalho.

Por fim, agradeço ao Djair Fialho, que além de me ensinar um pouco de sua grande sabedoria sobre o semiárido, foi extremamente hospitaleiro e gentil ao me acompanhar em um dos dias de trabalho de campo, além de me receber generosamente na propriedade de sua família.

Peço desculpas se esqueci de mencionar alguém, não será um agradecimento escrito em um pedaço de papel que excluirá a importância de todas as pessoas que fazem parte da minha vida, agradeço por cada um de vocês existirem.

Resumo

SPERLE DA SILVA, Diego Vicente. *Mapeamento de Tipologias de Caatinga na Bacia Hidrográfica do Rio Taperoá, PB, Através de Imagens Orbitais e GEOBIA*. 2018. Dissertação de Mestrado em Planejamento e Gestão Ambiental. Prógrama de Pós-Graduação em Geografia, Departamento de Geografia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2018.

O semiárido brasileiro abriga o bioma conhecido como caatinga, palavra de origem tupi-guarani que significa “mata branca”. É um bioma exclusivamente brasileiro, adaptado ao estresse hídrico causado por períodos de seca, embora seja um dos biomas menos conhecidos do país. O presente trabalho é dividido em duas etapas. A primeira consiste no levantamento bibliográfico de tipologias de caatinga, a fim de avaliar a aplicabilidade em metodologias de mapeamento que utilizem imagens orbitais e GEOBIA. Foram identificadas cinco classificações de tipologias, sendo elas ANDRADE-LIMA (1981), VELOSO & GÓES-FILHO (1982), GEORGE EITEN (IBGE, 2012), CHAVES *et al.* (2008) e CAVALCANTI (2014). O segundo momento consiste no mapeamento das tipologias de caatinga na bacia hidrográfica do Rio Taperoá, localizada no sertão paraibano, a partir de imagens Landsat 8 e GEOBIA. Optou-se por utilizar a classificação de tipologias de caatinga proposta por CAVALCANTI (2014). Foram utilizadas duas cenas Landsat 8 para a área, uma para o período úmido e outra para o período seco. Além disto, utilizou-se dados temáticos e matriciais para os testes de modelagem de conhecimento, tendo sido mantida apenas parâmetros matriciais na modelagem de conhecimento final. O resultado da classificação obtida a partir da modelagem do conhecimento e edição manual foi validado utilizando o índice Kappa, onde foram obtidos resultados satisfatórios, com valores de 0,8581 para caatinga gramíneo-lenhosa, 0,8827 para caatinga lenhosa, 1 para caatinga rupestre, 0,8846 para formação higrófila e 0,9073 para outros. Por fim, chegou-se ao mapeamento final de remanescentes de tipologias de caatinga na bacia hidrográfica do Rio Taperoá, mostrando que a maior parte da bacia não é coberta por caatinga, além de evidenciar padrões de dispersão de espécies introduzidas, como a algaroba, e de tipologias de caatinga.

Palavras-chave: mapeamento, semiárido, sensoriamento remoto, savana, modelagem do conhecimento

Abstract

SPERLE DA SILVA, Diego Vicente. *Mapeamento de Tipologias de Caatinga na Bacia Hidrográfica do Rio Taperoá, PB, Através de Imagens Orbitais e GEOBIA*. 2018. Dissertação de Mestrado em Planejamento e Gestão Ambiental. Programa de Pós-Graduação em Geografia, Departamento de Geografia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2018.

The Brazilian semiarid is covered by the biome known as caatinga, a word from Tupi-Guarani's native Brazilians that means "white vegetation". It is an exclusively Brazilian biome, adapted to the water stress caused by periods of drought, although it is one of the less known biomes of the country. This paper is divided into two stages. The first one consists of the bibliographic research of caatinga typologies, in order to evaluate the applicability in mapping methodologies that use orbital images and GEOBIA. Were identified five classifications of typologies, being ANDRADE-LIMA (1981), VELOSO & GÓES-FILHO (1982), GEORGE EITEN (IBGE, 2012), CHAVES et al. (2008) and CAVAL-CANTI (2014). The second moment is the mapping of caatinga typologies in the hydrographic basin of the Taperoá River, located in the state of Paraíba, using Landsat 8 and GEOBIA images. It was decided to use the classification of caatinga typologies proposed by CAVALCANTI (2014). Two Landsat 8 scenes were used for the area, one for the wet period and one for the dry period. In addition, we used thematic and matrix data for the knowledge modeling tests, and only matrix parameters were maintained in the final knowledge modeling. The result of the classification obtained from knowledge modeling and manual editing was validated using the Kappa index, and satisfactory results were obtained, where the following values were obtained: 0.8581 for grassy-woody caatinga, 0.8827 for woody caatinga, 1 for rupestrian caatinga, 0.8846 for hygrophilous formation, and 0.9073 for others.. Finally, the final mapping of caatinga typologies areas in the hydrographic basin of the Taperoá River was completed, showing that most of the basin is not covered by caatinga. Besides showing patterns of dispersal of introduced species, such as algaroba, and caatinga typologies.

Palavras-chave: mapping, semiarid, remote sensing, savannah, knowledge modeling

Lista de figuras

Figura 1: Rio tributário do rio Taperoá em janeiro de 2018, apresentando leito completamente seco. Fonte: acervo do autor. Pg.17

Figura 2: Esboço de uma definição teórica de geossistema. (BERTRAND, 2004). Pg. 24

Figura 3: Biomas do Brasil e Bacia Hidrográfica do Rio Taperoá. Fonte: adaptado do IBGE. Pg. 28

Figura 4: Divisão municipal na Bacia Hidrográfica do Rio Taperoá. Fonte: adaptado do IBGE. Pg. 29

Figura 5: Açudes da bacia hidrográfica do rio Taperoá. Adaptado AESA. Pg.30

Figura 6: Sistemas de aquíferos na bacia hidrográfica do rio Taperoá. Adaptado da AESA. Pg.31

Figura 7: Açude de Soledade completamente seco. Foto tirada em janeiro de 2018. Acervo do autor. Pg. 31

Figura 8: Centro da cidade de Campina Grande. Acervo do autor. Pg. 32

Figura 9: Altimetria da bacia hidrográfica do rio Taperoá a partir de imagens SRTM. Pg. 33

Figura 10: Geomorfologia da Bacia Hidrográfica do Rio Taperoá, adaptado de XAVIER et al (2014). Pg. 35

Figura 11a: Afloramento ruiforme. Fonte: Acervo do autor. Pg. 36

Figura 11b: Represa artificial construída sobre lajedo, aproveitando uma fratura natural da rocha. Acervo do autor. Pg. 36

Figura 12a: Enclave de vegetação típica de floresta úmida em borda de afloramento, pessoa de 1,74m como escala de referência. Lajedo do Bravo. Acervo do autor. Pg. 36

Figura 12b: Solo rico em matéria orgânica e serrapilheira em borda de lajedo, escala caderneta de campo. Acervo do autor. Pg. 36

Figura 13a: matacões com inscrições e pinturas rupestres na localidade do Lajedo do Bravo. Fonte: acervo do autor. Pg. 37

Figura 13b: Tronco fossilizado retirado de uma área mineradora. Fonte: acervo do autor. Pg. 37

Figura 14: Cena de imagem orbital do ano de 2014 da bacia hidrográfica do Taperoá. Pg. 38

Figura 15: Clima da bacia do Taperoá. Fonte: Dados físicos do IBGE. Pg. 39

Figuras 16a: Recorte de imagens Landsat 8 da bacia hidrográfica do rio Taperoá no período seco. Pg. 40

Figura 16b: Recorte de imagens Landsat 8 da bacia hidrográfica do rio Taperoá no período úmido. Pg. 40

Figura 17a: Mineração de feldspato na bacia hidrográfica do Rio Taperoá. Acervo do autor. Pg. 41

Figura 17b: Cava de mineração de bentonita. Carro popular ao fundo como referência de escala. Fonte: acervo do autor. Pg. 41

Figura 18: Caminhão carregado de trocos de algaroba (*Prosopis juliflora*). Fonte: acervo do autor. Pg. 42

Figura 19: Plantio de palma forrageira utilizada para a alimentação de caprinos. Pg. 42

Figuras 20a: vegetação cosmopolita típica de área alagada e algaroba em margem de rio. Fonte: acervo do autor. Pg. 53

Figura 20b: detalhe das folhas de algaroba se mantendo verdejantes durante a seca. Fonte: acervo do autor. Pg. 53

Figuras 21a: Diversidade de paisagens da classe caatinga rupestre. Fonte: acervo do autor. Pg. 55

Figura 21b: Diversidade de paisagens da classe caatinga rupestre. Fonte: acervo do autor. Pg. 55

Figura 21c: Diversidade de paisagens da classe caatinga rupestre. Fonte: acervo do autor. Pg. 55

Figura 21d: Diversidade de paisagens da classe caatinga rupestre. Fonte: acervo do autor. Pg. 55

Figura 22: Fluxograma das etapas percorridas para o mapeamento de tipologias de caatinga na bacia hidrográfica do Rio Taperoá. Pg. 57

Figura 23: Hierarquia de classes utilizada para a modelagem do conhecimento. Pg. 59

Figura 24: Gráfico comparativo das funções Booleana e fuzzy. (PINHO, 2005). Pg. 62

Figura 25: Mapa de pontos de controle colhidos em campo. Pg. 65

Figura 26a: Caatinga lenhosa. Fonte: acervo do autor. Pg. 68

Figura 26b: Caatinga gramíneo-lenhosa. Fonte Acervo do autor. Pg. 68

Figura 27a: Caatinga parque. Fonte: acervo do autor. Pg. 68

Figura 27b: Caatinga rupestre. Fonte: acervo do autor. Pg. 68

Figura 28a: Formação higrófila composta exclusivamente por algarobas. Fonte: Acervo do autor. Pg. 69

Figura 28b: Núcleo urbano com a Serra Branca ao fundo. Fonte: Acervo do autor. Pg. 69

Figura 29a: Açude do Taperoá, representativo da classe água. Fonte: acervo do autor. Pg. 69

Figura 29b: Afloramento rochosos, representativo da classe afloramentos. Fonte: Acervo do autor. Pg. 69

Figura 30: Mapeamento de tipologias de Caatinga na bacia hidrográfica do rio Taperoá. Pg. 72

Figura 31a: *Philodendron bipinnatifidum* sobre tronco de árvore de grande porte. Fonte: acervo do autor. Pg. 73

Figura 31b: Transição entre a fisionomia vegetal de grande porte e lajedo. Fonte: acervo do autor. Pg. 73

Lista de tabelas

Tabela 1: Contagem da população residente nos municípios de Campina Grande nos Censos Demográficos feitos a partir de 1970 (IBGE,2010). Pg. 32

Tabela 2: Classificação de vegetação de caatinga adaptada de ANDRADE-LIMA (1981). Pg.47

Tabela 3: Tipologia da Região Fitoecológica de Estepe (VELOSO & GÓES-FILHO, 1982). Pg. 48

Tabela 4: Classificação de Caatinga de George Eiten. (IBGE, 2012). Pg. 49

Tabela 5: Proposta de classificação de tipologia de Caatinga, adaptado de CHAVES et al. (2008). Pg. 49

Tabela 6: Classes do grupo Caatinga Arbórea, adaptado de CHAVES et al. (2008).Pg.50

Tabela 7: Classificações de subgrupos de Caatinga e formações associadas segundo CAVALCANTI (2014).Pg. 51

Tabela 8: Chave de classificação de tipologias de Caatinga e classes associadas.Pg.60 e 61

Tabela 9: Modelagem do conhecimento para as classes utilizadas na classificação. Pg. 63

Tabela 10: Matriz de erro da classificação obtida após edição manual. Pg. 66

Tabela 11: Concordância do índice Kappa (LANDIS E KOCH, 1977). Pg. 67

Tabela 12: Concordância do índice Kappa para as classes mapeadas. Pg.70

Tabela 13: Área em Km² das classes mapeadas e suas respectivas porcentagens. Pg. 73

Lista de anexos.

Anexo 1: Mapeamento de Tipologias de Caatinga na Bacia Hidrográfica do Rio Tape-
roá. Pg. 82.

Sumário

Introdução.....	10
Objetivos.....	15
Revisão Conceitual.....	15
1. Bioma Caatinga.....	15
2. Paisagem.....	21
3. Bacia Hidrográfica.....	25
4. Escala Cartográfica e Escala Geográfica.....	26
Contexto da Bacia Hidrográfica do Rio Taperoá.....	27
Capítulo 1: Tipologias de caatinga: uma revisão em apoio a mapeamentos através de sensoriamento remoto orbital e GEOBIA.....	43
1. Introdução.....	43
2. Dificuldades técnicas para o mapeamento de Caatinga através de sensoriamento remoto orbital.....	44
3. Tipologias de Caatinga.....	45
4. GEOBIA (Análise de Imagens Baseada em Objetos Geográficos).....	51
5. Integração entre o conhecimento geossistêmico e GEOBIA.....	53
6. Conclusões.....	55
Capítulo 2: Mapeamento de Vegetação de Caatinga na Bacia Hidrográfica do Rio Taperoá.....	56
1. Introdução.....	56
2. Metodologia.....	56
3. Trabalho de Campo.....	64
4. Avaliação da Classificação.....	65
5. Resultados e discussão.....	67
5.1. Observações de campo.....	67
5.2. Mapeamento.....	70
6. Conclusões.....	74
Considerações Finais.....	75
Referências Bibliográficas.....	77

Introdução

A Região Nordeste do Brasil é formada pelos estados de Sergipe, Alagoas, Paraíba, Rio Grande do Norte, Ceará, Bahia, Maranhão, Piauí e Pernambuco, sendo a Região brasileira com maior número de estados, sendo nove no total. Sua demografia passou por transformações curiosas, já que até a segunda metade de século XIX a região era a mais populosa do país (FUSCO & OJIMA, 2014).

Dados dos primeiros Censos Demográficos mostram que, ainda na segunda metade do século XIX, o Nordeste era a região mais populosa do Brasil e sua população representava quase a metade dos habitantes do país. Mais especificamente, conforme dados do Censo de 1872, a população do Nordeste correspondia a 46,7% do total nacional. A partir de então, os registros mostram um constante declínio nessa participação até atingir os atuais 27,8% da população brasileira, ainda que as taxas de fecundidade da região se apresentem, sistematicamente, como as mais altas do país. (FUSCO & OJIMA, 2014)

Isto se explica, em parte, pelos intensos fluxos emigratórios que ocorreram ao longo das décadas, e mesmo com taxas de fecundidade e natalidade alta, há um êxodo populacional constante que não consegue manter as taxas de população absoluta proporcionalmente altas em relação à outras áreas do país.

Atualmente, há evidências da intensificação dos fluxos migratórios de retorno, onde pessoas que emigraram em algum momento da região, retornam, o que torna as dinâmicas demográficas da região muito dinâmicas e complexas.

Os fluxos migratórios de saída da Região Nordeste são de causas variadas e complexas, passando pela atratividade de algumas áreas com desenvolvimento econômico acelerado, como Rio de Janeiro e São Paulo no século XX, ciclo da borracha na Amazônia, onde a demanda por mão de obra foi suprida em partes por trabalhadores nordestinos e até mesmo a seca. (FUSCO & OJIMA, 2014)

As secas periódicas são restritas à região de clima semiárido da Região Nordeste, e pode variar de duração e intensidade, havendo outras partes da região que não apresentam esta característica ambiental, como a Zona da Mata.

Contudo, ao longo dos anos, o estigma da seca e de problemas sociais persistiram no imaginário coletivo como características da região. Este tema foi exaustivamente discutido por geógrafos como CASTRO (1992 e 2001) e RIBEIRO (1999). Sobre isto, é evidente que

a concepção de secas como fenômeno natural inevitável tem gerado um discurso unificado de vitimização, o que tem sido aproveitado pelas elites para seu fortalecimento político, social e para a reinversão de capital através de políticas públicas paliativas. (MELO, 1999)

O discurso da Região Nordeste como um problema a ser resolvido vem aos poucos sendo superado e substituído por novos discursos. É provável que esta substituição gradual tenha influência das obras de infraestrutura realizadas no semiárido nas últimas décadas, como o programa “Luz para Todos” e a construção de cisternas para o armazenamento de água, o que diminuiu significativamente a vulnerabilidade das populações do semiárido brasileiro à seca.

Mesmo assim, ainda há uma grande concentração fundiária na região, o que se reflete no acesso à água, já que a propriedade de terras no semiárido também reflete a propriedade de mananciais e açudes (MELO, 1999), logo, as elites históricas ainda têm um controle significativo sobre a política, terras e recursos hídricos da região. Neste cenário, as secas deixam de serem um fenômeno puramente físico, “mas constituem um complexo fenômeno socioeconômico” (COSTA, 2012).

A vulnerabilidade da população à seca na Região Nordeste, segundo MELO (1999), aumentou com o modo de vida sedentário da população não indígena que após a colonização se estabeleceu na região. Isto não significa que os indígenas nômades, que ali viviam, não estavam submetidos às dificuldades da seca, contudo, o sedentarismo aumenta a vulnerabilidade (MELO, 1999), já que desenvolver a agricultura e pecuária na região não é algo trivial.

Observa-se a ocorrência de mudanças como a valorização, não só da diversidade cultural da região, mas da diversidade natural, que aparenta ser crescente no Brasil. Isto talvez se explique pela mudança de um fluxo turístico que tipicamente estava concentrado no litoral, para o surgimento de novos segmentos turísticos, dentre eles o ecoturismo e o geoturismo, voltado para a valorização do ambiente abiótico (MOURA-FÉ, 2015) que adentra a Região Nordeste em direção à área de clima semiárido.

Estes fluxos turísticos aumentam os investimentos em infraestrutura e conhecimento sobre a região, além de funcionar como um propagador de informações e educação ambiental para a população local e de outras partes do Brasil e do mundo, aumentando o interesse pelo semiárido.

Atualmente, a região é considerada de alta complexidade do ponto de vista físico e social, repleta de contradições, com dinâmicas espaciais muitas vezes pouco estudadas e compreendidas. O clima semiárido brasileiro, que tem a maior parte de sua extensão na Região Nordeste, tendo apenas uma pequena parte inserida na Região Sudeste, abriga um bioma exclusivamente brasileiro, conhecido como Caatinga.

A Caatinga cobre cerca de 10% do território brasileiro, aproximadamente 845.00 Km² (IBGE, 2004), e apesar de não ser o bioma de maior extensão do país, apresenta uma área muito representativa, já que o Brasil é um país de dimensões continentais, ou seja, para efeitos comparativos, a área coberta por Caatinga é maior do que a área total da Turquia, por exemplo.

Apesar deste bioma ser exclusivamente brasileiro (Ministério do Meio Ambiente, 2012), ainda há uma proporção baixa de pesquisas científicas sobre a Caatinga, comparativamente com pesquisas envolvendo outros biomas existentes no Brasil. Há um número baixo de produções científicas sobre a Caatinga, o que pode ser consequência de um histórico desinteresse econômico e científico pelo semiárido brasileiro (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2012), que parece vir se modificando na última década. Contudo, o próprio MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (s.d.) afirma que a Caatinga é o bioma menos conhecido do país.

Uma possível explicação se deve à colocação dos problemas sociais do semiárido como balizadores dos discursos sobre políticas públicas da região, assim como na grande mídia, onde uma preocupação sobre a conservação do ambiente natural aparenta ser secundária.

Com a crescente expansão da ocupação humana, através do crescimento de grandes centros urbanos como Campina Grande, e de atividades econômicas, como a agricultura e mineração no semiárido brasileiro, tem havido a supressão e degradação de áreas de Caatinga, tornando-se urgente a produção de conhecimento sobre este bioma e sobre as dinâmicas espaciais que o envolvem, objetivando o planejamento e uso sustentável do mesmo.

A vegetação do semiárido tem um importante papel na conservação dos solos, sendo responsável, entre outras funções, pela redução da taxa de erosão laminar, muito comum em zonas secas, potencializada por períodos de enxurradas que transportam

grandes quantidades de sedimentos. WICANDER & REED (2009, pg. 139) apontam este tipo de erosão como um fator de degradação dos solos e completam que “alguns solos são removidos pela erosão em lençol ou laminar, durante a qual camadas finas de solo são removidas, mais ou menos homoganeamente, de uma ampla superfície de encosta”.

A erosão laminar ocorre quando a água da chuva promove uma lavagem de materiais desagregados, transportando-os através de fluxos não concentrados, ou seja, sem canais definidos (NICHOLS, 2009). Com isso, é evidente que a vegetação reduz este tipo de erosão, já que intercepta parte a água da chuva através do dossel e da serrapilheira acumulada no solo.

Estes sedimentos que são transportados tendem a se depositar naturalmente em áreas rebaixadas (do ponto de vista local). Logo, um aumento no transporte de sedimentos no semiárido diminuirá a vida útil das barragens construídas para o abastecimento de água na região, já que estas funcionarão como área de depósito de sedimentos carregados pelos fluxos hídricos que convergem no canal de drenagem em que elas foram construídas.

A degradação da Caatinga pode ocasionar grandes consequências sociais e econômicas pois afeta fortemente obras de infraestrutura, principalmente as que envolvem a distribuição e abastecimento de água, além de afetar barragens construídas de forma rudimentar para a agricultura de pequena escala, geralmente familiar.

O MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (2012) enfatiza que a Caatinga é o bioma de semiárido com a maior biodiversidade do mundo, e que ao longo dos anos alguns mitos foram criados e propagados em relação ao mesmo, entre eles o que a Caatinga é um bioma homogêneo, apresenta pouca biodiversidade e está pouco alterado. Todos estes mitos são facilmente refutáveis através das pesquisas científicas que envolvem esta região e através do próprio conhecimento das populações tradicionais. Além disto, o MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (2012) evidencia que a Caatinga é o bioma com menor quantidade de Unidades de Conservação de proteção integral, quando comparado com os outros biomas do Brasil.

A Caatinga também tem um elevado número de espécies endêmicas, ou seja, espécies que só ocorrem neste bioma e que não são encontrados em outros locais do mundo, algumas destas espécies estão ameaçadas de extinção como é o caso da ararinha-azul, que não é mais encontrada na natureza. Apesar disso, algumas espécies da Caatinga são

encontradas em outros biomas, já que existem enclaves locais de vegetação adaptada ao clima semiárido em biomas como a Amazônia (AB'SÁBER, 2003).

É apontado por AB'SÁBER (2003) e MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (2012) que a Caatinga é um dos biomas que mais foi devastado, já que houveram diversos projetos de desenvolvimento regional da Região Nordeste que não levaram em conta os impactos ambientais e o uso sustentável do bioma, além do longo histórico de ocupação humana.

A falta de políticas públicas de implementação de infraestrutura fomentou atividades nocivas à conservação da vegetação, aumentando a vulnerabilidade da população do semiárido brasileiro. A agricultura inadequada e o desmatamento da caatinga para o uso de carvão e lenha, a fim de suprir necessidades energéticas da população, culminou em alguns pontos de desertificação (MELO, 1999). Embora, a degradação nem sempre gere o efeito extremo da desertificação, é evidente que gera outros problemas ambientais tais como erosão e degradação dos solos.

O impacto causado por qualquer atividade em um sistema tem consequências quase que intermináveis, já que a consequência direta do primeiro impacto gera outro impacto, e assim sucessivamente, gerando uma rede de eventos extremamente longa, com extensão temporal variável, conforme é discutido profundamente por CHISTOFOLETTI (1999). Sendo assim, torna-se fundamental o entendimento de como a Caatinga e as paisagens do semiárido, como um todo, se comportam ao sofrerem impactos decorrentes do desmatamento e outras atividades humanas que altere extensivamente a cobertura do terreno.

Conhecer e propagar informações sobre a Caatinga também é importante, já que envolve a conscientização da população como um todo, além de auxiliar na exploração sustentável deste bioma, como o caso do turismo, por exemplo, contribuindo para o desenvolvimento regional, já que há uma dinamização da economia.

Um exemplo bem sucedido disto é um dos parques naturais mais ricos em patrimônio natural e cultural do Brasil, o Parque Nacional da Serra da Capivara, no estado do Piauí, que possui sua cobertura vegetal de Caatinga e apresenta vestígios arqueológicos de atividade humana datados da pré-história, com grandes quantidades de pinturas rupestres que representam as atividades dos grupos de humanos que ali viviam.

O incremento do conhecimento sobre a Caatinga também é importante para a preservação de atividades humanas tradicionais que utilizam o bioma. O Ministério do Meio Ambiente (2012), ao identificar áreas prioritárias para a conservação, uso sustentável e repartição dos benefícios da biodiversidade nos biomas brasileiros, ressalta que o conhecimento tradicional sobre a Caatinga deve ser valorizado e incorporado ao conhecimento científico, apesar de muitas vezes isso não ser feito.

Como os mapas são uma ferramenta de comunicação importante para a geografia, já que é uma ciência interessada na explicação e compreensão dos padrões espaciais, produzir dados cartográficos e interpretá-los a luz das relações e padrões espaciais entre eles, é uma forma eficaz de produzir e divulgar o conhecimento sobre a Caatinga, já que os dados cartográficos são úteis para análises de diversos ramos da ciência, facilitando a interdisciplinaridade, além de serem essenciais para o planejamento ambiental.

Objetivos

O objetivo geral deste trabalho é contribuir para o mapeamento e análise da distribuição das fitofisionomias de Caatinga, através de um estudo de caso na Bacia Hidrográfica do Rio Taperoá-PB.

- Analisar diferentes propostas de tipologia da vegetação de Caatinga frente a necessidade de mapeamento de tipos fisionômicos baseado em imagens orbitais.
- Modelar o conhecimento para a classificação de diferentes tipologias de caatinga através de GEOBIA.
- Mapear os diferentes tipos fisionômicos de caatinga na bacia do rio Taperoá em escalas cartográficas grandes através de geoprocessamento e GEOBIA.

Revisão Conceitual

1. Bioma Caatinga

Antes de entrar em uma discussão mais profunda sobre a Caatinga, é necessária uma rápida, porém necessária, definição de bioma. COUTINHO (2006), em uma revisão do conceito de bioma, indica que o termo é originário do grego, onde *bio* significa vida e *oma* significa massa. O autor também ressalta que há uma confusão entre o termo formação e bioma, contudo, formação apenas se relaciona com a vegetação, enquanto bioma se

refere à fauna, vegetação e a relação com o meio físico, é uma comunidade biológica, por este motivo os termos bioma e biota são muitas vezes tidos como sinônimos.

Logo, um bioma pode ser definido por uma unidade grande e discernível, ou nas palavras de ODUM (2001) “os climas regionais interagem com a biota e o substrato regionais para produzir unidades de comunidades amplas, facilmente reconhecíveis, designadas biomas” e complementa que “bioma é a unidade de comunidade terrestre mais ampla que convém reconhecer”.

AB’SÁBER (2003) esclarece que a região semiárida brasileira está contida no domínio morfoclimático das depressões interplanálticas, formada por áreas planas muito arrasadas pela erosão, e é neste ambiente que há a cobertura vegetal de Caatinga. O autor elucida que há pouca alteração química das rochas da região, com isso os solos são rasos e sensíveis, além disso há a prevalência de drenagens intermitentes associadas a pouca frequência de chuvas que variam de 350mm a 600mm por ano, e além disto há a ocorrência de anos secos devido a falta de regularidade no total de precipitações (AB’SÁBER, 2003).

A figura 1 mostra um dos rios tributários do rio Taperoá no período de janeiro de 2018, mostrando a intermitência da drenagem que perde completamente a água em seu leito nos períodos secos. Os processos erosivos fluviais podem ser observados nas margens e leitos dos rios, que não raras vezes sofrem um aumento brusco de vazão em períodos úmidos.



Figura 1: Rio tributário do rio Taperoá em janeiro de 2018, apresentando leito completamente seco. Fonte: acervo do autor.

Neste contexto, a Caatinga é um bioma que está sobre grande estresse hídrico e apresenta uma forte sazonalidade, sobre as características da vegetação adaptada ao clima semiárido ODUM (2001) discorre que “contém folhosas de pequena dimensão, de madeira densa, com frequência bizarramente retorcida e espinhosas; as folhas são pequenas e caem durante a estação seca”.

Contudo o que ODUM (2001) chama de estações secas, na verdade são períodos secos, já que não há um padrão cíclico de duração e frequência bem marcados. Isto ocorre pelo fato de fatores climáticos regionais estarem associados com fenômenos globais, como o El Niño, vulcanismo e dipolo atlântico que influenciam a ocorrência, duração e frequência das secas no semiárido brasileiro (MELO, 1999).

Sobre esta relação, pode-se dizer que

existe uma relação direta de causa e efeito entre o fenômeno El Niño e as secas no Nordeste do Brasil, pelo menos no prolongamento do período seco além do normal. A mudança anômala na circulação da atmosfera superior e a consequente alteração na dinâmica dos centros de altas e baixas pressões, bem como na modificação das células do ar atmosférico, constituem mecanismos que explicam a ocorrência das grandes secas no Nordeste do Brasil (COSTA, 2012).

Entretanto, há uma relação de um fenômeno climático global, como o El Niño, associado com efeitos climáticos locais, como a continentalidade e o efeito orográfico na composição da complexidade climática do semiárido brasileiro. (COSTA, 2012)

Secas de duração prolongadas contribuem para fluxos migratórios de saída da região semiárida, embora haja outros fatores socioeconômicos. Em meados do século XX houve um êxodo significativo de população do semiárido para cidades maiores da Região Nordeste e para o eixo Centro-Sul, devido à problemas socioeconômicos intensificados pelos períodos de seca prolongada.

Segundo o IBGE (2012) pode-se substituir o termo caatinga, do tupi-guarani, por savana-estépica, termo originalmente desenvolvido para designar uma fisionomia vegetal onde não há uma dominância de árvores, contudo, árvores arbustos e ervas estão presentes, embora o termo estepe tenha uma forte conotação climática, o que pode gerar um sentido ambíguo.

Toda esta vegetação adaptada à escassez de água está, evidentemente, em equilíbrio com o clima regional, com isto, há um equilíbrio da vegetação da Caatinga, com o clima semiárido, sendo considerado assim um clímax climático (IBGE, 2012).

Apesar da Caatinga se apresentar como um clímax climático no contexto regional, ela é bastante heterogênea, apresentando uma grande variedade fitofisionômica, que pode variar de uma vegetação rasteira e rarefeita, até uma vegetação densa com muitas árvores e arbustos. Esta heterogeneidade é derivada de diversos fatores, contudo o principal é a disponibilidade irregular de água no terreno, ou seja, locais onde há maior aporte de água subterrânea ou próxima de corpos hídricos apresentam fisionomias de Caatinga mais densas (IBGE, 2012; ODUM, 2001 e AB'SÁBER, 2003).

ANDRADE-LIMA (1981) destaca que as fisionomias menos densas de caatinga podem ser fruto da degradação decorrente da ocupação humana na região, contudo, esta hipótese ainda precisa ser melhor verificada a partir de estudos palinológicos, a fim de estabelecer a evolução da cobertura vegetal nesta região climática.

Os estudos palinológicos (pólen e esporo) sistemáticos, geralmente realizados ao longo de um testemunho de sondagem, podem levar a reconstituição paleoflorística e, em consequência, às flutuações paleoclimáticas em diferentes fases do período Quaternário (SUGUIO, 2010).

Logo, estudos aprofundados envolvendo polens e esporos, podem elucidar tanto a evolução climática, quanto a evolução da cobertura vegetal onde hoje se encontra o semiárido brasileiro. Sendo possível inclusive, estabelecer o processo de dispersão de algumas espécies na região.

O semiárido é uma área que sofre forte pressão demográfica, já que tem um histórico de ocupação antigo, associado a atividades como o pastoreio extensivo, com a população sertaneja tradicional adaptada ao uso da Caatinga e camponeses que dependem de áreas alagadas e margem de corpos hídricos para exercerem suas atividades (AB'SÁBER, 2003). Com isto, a Caatinga tem um longo histórico de degradação, que com o crescimento de cidades no semiárido e da inserção de novas atividades econômicas na região foi intensificado, frequentemente sem uma preocupação de redução dos impactos sobre o bioma.

No Semiárido brasileiro a principal atividade econômica é a pecuária, sendo a produção agrícola limitada pelas condições climáticas. A pecuária explora principalmente a pastagem nativa e a atividade é marcada por baixa produtividade e, por ser extrativista, torna-se insustentável. As práticas da agricultura familiar no Nordeste brasileiro, associadas à pecuária, estão sendo apontadas como aceleradoras dos processos de degradação ambiental, em virtude do caráter extrativista e predatório dos recursos naturais. Este fato, aliado à pequena área da unidade de produção, tem resultado em baixos índices produtivos, perdas da renda familiar, inviabilidade econômica da atividade e incremento do êxodo rural. (GIONGO, 2011)

Do ponto de vista sociopolítico, há o desafio entre conciliar a conservação da caatinga com o desenvolvimento econômico e políticas públicas necessárias para a população do semiárido, sem que isso gere problemas ambientais que aumente a vulnerabilidade da população.

SANTOS (2011), ao falar da dificuldade dos atores das tomadas de decisão sobre políticas públicas voltadas a prevenção e mitigação de impactos ambientais nocivos à caatinga, que aumenta a vulnerabilidade da população local destaca que a:

“complexidade desta temática - constitui um problema concreto, para uma parte expressiva dos formuladores de políticas públicas para a região Nordeste do Brasil, visualizarem as conexões entre as mudanças climáticas (aridização), atividades agropecuárias (sobrepastoreio), degradação de terras (salinização), biodiversidade (extinção de espécies), fenômenos demográficos (migrações e impactos negativos na saúde) e aspectos culturais (desaparecimento da cultura de raiz) e ao modo capitalista de produção, de forma mais estrutural - sem o desenvolvimento de estudos integrados e interdisciplinares que possam

definir claramente as conexões que orientem para projeções realistas das tendências futuras do fenômeno em pauta.” (SANTOS, 2011)

Logo, o manejo da Caatinga é extremamente delicado pelos inúmeros motivos supracitados, contudo, existe uma problemática não citada pelo autor que é o aumento das taxas de erosão dos solos associados ao desmatamento e agropecuária. Esse aumento promove uma remoção de sedimentos que podem vir a diminuir a vida útil de barragens e açudes, já citado anteriormente.

Concomitante à erosão dos solos, existe o problema da salinização dos mesmos, o que pode evoluir para áreas de desertificação. A salinização ocorre a partir de um conjunto variado de processos que podem atuar de forma conjunta e complementar, entre eles a irrigação com água salobra, drenagem inadequada e altas taxas de evapotranspiração.

A salinização dos solos é um problema mais comum em áreas de clima semiárido e árido, em regiões planas ou rebaixadas, contudo, pode ocorrer em outros climas, havendo cerca de 10% das terras no planeta com este problema em algum grau, sendo muitas vezes irreversível (SENTIS, 1996).

O mecanismo de salinização dos solos é complexo, embora algumas etapas possam ser descritas. SENTIS (1996) explica que quando a água da irrigação é perdida a partir da evapotranspiração, ocorre um acúmulo de sais, presentes na água, na superfície do solo, e como em regiões áridas e semiáridas não há excessos de chuva para lixiviar esse acúmulo de sais, a tendência é cada vez um maior acúmulo. O mesmo autor enfatiza o papel da drenagem, seja natural ou artificial, na prevenção deste fenômeno, já que uma boa drenagem evitará o acúmulo de sais na superfície, visto que serão carreados para as mesmas, ou para camadas mais profundas do solo.

SENTIS (1996) também destaca outro processo causado pela má drenagem na irrigação destes solos, que é a ressalinização, causada pelo retorno de sais lixivados para camadas mais profundas do solo, para a superfície, além disto, sais, nas mais diversas concentrações estão sempre presentes na água para irrigação.

Neste contexto, o uso de água salobra, ou seja, com concentrações elevadas de sais, para irrigação no semiárido brasileiro é comum, já que muitas vezes a água é obtida através de poços ou açudes, que podem conter uma concentração elevada de sais.

Logo, a irrigação constante com água salobra, associado a altas taxas de evapotranspiração e drenagem inadequada, causa acúmulo de sal no solo, já que as altas temperaturas favorecem a evapotranspiração do solvente (água) e a concentração do soluto (sais).

Quando o acúmulo de sais chega a uma determinada concentração se torna tóxico para a maior parte dos vegetais. Isto gera uma retroalimentação positiva, já que cada vez haverá menos vegetação recobrando o solo, que ao se tornar cada vez mais exposto e mal drenado, e conseqüentemente ficará mais susceptível à erosão e ao sol, que causará um aumento de temperatura do mesmo, o que a longo prazo tende evoluir para núcleos de desertificação.

Contudo os solos desta região apresentam uma boa fertilidade natural (AB'SÁBER, 2003), também resultado de um fraco intemperismo químico, ou seja, os nutrientes não são lixiviados do solo com a facilidade que ocorre em áreas tropicais, por exemplo.

Recentemente, frente às discussões sobre mudanças climáticas e a possível influência humana no clima global, através da emissão de gases estufa, associados aos tratados internacionais de sequestro e emissão de CO₂, trouxe a tona o debate sobre o papel dos ecossistemas no sequestro de carbono.

GIONGO (2011) discute a fundo o papel da caatinga no sequestro de carbono, assim como as emissões de gases estufa ocasionados pela degradação deste bioma. O autor também faz uma reflexão sobre a relação dos solos da caatinga com o sequestro de carbono, neste contexto, a degradação dos solos pode ter uma dimensão climática.

2. Paisagem

Segundo CHISTOFOLETTI (1999, pg.38) “o uso do termo paisagem está relacionado com a palavra italiana *paesaggio*, introduzida a propósito de pinturas elaboradas a partir da natureza, durante a Renascença” e o significado desta palavra seria literalmente “o que se vê no espaço”.

O conceito de paisagem é muitas vezes impreciso e confuso, sendo definido de diversas formas, com isso

‘paisagem’ é um termo pouco usado e impreciso, e por isto mesmo, cômodo, que cada um utiliza a seu bel prazer, na maior parte das vezes anexando um qualificativo de restrição que altera seu sentido. (BERTRAND, 2004)

Sobre estas alterações de sentido, CAVALCANTI (2014) discute os termos paisagem natural e paisagem cultural, sendo o primeiro utilizado para indicar paisagens com pouca ou nenhuma intervenção humana e o segundo paisagens alteradas pela ação humana. O autor destaca que a aplicação destes termos pode ser problemática, já que toda paisagem natural da Terra pode ser considerada uma paisagem cultural em certa medida, já que mesmo uma paisagem natural extremamente bem preservada já está apropriada por “meios físicos, políticos ou culturais” pela sociedade.

Contudo, TROLL (1997) salienta que o conceito de paisagem é de extrema importância para o geógrafo moderno, já que como tal, é esperado dele ser capaz de explicar uma paisagem. Sobre a relação deste conceito com a geografia o mesmo autor discorre que

hoje em dia o conceito de “paisagem” está presente na ciência e na arte. Porém, somente a geografia deu ao seu uso um valor científico, transformando-o em eixo de toda uma teoria de investigação. (TROLL, 1997, pg. 2)

Diversas correntes geográficas definiram o conceito de paisagem de formas distintas, a fim de adaptar o conceito a uma metodologia aplicável a esta área da ciência, algumas correntes se aproximaram de uma abordagem sensorial, onde a paisagem seria o que é percebido pelo indivíduo do ambiente a sua volta, neste contexto paisagem é:

Tudo aquilo que nós vemos, o que nossa visão alcança. Esta pode ser definida como o domínio do visível, aquilo que a vista abarca. Não é formada apenas de volumes, mas também de cores, movimentos, odores, sons, etc. (SANTOS, 2008, pg 67 e 68)

Em complemento, SANTOS (2008) ressalta que a paisagem é um acúmulo de tempos, um conjunto de formas, fragmentos de maneiras distintas de construção do espaço e de produção, logo, “a paisagem é um conjunto heterogêneo de formas naturais e artificiais” (SANTOS, 2008, pg.74).

Com o surgimento da Teoria Geral dos Sistemas, desenvolvida pelo biólogo Bertalanffy, houve um forte interesse por diversos campos da ciência, que assimilaram e aplicaram esta teoria aos seus objetos de estudo, e isto não foi diferente com a Geografia, que mesclou esta teoria ao conceito de paisagem. A ideia de BERTALANFFY (1968) que os sistemas estão presentes em toda parte, e que o todo tem resultados próprios diferentes do que a simples soma de todas as partes, modificou radicalmente a metodologia

aplicada por alguns geógrafos na análise de paisagem, assim como modificou a definição deste conceito.

SAUER (1925, pg. 300) discorre que a estrutura e funções da paisagem “são determinadas por formas integrantes e dependentes”. Logo, “se trata de uma interdependência entre esses diversos constituintes, e não de uma simples adição” (CHISTOFOLETTI, 1999, pg. 39).

Sob esta perspectiva, a paisagem se torna produto da interação sistêmica dos diversos fatores que cointeragem na superfície terrestre, e é moldada através do fluxo de energia e interação entre eles, como é vastamente analisado e discutido por CHISTOFOLETTI (1999).

BERTRAND (2004) discorre da importância da escala para o estudo das paisagens e como os dois conceitos estão intimamente relacionados. Com isto o autor propõe uma divisão das paisagens em seis unidades de análise, em ordem decrescente de escala cartográfica teremos as seguintes unidades: zona, domínio, região natural, geossistema, geofáceis e geótopo. A zona representa a maior unidade em área da paisagem, enquanto o geótopo representa a menor.

Essas unidades propostas limitam os fatores que influenciam a fisionomia das unidades paisagísticas, enquanto uma zona é influenciada por um clima zonal planetário, por exemplo, os geótopos são influenciados por microclimas como detalha Bertrand (2004). Neste caso um geossistema é

uma unidade dimensional compreendida entre alguns quilômetros quadrados e algumas centenas de quilômetros quadrados. É nesta escala que se situa a maior parte dos fenômenos de interferência entre os elementos da paisagem e que evoluem as combinações dialéticas mais interessantes para o geógrafo. Nos níveis superiores a ele só o relevo e o clima importam e, acessoriamente, as grandes massas vegetais. Nos níveis inferiores, os elementos biogeográficos são capazes de mascarar as combinações de conjunto. Enfim, o geossistema constitui uma boa base para os estudos de organização do espaço porque ele é compatível com a escala humana. (Bertrand, 2004)

O geossistema como unidade de análise da paisagem permite um nível de detalhe satisfatório para identificar heterogeneidades e discontinuidades em uma escala onde as variáveis não se tornem excessivamente numerosas, complexas e difíceis de mensurar para uma compreensão de delimitação destas unidades, principalmente no que envolve a cartografia da paisagem. Com isso

o geossistema corresponde a dados ecológicos relativamente estáveis. Ele resulta da combinação de fatores geomorfológicos (natureza das rochas e dos mantos superficiais, valor do declive, dinâmica das vertentes...), climáticos (precipitações, temperatura...) e hidrológicos (lençóis freáticos epidérmicos e nascentes, pH das águas, tempos de ressecamento do solo...). (BERTRAND, 2004)

O geossistema apresenta um potencial ecológico, que são as condições ambientais que poderão ser exploradas pela biota, além disso há a ação antrópica nesta rede de interações, todos estes fatores juntos resultam no geossistema, como pode ser visto na figura 2.

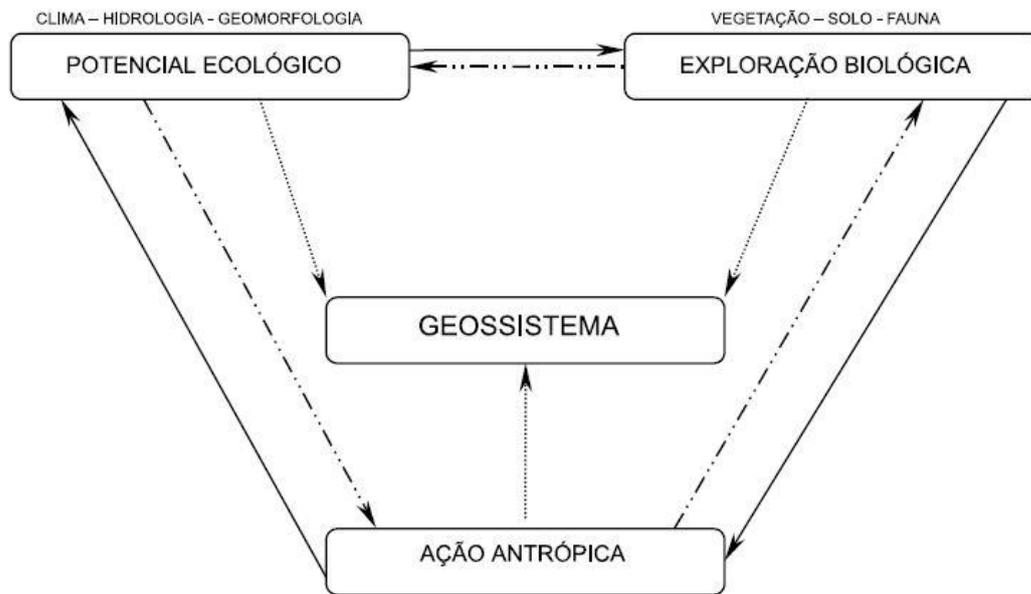


Figura 2 - Esboço de uma definição teórica de geossistema. (BERTRAND, 2004)

Visto isso, o fluxograma proposto por BERTRAND (2004) como uma definição teórica de geossistema, permite que seja percebido que é possível entender e modelar para diversos fins as relações entre a “ação antrópica”, “potencial ecológico” e “exploração biológica” para chegar em seu resultado último que é o “geossistema”, uma unidade de análise da paisagem. Sendo assim, pode-se concluir que ao se identificar as variáveis, condições e relações principais que são necessárias para resultar em um determinado geossistema, observando neste caso o próprio geossistema, será possível fazer o caminho inverso, ou seja, sem observar o geossistema, mas somente tendo acesso às relações que o formam, prever quais os possíveis geossistemas resultantes. Estas relações são importantes para o uso da metodologia de análise de imagem conhecida como GEOBIA (Geographic-Object-Based Image Analysis) que será abordada em detalhes mais adiante.

Neste contexto a paisagem é dinâmica, ou nas palavras de Santos (2008, pg.74) “a paisagem não é dada para todo o sempre, é objeto de mudança” e por este motivo é importante o conhecimento das partes integrantes de uma paisagem a fim de entender como ela evolui, para planejar intervenções na mesma ou para modelar as suas características a fim de entender a resposta do sistema ao ser submetido a distúrbios.

3. Bacia Hidrográfica

Bacias hidrográficas são muitas vezes confundidas com bacias sedimentares, o que nem sempre é verdade, já que a primeira se relaciona com a drenagem do terreno, enquanto a segunda está estritamente ligada à deposição de sedimentos. Apesar de haverem áreas da bacia hidrográfica onde sedimentos são depositados, ela envolve muitos outros elementos.

Na definição de Wicander e Monroe (2009, pg.279 e 280) uma bacia hidrográfica é um sistema de drenagem composto por rios ou outro sistema de escoamento separado por divisores de água, que são áreas topograficamente elevadas que delimitam as fronteiras entre uma bacia e outra. Grotzinger e Jordan (2013, pg.510) seguem a mesma linha, dizendo que

“toda elevação entre dois rios, quer meça poucos metros ou milhares, forma um divisor de águas – uma crista ou terreno alto de onde toda água da chuva escoar, para um ou outro lado. Uma bacia hidrográfica é uma área do terreno limitada por divisores que vertem toda sua água para a rede de rios que drenam. A bacia hidrográfica pode ter uma área pequena, como de uma ravina ao redor de um pequeno riacho, ou pode ser uma grande região drenada por um rio principal e seus tributários.”

Para fins metodológicos, pode-se dizer que “as bacias hidrográficas enquanto células básicas de análise ambiental se constituem como excelentes unidades de gestão e planejamento, possibilitando avaliar de modo integrado às ações humanas sobre o ambiente e seus desdobramentos sobre o equilíbrio hidrológico, por exemplo.” (ALMEIDA *et al.*).

Sendo assim, o mapeamento do uso e cobertura e unidades paisagísticas de uma bacia hidrográfica tem papel importante na análise geográfica sistêmica, já que dentro do recorte da bacia torna-se possível uma análise sistêmica futura mais consistente, onde os *inputs* e *outputs* de energia e matéria são mais facilmente observados, devido à

disponibilidade de dados, sobretudo climáticos, já que representam os mais importantes *inputs* de energia e água.

Além disto, as bacias hidrográficas são utilizadas como unidades de gestão por diversos órgãos do governo, como é o caso dos Comitês de Bacias Hidrográficas, com isto, elas se tornam um recorte delimitado por características físicas, mas que tem uma forte dimensão política, onde tomadas de decisão e planejamento, assim como a gestão de recursos hídricos são feitas.

Logo, as bacias hidrográficas são palco de conflitos políticos cada vez mais frequentes, o que associado com a sua dimensão física e de unidade de análise pode facilitar a comunicação com os mais diversos atores da sociedade, e quiçá abreviar a solução de alguns destes conflitos, integrando cada vez mais o conhecimento científico às políticas de gestão ambiental.

4. Escala Cartográfica e Escala Geográfica

Há muito se sabe que a escala é um problema, não só para a Geografia, mas para todas as ciências, como é amplamente discutida por CASTRO (1995). No mesmo texto, a autora enfatiza que “tão importante como saber que as coisas mudam com o tamanho, é saber exatamente o que muda e como”. Logo, os fenômenos devem ser vistos dentro da sua escala de análise e observação.

“A escala cartográfica vem ser um fator determinante para a delimitação do espaço físico, grau de detalhamento de uma representação ou identificação de feições geográficas, uma vez que a própria percepção espacial depende da amplitude da área de estudo. Essa amplitude é definida pelas dimensões lineares da área no terreno e na representação. Desta forma existe uma razão matemática, topográfica e métrica associada à escala cartográfica, o que não significa que ela responde unicamente por suas propriedades matemáticas. Com a escala cartográfica, a informação geográfica poderá ser visualizada segundo diferentes níveis de detalhamento.” (MENEZES & FERNANDES, 2013, pg. 49 e 50)

Há também a escala geográfica, que diferentemente da escala cartográfica diz respeito à amplitude de um fenômeno no espaço, não sendo, a princípio, uma relação matemática. Sendo assim, enquanto a escala cartográfica é representada em forma de fração, e apresenta uma relação de redução proporcional do mundo real e sua representação, a escala geográfica apresenta a abrangência de um fenômeno. Alguns exemplos de escala geográfica são escalas locais, globais ou regionais, significando respectivamente que o fenômeno tem abrangência local, global ou regional. (MENEZES & FERNANDES, 2013)

Logo, o mesmo fenômeno pode ser analisado de forma multiescalar. O primeiro ponto que deve ser percebido com a mudança da escala cartográfica, ou seja, da escala do ponto de vista estritamente matemático, é o tamanho dos objetos que podem ser representados. Isto implica no nível de detalhe, ou seja, quanto maior a escala cartográfica, mais detalhes da superfície terrestre poderá ser representado. Isto não significa que uma representação cartográfica em uma escala grande seja mais realista ou próxima da realidade, na verdade isto só modifica como o fenômeno será visto, já que o que será representado em um mapa depende da escala, do fenômeno e de quem está elaborando-o. Como é amplamente detalhado por MENEZES & FERNANDES (2013), a representação cartográfica é uma abstração e simplificação do mundo real em modelos de representação.

“A noção de escala é inseparável do estudo das paisagens” (BERTRAND, 2004), logo do ponto de vista da cartografia de paisagens, quanto maior a escala cartográfica, mais detalhes desta paisagem poderá ser representado, logo, fragmentos que antes não eram possíveis de ser representados poderão ser. Isto implica numa possibilidade de reduzir o nível de generalização utilizado. Neste aspecto, novas classes podem ser criadas e representadas, como por exemplo novas classes fitofisionômicas de um determinado bioma, como é o caso da Caatinga.

Contexto da Bacia Hidrográfica do Rio Taperoá

A bacia hidrográfica do rio Taperoá, é considerada uma das sub-bacias do Rio Paraíba, apesar do conceito de sub-bacias hidrográfica ser criticado por alguns pesquisadores. Isto quer dizer que a bacia do rio Taperoá é uma bacia menor, contida na bacia do rio Paraíba.

A Figura 3 apresenta o mapa de distribuição dos biomas brasileiros segundo o IBGE. Nela observa-se que a bacia hidrográfica do Rio Taperoá, em vermelho, está totalmente inserida no bioma Caatinga. Através da Figura 3 também é possível visualizar a extensão e localização dos outros biomas que compõe o território brasileiro, assim como as fronteiras que separam um dos outros, mesmo que estas, na realidade, não sejam tão bem definidas.

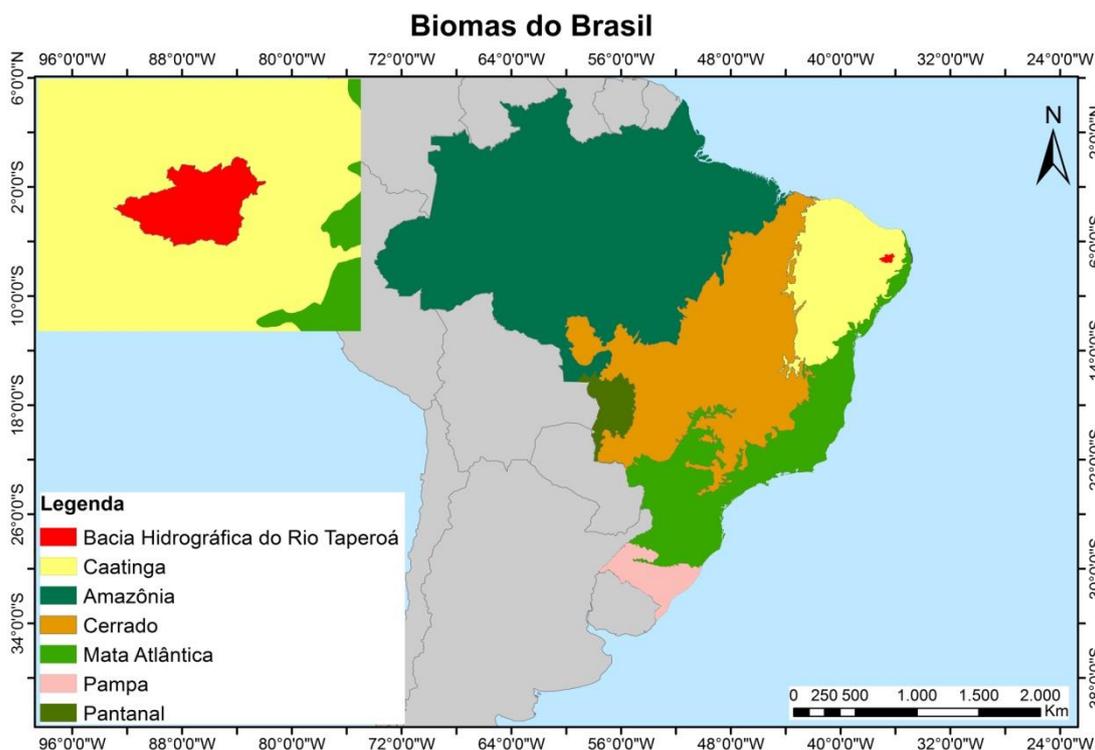


Figura 3: Biomias do Brasil e Baía Hidrográfica do Rio Taperoá. Fonte: adaptado do IBGE.

Como este mapa de biomas brasileiros é regional, o nível de generalização é alto, logo, vale ressaltar que existem, não raras vezes, enclaves de outros biomas no interior dos grandes biomas mapeados, como é citado por AB'SÁBER (2003). Isto reforça a ideia de que os biomas são heterogêneos, além de existir diversas faixas de transição entre eles, variando de dimensão e forma (AB'SÁBER, 2003).

O posicionamento da bacia no estado da Paraíba, assim como os municípios inseridos totalmente ou parcialmente na bacia, podem ser vistos no Figura 4. No total são vinte e oito municípios que estão completamente ou parcialmente inseridos na mesma. Estes municípios são Assunção, Barra de Santa Rosa, Boa Vista, Cabacaeiras, Cacimba de Areia, Cacimbas, Campina Grande, Cubati, Desterro, Gurjão, Juazeirinho, Junco do Seridó, Livramento, Olivedos, Parari, Pocinhos, Salgadinho, Santo André, São Domingos do Cariri, São José dos Cordeiros, Seridó, Serra Branca, Soledade, Sumé, Taperoá, Teixeira e Tenório.

O somatório da população destes municípios segundo o censo de 2010 (IBGE) é de 596.838 habitantes. Esse número relativamente alto de habitantes na área da bacia e em seu entorno imediato, causa uma demanda por recursos, principalmente por água. Isto

exige um esforço no sentido de planejamento de infraestrutura e políticas públicas envolvendo esta área.



Figura 4: Divisão municipal da Bacia Hidrográfica do Rio Taperoá. Fonte: adaptado do IBGE.

Outro ponto importante é a proximidade com Campina Grande, município populoso, com 355.014 habitantes (IBGE, 2010), que apesar de ter uma pequena extensão em área dentro da bacia hidrográfica, é o município que compõe a maior região metropolitana do interior do Nordeste (SEABRA *et al*, 2014).

É na saída da bacia hidrográfica do rio Taperoá, na confluência com o Rio Paraíba que há o Açude Epitácio Pessoa, também conhecido como Açude do Boqueirão, responsável pelo abastecimento de água de toda esta região metropolitana. Isto amplia a importância de estudos na área, já que alterações na cobertura vegetal afetam fortemente a hidrologia de um local, principalmente no que tange a taxa de produção de sedimentos, e consequentemente de assoreamento, e conservação de nascentes.

O Açude Epitácio Pessoa, assim como outros açudes de grande importância no abastecimento de água para irrigação, consumo humano, pecuária e piscicultura podem ser observados no figura 5. Diversos açudes não estão presentes no mapa, já que há dezenas de açudes menores na bacia.

Açudes Alimentados Pela Bacia Hidrográfica do Rio Taperoá - Paraíba



Figura 5: Açudes da bacia hidrográfica do rio Taperoá. Adaptado AESA.

Ao se tratar de água subterrânea, o sistema de aquíferos predominante na área é o cristalino, havendo alguns poucos locais com sistemas sedimentares, como pode ser visto na figura 6. Isto implica em uma complicação na extração de água subterrânea para o uso doméstico e não doméstico, já que os aquíferos cristalinos tendem a terem menor disponibilidade de metros cúbicos de água, além de exigirem maior custo para a implementação de poços. Neste contexto, os açudes são a alternativas mais viáveis para o abastecimento de água na região.

Sistema de Aquíferos da Bacia Hidrográfica do Rio Taperoá - Paraíba

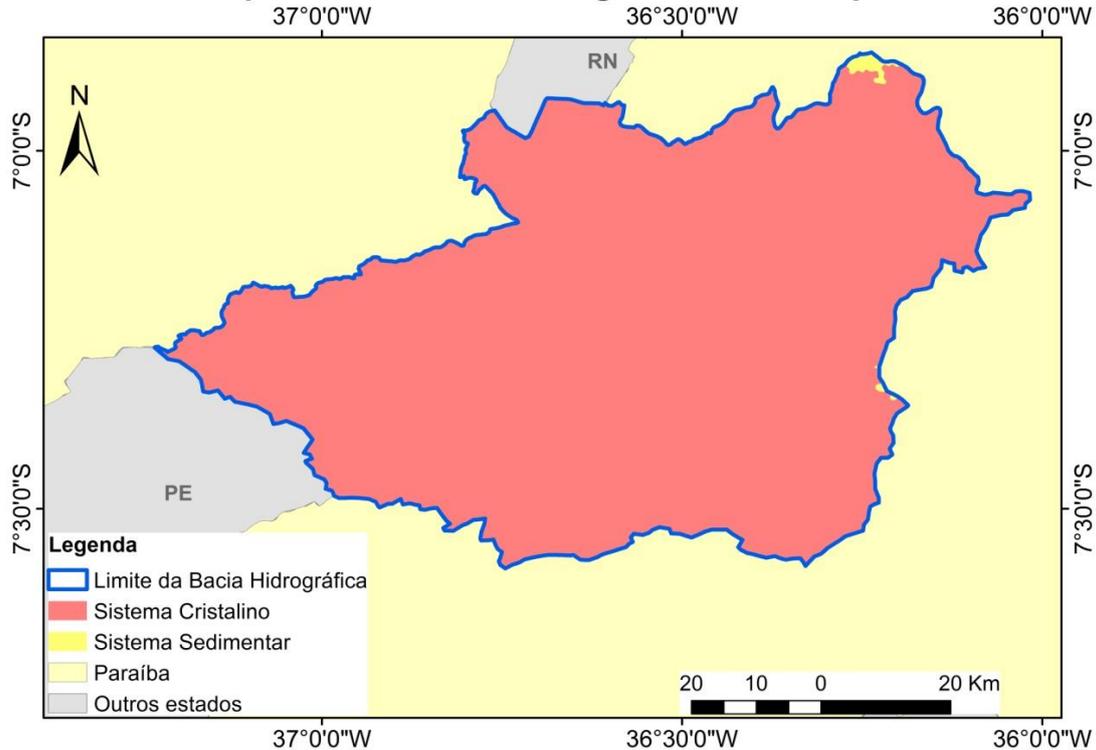


Figura 6: Sistemas de aquíferos na bacia hidrográfica do rio Taperoá. Adaptado da AESA.

Contudo, os açudes sofrem com períodos prolongados de seca, muitas vezes secando por completo, como é o caso do Açude de Soledade, mostrado na figura 7, que após um período de quase cinco anos de seca, secou completamente. Com a seca dos açudes, a população perfura poços no leito seco para extrair água dos sedimentos úmidos do leito dos açudes. A figura 7 mostra o local no mês de janeiro de 2018.



Figura 7: Açude de Soledade completamente seco. Foto tirada em janeiro de 2018. Acervo do autor.

A cidade de Campina Grande passou ao longo do tempo por um processo de verticalização, como pode ser visto na figura 8. Historicamente, a cidade cresceu devido ao comércio de algodão, que era plantado em áreas antes cobertas por caatinga, nos arredores da cidade, e era beneficiado em Campina Grande. Esta atividade econômica, muito lucrativa na época, foi um dos grandes atrativos populacionais para a cidade e impulsionou o seu crescimento.



Figura 8: Centro da cidade de Campina Grande. Fonte: Acervo do autor.

O crescimento acelerado do município de Campina Grande pode ser observado através da Tabela 1. É evidente um grande crescimento populacional ao comparar a população em 1970 e 2010. Sem dúvidas, Campina Grande é um município que exerce uma centralidade na região semiárida e em toda Região Nordeste, quiçá esta centralidade possa ser extrapolada para outras regiões do Brasil, atraindo pessoas, já que é um centro com economia dinâmica, sendo considerada um dos principais polos industriais da Região Nordeste. É o segundo município mais populoso da Paraíba, ficando atrás apenas da capital do estado João Pessoa com população de aproximadamente 720.954 mil habitantes segundo o censo de 2010 (IBGE).

Tabela 1: Contagem da população residente nos municípios de Campina Grande nos Censos Demográficos feitos a partir de 1970 (IBGE,2010).

Ano	População de Campina Grande
1970	195.303
1980	247.827
1991	326.307
2000	355.331
2010	385.213

Analisando a população de um ponto de vista regional, ou seja, observando o total da população dos municípios do semiárido da Paraíba, segundo o IBGE (2010), chega-se ao número de 2.092.400 habitantes, logo a porcentagem de pessoas residente nos municípios inseridos parcialmente ou totalmente na bacia hidrográfica do rio Taperoá é de 28,52% do total da população do semiárido paraibano, sendo uma porcentagem significativa.

Essa ocupação é refletida na paisagem, onde é observado sinais das atividades socioeconômicas atuais e pretéritas. Nas planícies é comum observar a vegetação nativa com a presença alguns indivíduos de algodão, vestígios de uma época onde era cultivado em larga escala no semiárido paraibano, sendo peça fundamental da economia nesta região por décadas.

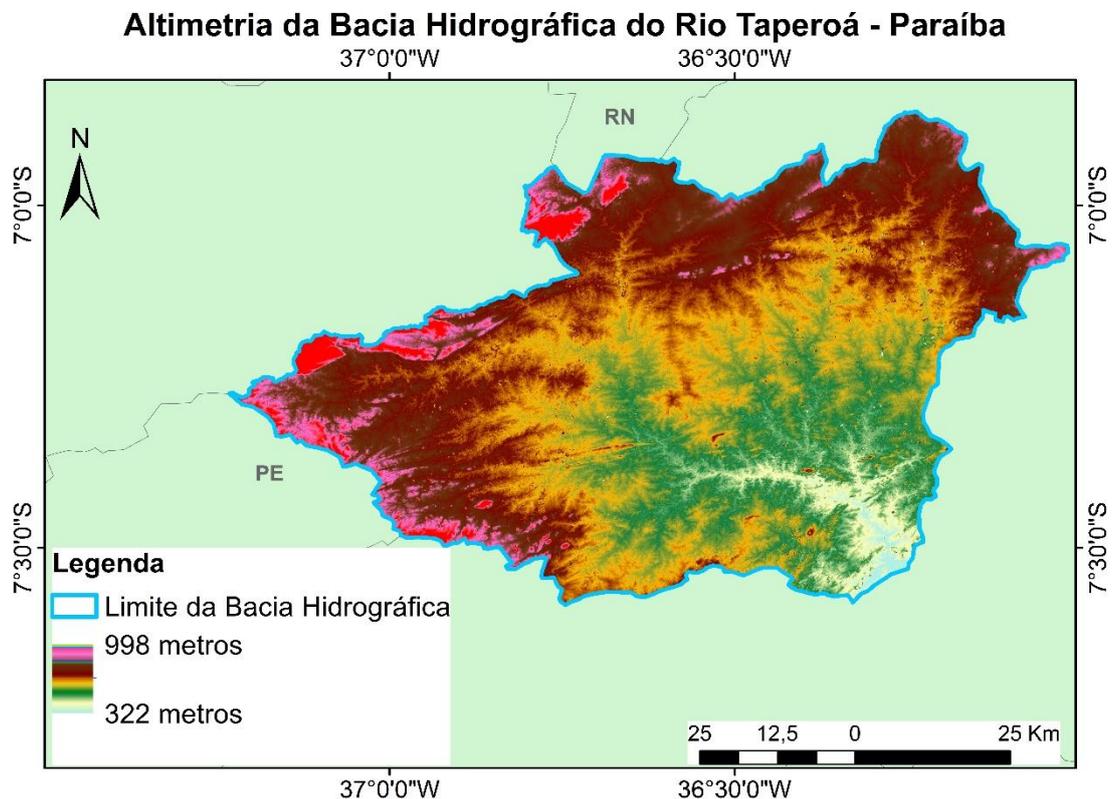


Figura 9: Altimetria da bacia hidrográfica do rio Taperoá a partir de imagens SRTM.

A topografia da bacia varia entre 322 metros e 998 metros, podendo ser visualizada na figura 9. Já a geomorfologia da bacia hidrográfica do rio Taperoá pode ser observada através da figura 10, no geral é um relevo monótono, como é comum em todo o semiárido nordestino. É uma topografia suave com grandes planícies, esculpidas por

longos ciclos erosivos que suavizaram e rebaixaram áreas mais elevadas, formando extensas planícies sedimentares (AB'SÁBER, 2003).

As serras que podem ser observadas na figura 10 podem ter diversas origens, algumas são oriundas da erosão diferencial das rochas, isto ocorre pelo fato de rochas mais susceptíveis aos intemperismos físico e químico serem erodidas mais facilmente, enquanto rochas mais resistentes persistem no relevo, gerando áreas mais elevadas.

Outras serras têm origens tectônicas e isostáticas envolvendo alguns eventos que fizeram parte da evolução da faixa móvel da Borborema, onde houve o soerguimento de diversas áreas, extrapolando os limites da bacia hidrográfica, já que são eventos visualizados e compreendidos apenas no contexto regional, não sendo o objetivo deste trabalho um detalhamento mais profundo sobre os mecanismos destes eventos ou a evolução do relevo na área de estudo.

Estas áreas soerguidas, pelos eventos anteriormente citados, passam por um período de estabilidade tectônica que se estende até os dias atuais, e desde então está submetida à processos intempéricos e erosivos, que causa o rebaixamento gradual destas áreas e a produção de sedimentos que são depositados nas grandes planícies.

Nas áreas rebaixadas, onde costuma haver a deposição de sedimentos, que com o avanço do desmatamento e outras atividades antrópicas tendem a ter cada vez mais sedimentos depositados. Estes locais são onde costumam se localizar os açudes, e o aumento das taxas de sedimentação diminuem a vida útil destes reservatórios de água assoreando-os.

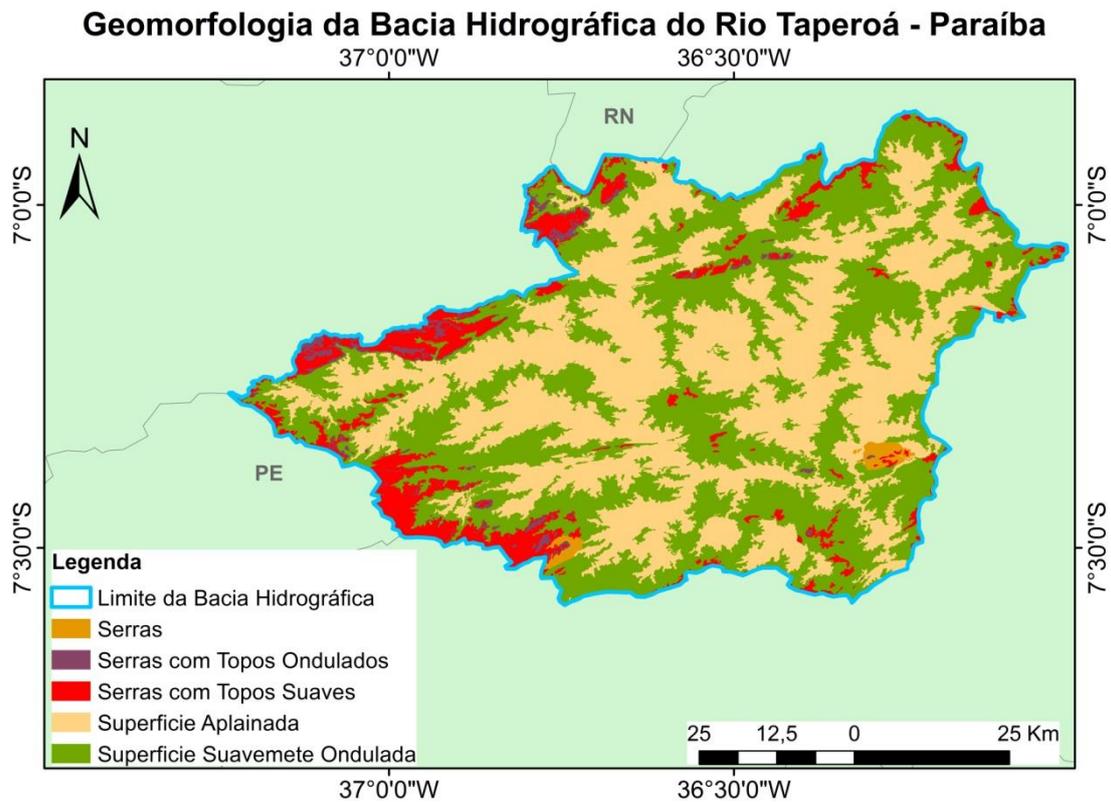


Figura 10: Geomorfologia da Bacia Hidrográfica do Rio Taperoá, adaptado de XAVIER *et al* (2014)

A topografia suave da região dificulta a delimitação dos divisores de água da bacia hidrográfica, já que não são bem marcados. Com isso, há uma divergência grande entre a delimitação da bacia entre os diferentes bancos de dados e órgãos do governo. Para isto, a delimitação apresentada neste trabalho utiliza a delimitação contida no banco de dados da UEPB.

É comum a presença de afloramentos rochosos ruiformes (figura 11a), assim como inselbergs (AB’SÁBER, 2003), estas também são formas residuais, onde rochas mais resistentes ao intemperismo e erosão resistem na paisagem. Estes afloramentos interferem na hidrologia local, já que são rochas impermeáveis que formam, não raras às vezes, verdadeiras piscinas naturais no período chuvoso, que funcionam como bebedouros de animais. É comum encontrar represamentos artificiais feitos sobre estes afloramentos (figura 11b), sendo uma das maneiras da população lidar com o estresse hídrico do período seco.



Figura 11a e 11b: À esquerda, figura 11a afloramento ruiniforme. À direita, figura 11b represa artificial construída sobre lajedo, aproveitando uma fratura natural da rocha. Fonte: Acervo do autor.

Além disto, por estas feições geomorfológicas acumularem umidade em suas bordas e fraturas, há o desenvolvimento de enclaves de vegetação típica de floresta úmida (figura 12a) ou de vegetação de caatinga de porte mais denso, formando solos com alta concentração de matéria orgânica, cobertos por serrapilheira (figura 12b). Estes solos contrastam com os solos mais comuns na caatinga, que não costumam apresentar quantidades de matéria orgânica suficiente para apresentar uma coloração enegrecida.

Este acúmulo de matéria orgânica nas bordas, fendas e fraturas dos lajedos se deve a vegetação de grande porte localizada nestes locais, contudo há também uma contribuição da vegetação de baixo porte, dominada por bromeliáceas e cactáceas, localizada sobre os lajedos, que ao morrerem são carreadas para os enclaves.



Figuras 12a e 12b: À esquerda, figura 12a, enclave de vegetação típica de floresta úmida em borda de afloramento, pessoa de 1,74m como escala de referência, Lajedo do Bravo. À direita, figura 12b, solo rico em matéria orgânica e serrapilheira em borda de lajedo, escala caderneta de campo. Fonte: acervo do autor.

Existem alguns sítios paleontológicos e arqueológicos, e áreas de interesse geológico (também chamadas de geossítios) no interior da bacia. Uma das principais áreas é o

Lajedo do Bravo (figura 13a), onde se encontram vestígios de diversos grupos humanos através de escrituras rupestres, artefatos ritualísticos e ossadas, indicando uma ocupação da região anterior à iniciada a partir da colonização portuguesa. No mesmo local se encontram fósseis da megafauna pleistocênica, como preguiças gigantes, concentrados principalmente no interior das fendas dos afloramentos.

Além disto, há uma quantidade considerável de troncos fósseis retirados de algumas minerações, que muitas vezes são descartados às margens de estradas ou se transformam em peças decorativas (figura 13b).



Figura 13a e 13b: A esquerda (figura 13a) matacões com inscrições e pinturas rupestres na localidade do Lajedo do Bravo. A esquerda (figura 13b), tronco fossilizado retirado de uma área mineradora.

A Figura 14, por ser uma carta-imagem, ajuda a visualizar a complexidade da área de estudo, que engloba aspectos físicos, sociais e políticos. Onde os limites inferiores e superiores da bacia coincidem com os limites políticos entre os estados de Pernambuco e Rio Grande do Norte. O fora da bacia, na parte inferior direita se encontra o Açude do Boqueirão, ou Açude Epitácio Pessoa.

Bacia Hidrográfica do Rio Taperoá - Paraíba

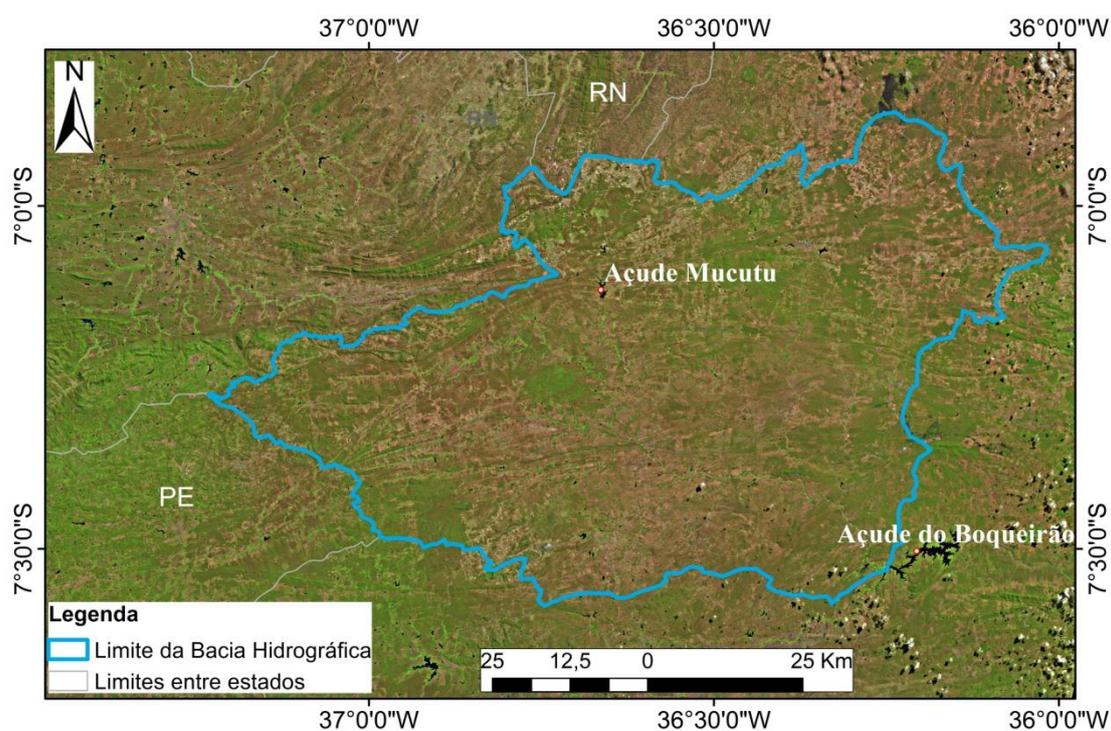


Figura 14 – Cena de imagem orbital do ano de 2014 da bacia hidrográfica do Taperoá.

A maior parte das áreas escuras em tons negros na figura 13, quando não são sombras de nuvens, são açudes, é possível notar como são abundantes dentro e fora da bacia, como pode ser observado nas figuras 18 e 19.

A Figura 14 também deixa claro como são sutis as diferenças paisagísticas que podem ser observadas através da imagem orbital no interior da bacia hidrográfica do Rio Taperoá, não havendo nenhum grande corpo hídrico ou grandes diferenças, a priori, no aspecto da vegetação, por exemplo, são estes detalhes que aumentam a dificuldade de mapeamento da vegetação e unidades de paisagem nesta e em outras áreas de clima semiárido.

Já que a área da bacia hidrográfica do Rio Taperoá encontra-se completamente inserida em área bioma Caatinga, e conseqüentemente se localiza no semiárido brasileiro, onde há uma baixa pluviosidade anual, como pode ser observado na Figura 15, as características climáticas e hidrológicas da bacia são muito particulares. Todas estas características influenciam diretamente a dinâmica da bacia, onde há períodos em que o leito de alguns rios encontram-se completamente secos, enquanto outros canais de drenagem só se tornam ativos em períodos de pluviosidade extrema. Sendo assim, não há rios perenes

na bacia hidrográfica do Rio Taperoá, ou seja, todos os rios são temporários ou intermitentes.

São estas condições extremas, na qual a vegetação de Caatinga está adaptada, que confere todas as variedades paisagísticas e fitofisionômicas da área de estudo, entretanto, são estas mesmas características que tornam esse sistema extremamente sensível aos distúrbios por estar em constante stress hídrico sazonal, contudo o desmatamento e consequentemente a degradação de solos, e assoreamento de corpos hídricos decorrente desta prática, alteram muito estas dinâmicas.

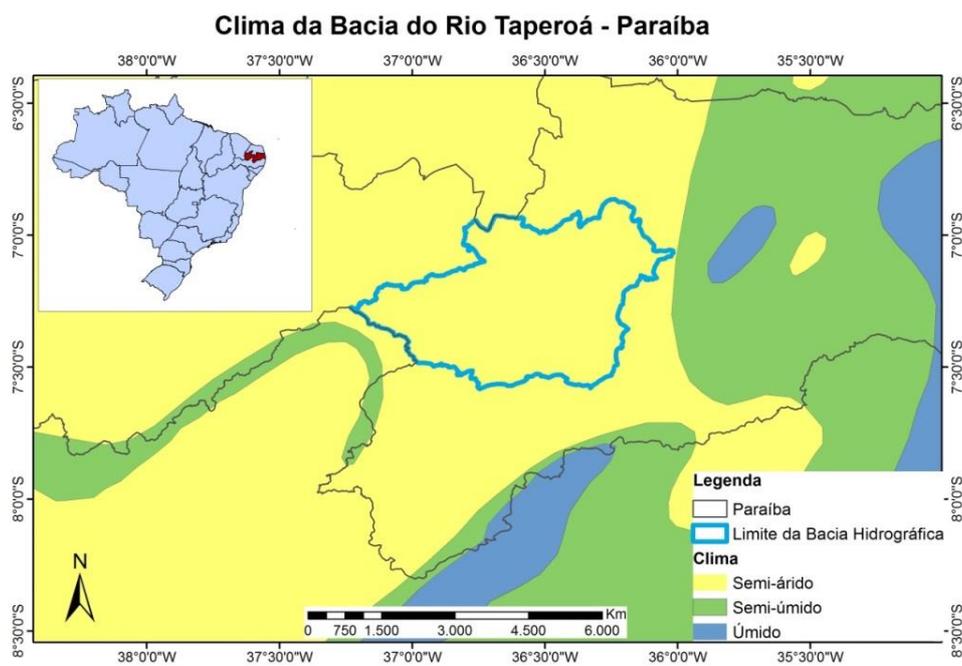
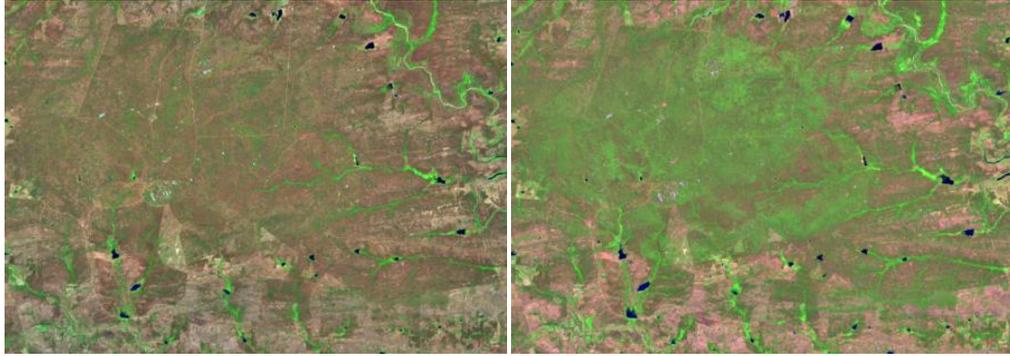


Figura 15 - Clima da bacia do Taperoá. Fonte: Dados físicos do IBGE

Como já foi discutido anteriormente, a Caatinga é um bioma que apresenta forte sazonalidade, um exemplo disto pode ser visto nos recortes de imagens orbitais Landsat 8 de uma área dentro da bacia hidrográfica do rio Taperoá contidos nas figuras 16a e 16b. Fica evidente, até para olhos destreinados e não acostumados com imagens orbitais, a grande diferença de resposta da vegetação entre o período seco, à esquerda, e o período úmido, a direita.



Figuras 16a e 16b: Recorte de imagens Landsat 8 da bacia hidrográfica do rio Taperoá, a esquerda (figura 16a) o período seco, a direita (figura 16b), o período úmido.

Além disto há alguns detalhes interessantes a serem observados nas figuras 16a e 16b: o primeiro é como a vegetação se destaca as margens dos corpos hídricos, principalmente rios intermitentes, que mesmo secos, tem suas margens cobertas por uma vegetação nitidamente mais densa que o entorno, muitas vezes composta por espécies cosmopolitas, como a algaroba (*Prosopis juliflora*).

Essa vegetação acaba delimitando algumas das drenagens mesmo sem a presença de água no leito delas, apesar de poder haver a presença de água em subsuperfície. Outro detalhe interessante é a quantidade de corpos hídricos em forma de pequenos lagos que estão localizados eventualmente no curso das drenagens intermitentes, que são represas artificiais criadas para a armazenagem de água, seja para consumo doméstico, seja para irrigação, pecuária e piscicultura.

Dentre as atividades socioeconômicas existentes na bacia do rio Taperoá, é muito marcante na paisagem a presença de minerações, pecuária de caprinos e o cultivo de algaroba e palma forrageira. O plantio de palma e algaroba está relacionado à alimentação animal, apesar da algaroba ser utilizada para uma infinidade de atividades, como construção civil, lenha e carvão.

Existem algumas minerações de pequeno a médio porte no interior da bacia. Algumas destas cavas de mineração não são legalizadas, mantendo relações de trabalho análogas à escravidão. Dentre os minérios explorados na região está o quartzo, feldspato e bentonita, além de pedras semipreciosas e preciosas.

As figuras 17a e 17b mostram duas áreas de mineração na bacia hidrográfica do Rio Taperoá, ambas são regulamentadas. Contudo, existem outras não legalizadas que além de descumprirem as leis de exploração mineral, descumprem leis ambientais e

trabalhistas, gerando forte impacto social e ambiental, apesar de geralmente serem de porte muito pequeno para não levantar suspeitas.



Figura 17a e 17b: À esquerda, mineração de feldspato (figura 17a). À direita, cava de mineração de bentonita, escala carro ao fundo (figura 17b). Fonte: Acervo do autor.

A presença de indivíduos e comunidades de algaroba é uma característica marcante na paisagem, principalmente em margens de corpos hídricos e em regiões mais rebaixadas, onde há maior umidade. A algaroba é uma planta introduzida, contudo muito resistente às características climáticas do semiárido, logo, consegue se manter verdejante em períodos de extrema seca, além disto, seu porte muitas vezes destoa da vegetação nativa, havendo indivíduos maiores que quatro metros de altura, dossel denso e tronco espesso.

A algaroba foi introduzida no semiárido como uma alternativa para alimentação do gado e para madeira de corte, sendo frequente o uso da madeira proveniente desta espécie para a construção civil e lenha, já que como citado anteriormente, esta espécie atinge tamanhos consideráveis mesmo sob estresse hídrico. Um caminhão carregado de madeira proveniente de algaroba pode ser observado na figura 18.



Figura 18: Caminhão carregado de trocos de algaroba (*Prosopis juliflora*). Fonte:Acervo do autor.

A inserção de espécies adaptadas ao clima seco é longo, através de políticas de objetivando o reflorestamento, com a finalidade de diminuir os efeitos da seca. A inserção da algaroba data de 1922, contudo, também houve a inserção da palma forrageira em 1877, tamareira na década de 1910, entre outras espécies (MELO, 1999).

A palma forrageira é muito utilizada para a alimentação do gado, sendo muito comum na área terrenos plantados com a esta espécie. Além de ser uma planta resistente ao estresse hídrico e apresentar alto teor de água para os animais, ela é facilmente multiplicada a partir de fragmentos de seus ramos. Na figura 19 é possível observar uma área cultivada com palma forrageira objetivando a alimentação de caprinos.



Figura 19: Plantio de palma forrageira utilizada para a alimentação de caprinos. Fonte: acervo do autor.

Capítulo 1: Tipologias de caatinga: uma revisão em apoio a mapeamentos através de sensoriamento remoto orbital e GEOBIA

1. Introdução

O clima semiárido ocupa a porção central da Região Nordeste do Brasil, estando relacionado a um bioma completamente adaptado a este regime climático, denominado Caatinga. A área é caracterizada por uma forte escassez hídrica, apresentando precipitações anuais entre 350mm a 600mm, embora essas precipitações sejam irregulares e variem anualmente, havendo anos mais secos e anos com precipitações que podem causar inundações (AB'SÁBER, 2003). A palavra Caatinga é de origem Tupi-Guarani que significa “mata branca” e é usada tanto no senso comum quanto de forma científica (ANDRA-DE-LIMA, 1981; PRADO, 2003).

A oscilação da disponibilidade hídrica no semiárido brasileiro, torna a vegetação da caatinga extremamente dinâmica e sazonal, onde em períodos secos a vegetação perde quase completamente suas folhas, enquanto em períodos úmidos a vegetação apresenta aspecto verdejante.

O histórico de ocupação da caatinga é longo. Quase toda a área do bioma é ocupada de forma rarefeita, tendo as maiores concentrações populacionais nos vales de rios que permitem o desenvolvimento mais expressivo da agricultura por serem as áreas mais úmidas (ANDRADE-LIMA, 1981; AB'SÁBER, 2003). Contudo, outras áreas mais secas também são utilizadas desde o início do processo de ocupação para agricultura e pastagens. AB'SÁBER (2003) ressalta que a caatinga é a área semiárida com maior total populacional no mundo.

A Caatinga é um bioma exclusivamente brasileiro, e apesar de haver outros biomas adaptados ao clima semiárido no mundo é o que apresenta maior biodiversidade. No Brasil é um dos biomas menos conhecidos e estudados (LEAL et al. 2003), o que favorece um cenário de desinformação, dificultando ações de manejo sustentável e preservação, principalmente no que tange à preservação de solos, que são muito sensíveis por serem predominantemente rasos (AB'SÁBER, 2003; PRADO, 2003).

Um dos grandes desafios atuais para a gestão ambiental do semiárido brasileiro envolve um esforço em evitar o avanço e o surgimento de núcleos de desertificação, citados e estudados por autores como LEAL et al. (2003), DUARTE (2008) e LIMA (2010).

Também é importante salientar que a vegetação tem um papel importantíssimo para a mitigação deste problema, assim como para a preservação e manutenção dos recursos hídricos, sendo parte indispensável do ciclo hidrológico.

A importância socioeconômica da Caatinga é imensurável, já que existe toda uma população ligada economicamente e culturalmente ao bioma, além do potencial turístico do semiárido do Brasil ainda explorado de forma incipiente.

2. Dificuldades técnicas para o mapeamento de Caatinga através de sensoriamento remoto orbital

O mapa é uma ferramenta fundamental no planejamento e gestão de recursos humanos e naturais sendo, portanto, fundamental focar na sua produção, buscando meios de melhor qualificar a informação espacial, garantindo a sua exatidão e detalhamento temático.

O uso do sensoriamento remoto orbital no mapeamento da vegetação é antigo e bastante explorado, apesar de apresentar ainda muitos desafios. As principais vantagens do uso de imagens orbitais em apoio ao mapeamento temático envolvem o custo das imagens, a variedade de opções existentes, a percepção sinótica e a conjugação de soluções para atendimento de demandas relativas à abrangência e detalhamento. Essa alternativa ainda é mais atraente quando é viável a utilização do acervo de imagens e softwares gratuitos disponíveis. A geração de mapas temáticos de uma forma em geral está muito vinculada a produtos imagéticos que possibilitam, entre outros fatores, a redução de trabalhos de campo. Desta forma, frente à necessidade de velocidade na produção cartográfica, da abrangência de grandes extensões e da cobertura de áreas de difícil acesso, as imagens orbitais passam a ser, muitas vezes, consideradas imprescindíveis.

Deve-se considerar ainda a necessidade de monitorar a cobertura terrestre, principalmente a vegetal. Cada vez mais tem sido possível mensurar a supressão e a recuperação de áreas vegetadas em intervalos de tempo menores, considerando a crescente resolução temporal ofertada por diferentes sensores. Com a ampliação da estrutura informática para o processamento de imagens, tem sido possível também a manipulação de volumes de dados expressivos.

É preciso reforçar que mapear a Caatinga através de sensoriamento remoto apresenta algumas dificuldades técnicas. A principal delas é a sazonalidade na disponibilidade hídrica para o uso biológico da vegetação, o que conseqüentemente afeta o aspecto vegetal, já que há uma perda de folhas acentuada em períodos de estresse hídrico. Todavia, quando há entrada de água no sistema, o aspecto vegetal muda de forma drástica num curto período de tempo, com o crescimento de folhas novas. Considerando ainda a distribuição errática da pluviosidade na área, é muito complicado se definir datas ideais para o imageamento para fins de mapeamento.

Devido a esta característica, o mapeamento deste bioma através de sensoriamento remoto é considerado extremamente complexo, dado que a resposta espectral da vegetação varia de forma significativa em curtos períodos de tempo. Isto se deve ao fato da presença de folhas propiciarem uma maior absorção de comprimentos de ondas da faixa visível do espectro eletromagnético e uma maior reflexão na faixa do infravermelho. A proporção do quanto é absorvido e refletido varia de acordo com a espécie e densidade da vegetação, pois a resposta espectral é sensível aos pigmentos e outras substâncias presentes nas folhas, além de ser influenciada pela composição e estrutura dos dosséis (PONZONI et al. 2012).

Em contrapartida, em períodos secos a ausência de folhas pode ocasionar uma resposta espectral muito parecida com a do solo exposto ou de afloramentos rochosos, dificultando a correta classificação das áreas vegetadas.

Desta forma, é imprescindível o uso de imagens de múltiplas datas ao longo do ano, ou de pelo menos duas, uma representando o período seco e outra o período úmido, de modo a facilitar a identificação de tipos de Caatinga sem o risco de superestimar ou subestimar a cobertura desta vegetação.

A escassez de produções científicas, incluindo mapeamentos sobre a Caatinga, dificulta o acesso a informações detalhadas sobre o bioma e, não raras vezes, os mapas produzidos apresentam um alto grau de generalização em sua legenda.

3. Tipologias de Caatinga

Ao contrário do senso comum, a Caatinga não é um bioma homogêneo, apresentando uma diversidade de paisagens. Para se obter um mapeamento detalhado é fundamental que se estabeleça modelos de identificação de classes, de modo a captar variações

muitas vezes sutis. Assim, um dos principais desafios é a identificação de elementos diferenciadores dessas classes.

Contudo, é importante ressaltar que as transições entre as paisagens que compõem a caatinga ocorrem de forma gradativa. É necessário também considerar a existência de enclaves de outras fisionomias vegetais dentro do bioma, resultantes de ciclos de retração e expansão associados a mudanças climáticas ocorridas em passado geológico recente (quaternário), o que influenciou a dispersão e o confinamento de algumas espécies vegetais que compõem as paisagens atuais (ANDRADE-LIMA, 1981; AB'SÁBER, 2003).

Segundo SUGUIO (2010), o Quaternário é datado de 1,81 milhões de anos a partir do presente, tendo sido palco de diversas flutuações climáticas entre períodos glaciais e interglaciais, e o início deste momento coincide com o aparecimento do *Homo erectus* na África.

O período Quaternário tem registro faunístico e florístico predominantemente de espécies viventes atualmente, sendo dividido entre duas épocas, o Pleistoceno, mais antiga, e o Holoceno, datada cerca de 10.000 anos a partir do presente (SUGUIO, 2010).

O surgimento dos primeiros hominídeos na África, não significou uma imediata dispersão por outros continentes, não sendo muito bem compreendido os fluxos migratórios que resultaram esta dispersão. Contudo, a chegada de humanos nas Américas, e posteriormente na Região Nordeste do Brasil, representou o início da intervenção antrópica sobre o ambiente natural, o que pode ter ocasionado alterações tidas atualmente como naturais.

Na literatura existem diversas classificações de tipologias de Caatinga que variam desde classificações puramente biológicas, onde as espécies vegetais são o principal critério de diferenciação, até classificações geossistêmicas, onde a relação da vegetação com o ambiente abiótico (solo, relevo, hidrologia, entre outros) é o principal fator para a diferenciação.

ANDRADE-LIMA (1981) propôs uma classificação de caatinga levando em conta as espécies dominantes. Contudo, o autor discute a profunda relação das tipologias de caatinga com fatores abióticos, principalmente referentes ao solo, clima e geologia, embora a escassez de dados disponíveis na época não permitiu ao autor avançar nessas

características. Todavia, algumas observações sobre as influências abióticas estão presentes na descrição das tipologias de caatinga, como pode ser visto na tabela 2.

Tabela 2: Classificação de vegetação de caatinga adaptada de ANDRADE-LIMA (1981)

Tipos de Caatinga	Descrição
<i>Tabebuia-Aspidosperma-Astronium-Cavanillesia</i>	Caatinga de porte alto presente no sul da Bahia e norte de Minas Gerais
<i>Astronium-Schinopsis-Caesalpinia</i>	Caatinga de porte médio presente na porção central do semiárido.
<i>Caesalpinia-Spondias-Bursera-Aspidosperma</i>	Caatinga de porte médio localizada em áreas mais secas que o tipo anterior.
<i>Mimosa-Syagros-Spondia-Cereus</i>	Caatinga de porte baixo, presente no centro norte da Bahia.
<i>Pilosocereus-Poeppigia-Dalbergia-Piptadenia</i>	Caatinga de porte baixo, presente em solos arenosos.
<i>Cnidocolus-Bursera-Caesalpinia</i>	Caatinga arbórea aberta, presente no sudoeste do Ceará e outras áreas moderadamente secas com solos ácidos e inconsolidados.
<i>Caesalpinia-Aspidosperma-Jatropha</i>	Caatinga arbustiva, presente em áreas secas do vale do São Francisco.
<i>Caesalpinia-Aspidosperma</i>	Caatinga arbustiva aberta
<i>Mimosa-Caesalpinia-Aristida</i>	Caatinga arbustiva aberta
<i>Aspidosperma-Pilosocereus</i>	Caatinga arbustiva aberta
<i>Calliandra-Pilosocereus</i>	Caatinga arbustiva aberta, restrita a áreas espalhadas de solo cascalhento.
<i>Copernicia-Geoffroea-Licania</i>	Franja de vales fluviais do Piauí, Ceará e Rio Grande do Norte.

Os tipos de caatinga *Caesalpinia-Aspidosperma*, *Mimosa-Caesalpinia-Aristida* e *Aspidosperma-Pilosocereus*, presentes na tabela 2, apesar de terem a mesma descrição de fisionomia se diferenciam pela composição florística, embora o autor cite localidades onde estas tipologias foram observadas.

A classificação de ANDRADE-LIMA (1981) também considera uma possível influência humana nos tipos de caatinga classificados, ou seja, o autor questiona a possível influência da degradação da vegetação oriunda das atividades socioeconômicas no aspecto da vegetação de caatinga, sobretudo as de baixo porte.

IBGE (2012) compilou uma série de tipologias de Caatinga propostas ao longo do tempo. A classificação a seguir foi utilizada no projeto RADAMBRASIL, buscando solucionar alguns problemas envolvendo o mapeamento da vegetação no Brasil. A tabela 3, proposta por VELOSO & GÓES-FILHO (1982), apresenta uma descrição detalhada de espécies dominantes e aspecto fisionômicos para a classificação. Esta tipologia inclui a vegetação de Caatinga como um tipo de estepe, que é um termo muito mais amplo, que possibilitaria a utilização desta classificação fora do semiárido.

Tabela 3: Tipologia da Região Fitoecológica de Estepe (VELOSO & GÓES-FILHO, 1982)

Região Fitoecológica da Estepe (Caatinga e Campanha Gaúcha)	Arbórea Densa	Sem palmeiras
		Com palmeiras
	Arbórea Aberta	Sem palmeiras
		Com palmeiras
	Parque	Sem palmeiras ou sem floresta de galerias
		Com palmeiras ou com floresta de galerias
	Gramíneo-Lenhosa	Sem floresta de galeria
		Com floresta de galeria

A classificação de VELOSO & GÓES-FILHO (1982) é autoexplicativa, não sendo necessária uma análise mais profunda de cada uma das classes, já que na nomenclatura das mesmas estão presentes os aspectos fisionômicos e dos grupos vegetais que as diferenciam.

Outra classificação, também mencionada em IBGE (2012), foi proposta por George Eiten. Essa classificação é mais detalhada, com diversas classes novas que não existem na classificação anterior, como pode ser observado na Tabela 4. É uma classificação estritamente fisionômica, onde o aspecto da vegetação como um todo prevalece na separação das classes. Esta classificação adiciona mais uma categoria de Caatinga que não

está associada ao clima semiárido regional, que é a Caatinga Amazônica, que apresenta suas próprias subclasses. Como esta classificação foi desenvolvida com um alto grau de detalhe, foi necessária a criação da tipologia Caatinga Amazônica para designar e subdividir os enclaves de vegetação com fisionomia semelhante ao da Caatinga que cobre o semiárido brasileiro. Como o propósito do presente trabalho é estritamente a vegetação do semiárido, as classes fora desta região climática foram omitidas.

Tabela 4: Classificação de Caatinga de George Eiten. (IBGE, 2012)

Caatinga	Florestal
	De arvoredo
	Arbóreo-arbustiva fechada
	Arbóreo-arbustiva aberta
	Arbustiva aberta
	Arbustiva fechada
	Savânica
	Savânica lajeada

CHAVES et al. (2008) propuseram uma classificação de tipologias de Caatinga na qual as características morfoestruturais da vegetação são utilizadas como parâmetro para a separação de cada classe. Esta classificação tem a particularidade de ter sido desenvolvida para aplicação em sensoriamento remoto e consiste em quatro níveis categóricos, composta por Tipo, Grupo, Classe e Subclasse. Na tabela 5 é possível observar as categorias de tipo e grupo, onde o porte da vegetação é o principal critério de separação dos grupos.

Tabela 5: Proposta de classificação de tipologia de Caatinga, adaptado de CHAVES et al. (2008).

Tipo	Grupo
Vegetação Natural de Caatinga	Arbóreo (> 4,5m)
	Subarbóreo (>3m e <4,5m)
	Arbustivo (>1,5m e <3m)
	Subarbustivo (<1,5m)

Quanto às classes, CHAVES et al. (2008) definem que o critério a ser seguido é a ordem decrescente de classes dominantes, quando for possível de serem identificadas, até três níveis. Um exemplo de aplicação das classes pode ser visto na tabela 6, com a apresentação das dez classes do grupo Caatinga Arbórea. Vale ressaltar que todos os grupos têm dez subclasses, resultantes da combinação entre as morfologias predominantes.

Tabela 6: Classes do grupo Caatinga Arbórea, adaptado de CHAVES et al. (2008).

Grupo	Classe
Arbórea (> 4,5m)	Arbórea
	Arbórea Subarbórea
	Arbórea Arbustiva
	Arbórea Subarbustiva
	Arbórea Subarbórea Arbustiva
	Arbórea Subarbórea Subarbustiva
	Arbórea Arbustiva Subarbórea
	Arbórea Arbustiva Subarbustiva
	Arbórea Subarbustiva Arbustiva
	Arbórea Subarbustiva Subarbórea

As subclasses se referem à porcentagem de cobertura vegetal no substrato e é dividida em muito densa (>80%), densa (>60% e <80%), aberta (>40% e <60%), rala (>20% e <40%) e muito rala (<20%) (CHAVES et al. 2008). Além disto, os autores associam os parâmetros de classificação mencionados anteriormente com valores absolutos de Índice de Biomassa da Vegetação Lenhosa (IBVL) a partir de dados de sensoriamento remoto orbital.

Contudo, as classificações anteriores não levam em conta as bases físicas, como características geomorfológicas, que compõem o substrato onde há exploração biológica da flora para a separação das classes de Caatinga. Neste contexto, surge uma classificação mais recente desenvolvida por CAVALCANTI (2014), apresentada na Tabela 7.

Tabela 7: Classificações de subgrupos de Caatinga e formações associadas segundo CAVALCANTI (2014).

Nome	Descrição
Caatinga Lenhosa	Dominada por elementos lenhosos (árvores e arbustos). A flora não é influenciada por corpos hídricos. Pode ser subdividida em caatinga lenhosa aberta, caso as copas das árvores não se toquem, ou fechada, caso as copas das árvores se toquem ou entrelacem.
Caatinga gramíneo-lenhosa	Vegetação dominada por elementos herbáceos, com presença de indivíduos lenhosos (árvore ou arbustos) esparsos ou em agrupamentos isolados.
Caatinga-parque	Vegetação com a presença de palmeiras e elementos lenhosos da caatinga distribuídos ao longo de um corpo hídrico.
Caatinga rupestre	Vegetação que cresce sobre os lajedos (afloramentos rochosos), normalmente dominada por bromeliáceas e cactáceas.
Formação higrófila	Vegetação que cresce nas proximidades de corpos hídricos e apresenta flora cosmopolita ou introduzida.

4. GEOBIA (Análise de Imagens Baseada em Objetos Geográficos)

GEOBIA (Geographic-Object-Based Image Analysis, em tradução livre para o português “Análise de Imagens Baseada em Objetos Geográficos”) consiste em uma técnica que ao invés de utilizar apenas a resposta espectral das imagens para realizar a classificação, utiliza os segmentos geométricos e variáveis como localização, textura, contexto e relação semântica entre classes ou objetos, com isso, este método se destaca do tradicional, que leva em conta apenas as características espectrais, pelo fato de considerar uma vasta gama de informações extraídas dos objetos (FRANCISCO e ALMEIDA, 2012).

Desta forma, o uso de GEOBIA simula a interpretação visual do ser humano, automatizando a classificação de objetos com características espaciais complexas. Entre diversas características desta técnica, pode-se destacar a capacidade de integrar dados de

múltiplas fontes, sua multiescalaridade e a consideração do contexto de cada objeto (HAY & CASTILLA, 2008).

O uso de GEOBIA também permite a criação de uma hierarquia entre as classes (LANG, 2008), tornando possível que uma classe derive de outras, herdando informações das classes da qual vieram. Em um bioma com dificuldades técnicas de mapeamento como a Caatinga, o uso de GEOBIA torna-se um facilitador e ao mesmo tempo um filtro para um mapeamento mais eficiente.

Assim, a utilização de GEOBIA depende da disponibilidade, conhecimento ou levantamento de algumas informações sobre o funcionamento do sistema que está sendo analisado ou mapeado, visto que o uso destas relações geossistêmicas serão traduzidas pelo pesquisador para o *software* através de modelos. O processo se constitui em duas etapas principais: a segmentação, onde os objetos são definidos, e a classificação em si, que pode seguir diferentes caminhos. Em GEOBIA é possível estabelecer modelos individualizados por classe, definindo regras de decisão baseadas numa variedade de atributos disponíveis ou customizados (FRANCISCO e ALMEIDA, 2013).

Sobre a etapa da segmentação, LANG (2008) destaca que em casos de imagens de alta resolução o pixel é muito menor do que o objeto de interesse e, assim, a segmentação acaba sendo um processo análogo à regionalização, transformando um grupo de pixels em objetos que poderão ser trabalhados. É evidente que algumas das características que o autor destaca para a segmentação de imagens de alta resolução podem ser extrapoladas para imagens de média resolução. Contudo, LANG (2008) ressalta que apesar da segmentação ser uma etapa importante do processo metodológico em GEOBIA, não pode ser pensada como uma etapa exclusiva ou isolada.

Outra vantagem do uso de GEOBIA em relação a outros métodos de classificação é a possibilidade de incorporação de dados temáticos no processo de modelagem das classes, sendo possível integrar conhecimentos prévios das mais diversas fontes para a modelagem de classes de maior complexidade.

Neste contexto, o GEOBIA se torna uma ferramenta ideal na análise das organizações espaciais por levar em conta, entre outros fatores, as relações entre o objeto e seu entorno. Desta forma, passa-se a considerar o contexto em que ele está inserido, minimizando gastos de tempo na realização de edições manuais.

5. Integração entre o conhecimento geossistêmico e GEOBIA

O conhecimento das relações sistêmicas entre os elementos da paisagem é fundamental para a utilização bem-sucedida de GEOBIA, quando o objetivo de mapeamento são paisagens, já que não serão utilizadas apenas características espectrais da imagem, mas outros critérios semânticos.

Um exemplo disso é o uso de imagens de pelo menos duas datas, uma para o período úmido e outra para o período seco, a fim de identificar a variação anual do NDVI ou de qualquer parâmetro que seja sensível à perda de folhas, uma das características mais significativas na diferenciação da caatinga. Desta forma, na aplicação de sensoriamento remoto em uma região semiárida, toda vegetação que perde folhas de forma expressiva no período seco, tem uma alta probabilidade de ser caatinga.

O procedimento acima também permite diferenciar a vegetação de caatinga de algumas comunidades de flora introduzida, como é o caso da algaroba (*Prosopis juliflora*), que não perde as folhas no período seco, por ser manejada em áreas próximas de corpos hídricos, como rios, que mesmo que estejam com seus leitos secos, apresentam acúmulo de água subterrânea. Pela classificação de CAVALCANTI (2014), esta classe seria definida como Formação Higrófila, e de todas as classificações apresentadas, esta é a única na qual há uma classe destinada à vegetação introduzida ou cosmopolita. Exemplos desta fisionomia podem ser vistos nas figuras 20a e 20b.



Figuras 20a e 20b: A esquerda (figura 20a) vegetação cosmopolita típica de área alagada e algaroba em margem de rio. A direita (figura 20b), detalhe das folhas de algaroba se mantendo verdejantes durante a seca.

Contudo, o exemplo anterior não é suficiente para responder por toda a complexidade da caatinga, sendo apenas uma aproximação da utilização da dinâmica ambiental inerente ao bioma, em apoio à classificação de imagens de sensoriamento remoto orbital.

Para a diferenciação das subclasses de caatinga pode-se utilizar diversos critérios geossistêmicos. Para tal, faz-se necessário definir uma tipologia de caatinga que possa adotar e parametrizar descritores para a classificação. Com isto, não basta apenas reconhecer as relações sistêmicas, é preciso organizar uma base de dados que permita aplicar estas relações através de GEOBIA, como é o caso da pluviosidade, solo, geologia, geomorfologia, hidrografia, entre outros.

Pode-se melhor exemplificar a partir da separação das classes Caatinga Lenhosa e Caatinga Parque, pela classificação de CAVALCANTI (2014). Ambas as classes apresentam vegetação lenhosa, e a assinatura espectral de ambas é muito similar. A partir do conhecimento das relações geossistêmicas, sabe-se que a Caatinga Parque, pela própria definição da classe, só pode ocorrer em margens de corpos hídricos. Assim, além da assinatura espectral pode-se utilizar a localização e contexto dos objetos em relação aos corpos hídricos como um dos critérios semânticos para a modelagem da classe.

Outro exemplo é a modelagem da classe Caatinga Rupestre que, pela definição de Cavalcanti (2014), é predominantemente composta por bromeliáceas e cactáceas e cresce sobre afloramentos rochosos residuais conhecidos localmente como lajedos. Estes afloramentos são predominantemente corpos ígneos de granitoides, encaixantes em rochas mais antigas, que a partir de processos geomorfológicos persistem no relevo como inselbergs. Logo, é possível modelar essa classe a partir de dados temáticos de geologia e geomorfologia, associados à assinatura espectral de vegetação rasteira. Algumas imagens desta tipologia são visíveis nas figuras 21a, 21b, 21c e 21d.



Figuras 21a, 21b, 21c e 21d: Diversidade de paisagens da classe caatinga rupestre. Fonte: acervo do autor.

6. Conclusões

Existe uma diversidade de classificações de caatinga, tendo-se abordado apenas uma parte neste trabalho. A escolha de uma determinada classificação está intimamente relacionada à ferramenta utilizada para mapeamento. Assim, utilizando-se imagens orbitais e dados temáticos em GEOBIA, busca-se uma classificação onde relações espaciais, resposta espectral e interpretação visual possam ser adotadas em conjunto.

As classificações de ANDRADE-LIMA (1981) e VELOSO & GÓES-FILHO (1982) levam em conta espécies presentes na comunidade vegetal, o que dificulta a aplicação em imagens orbitais, principalmente de média resolução espacial, sendo muitas vezes impossível a distinção destas espécies.

Já as tipologias propostas por GEORGE EITEN (IBGE, 2012) e CHAVES et al. (2008) valorizam a fisionomia vegetal, sendo a última desenvolvida para a aplicação em sensoriamento remoto. Contudo, estas classificações carecem de critérios abióticos na descrição das tipologias, além de permitirem pouca margem de integração de dados temáticos.

Sendo assim, uma classificação compatível com o uso de GEOBIA é potencializada por relações de contexto espacial, pela incorporação de dados de diversas fontes e pela multiescalaridade na definição das classes, como é o caso da classificação de CAVALCANTI (2014), onde o porte da vegetação, elementos da paisagem e observações tanto de interpretação visual de imagens nas mais diversas resoluções espaciais, como em observações de campo, se associam na diferenciação das tipologias.

A tipologia de CAVALCANTI (2014) define ainda uma classe destinada à vegetação cosmopolita e introduzida, que é o caso da espécie invasora algaroba (*Prosopis juliflora*) e de enclaves de brejos alagados comuns em algumas áreas do semiárido, o que torna esta classificação mais completa perante as complexidades da região.

Capítulo 2: Mapeamento de Vegetação de Caatinga na Bacia Hidrográfica do Rio Taperoá

1. Introdução

O mapeamento da vegetação é uma ferramenta imprescindível para análises geográficas e ecológicas da distribuição espacial de áreas vegetadas. Assim como, funcionam como subsídio para a gestão ambiental e planejamento de políticas públicas voltadas para a recuperação e monitoramento de remanescentes vegetais.

O mapeamento apresentado nas etapas seguintes deste trabalho foi realizado em parceria da Universidade Estadual da Paraíba com a Universidade Federal do Rio de Janeiro.

2. Metodologia

A partir da figura 22 é possível visualizar as etapas realizadas no processo de mapeamento. A primeira etapa foi uma profunda revisão bibliográfica, realizada no capítulo anterior, visando identificar as principais propostas de classificação de vegetação de caatinga e, posteriormente, a mais adequada para a metodologia de mapeamento escolhida.

Em seguida, foram utilizadas imagens Landsat 8 (sensor OLI) adquiridas em duas datas, uma de 12 de agosto de 2016 e outra de 12 de junho de 2017, representando os períodos úmido e seco, respectivamente. As imagens foram adquiridas através do *site* da USGS (*U.S. Geological Survey*, em tradução livre para o português, Serviço Geológico dos Estados Unidos), onde foram solicitadas já corrigidas atmosféricamente.

No página do mesmo órgão, também foi obtida imagens SRTM de resolução espacial de 30 metros, de onde foi obtido o MDE (Modelo Digital de Elevação). O MDE foi transformado em um modelo matricial de declividade e em dado vetorial de hidrografia a partir do software ArcGIS 10.1.

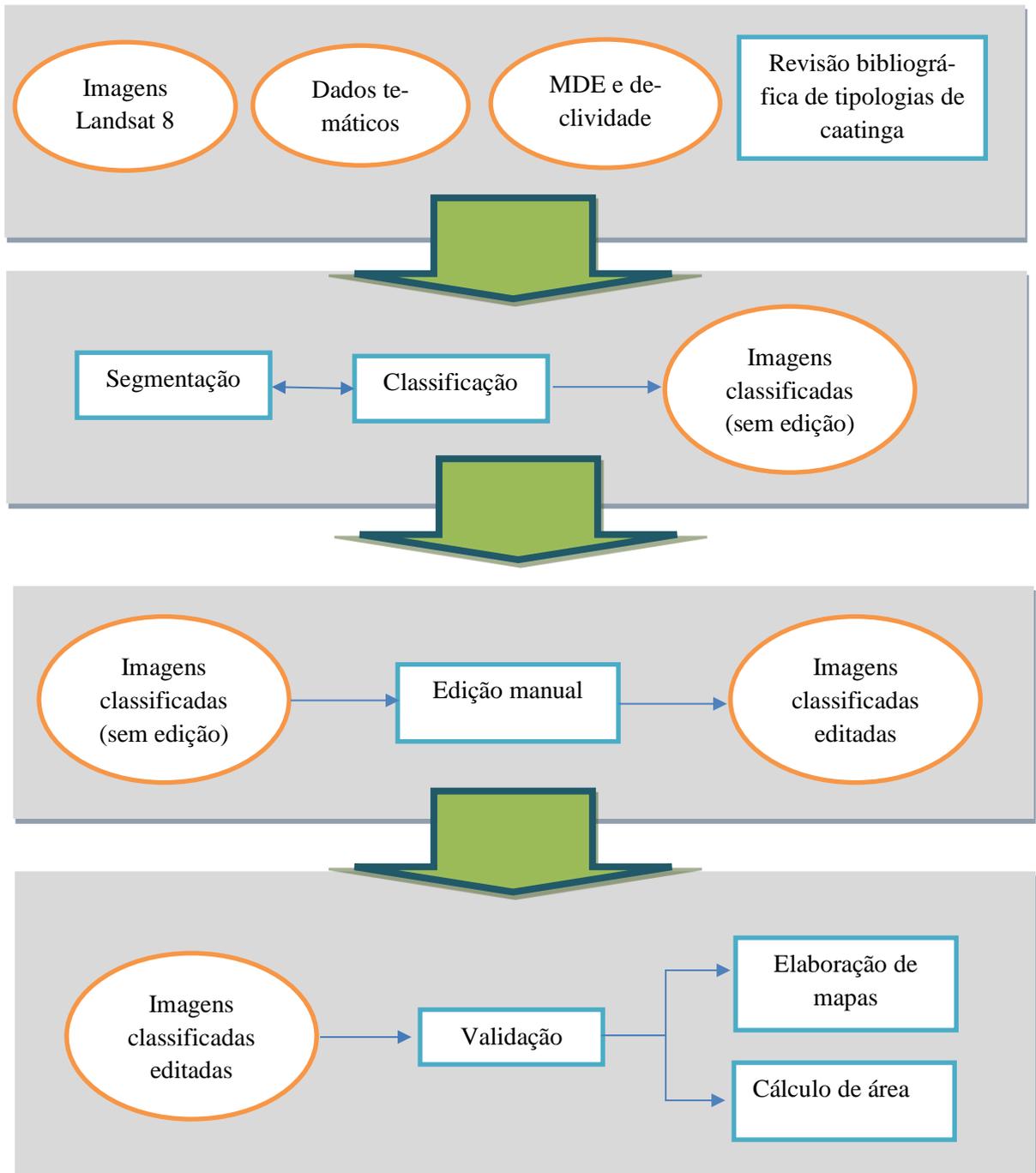


Figura 22: Fluxograma das etapas percorridas para o mapeamento de tipologias de caatinga na bacia hidrográfica do Rio Taperoá.

Dados temáticos de Geologia (CPRM) e geomorfologia (XAVIER *et al.* 2014) também foram adquiridos e processados através do software ArcGIS 10.1, a fim de

padronizar as projeções cartográficas dos dados para UTM (Universal Transversa de Mercator) fuso 24 S, datum WGS 84.

Após a padronização da projeção de todos os dados, os mesmos foram inseridos em um projeto no *software* eCognition, onde primeiramente as imagens orbitais Landsat 8 foram segmentadas a partir da segmentação multirresolução. Utilizou-se como parâmetro de escala 125, com peso 0,1 para forma e 0,5 para compacidade. Todas as bandas das imagens Landsat 8 foram definidas com peso 1.

Em seguida foi utilizado o índice NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*, em tradução livre para o português Índice de Vegetação da Diferença Normalizada) para as duas cenas, este índice é calculado a partir da equação abaixo:

$$NDVI = (B_{nir} - B_r) / (B_{nir} + B_r)$$

Onde B_{nir} é o infravermelho próximo, e B_r é o vermelho, para imagens Landsat 8 (sensor OLI), a banda 5 corresponde ao infravermelho próximo e a banda 4 ao vermelho. É importante ressaltar que o cálculo do índice é realizado pelo *software* eCognition para os valores de cada pixel da imagem.

Em seguida foi calculada a variação do NDVI para as duas imagens, através da seguinte equação:

$$\Delta NDVI = NDVI_a - NDVI_b$$

Onde o $NDVI_a$ corresponde ao índice da cena a e o $NDVI_b$ ao índice da cena b. Quaisquer uma das cenas poderá ser escolhida como a ou b, não importando a ordem, visto que matematicamente haverá somente uma mudança de sinal para positivo ou negativo, tendo o mesmo módulo.

O próximo índice que foi calculado para as duas cenas foi o SAVI (*Soil-Adjusted Vegetation Index*, em tradução livre para o português índice de Vegetação Ajustado ao Solo), que é calculado a partir da seguinte fórmula:

$$SAVI = [(B_{nir} - B_r) / (B_{nir} + B_r + L)] \cdot (1 + L)$$

Onde a variável B_{nir} representa a banda da imagem correspondente ao infravermelho próximo, e a B_r corresponde a banda do vermelho. L é uma constante, que segundo HUETE (1988, *apud* PONZONI *et al* 2012) pode ser definida pelos valores 1 para

vegetação de densidades baixas, 0,5 para vegetações de densidade média e 0,25 para vegetação de densidade alta. Para as imagens Landsat 8 a B_{nir} corresponde a banda 5, enquanto a B_r corresponde a banda 4. Após alguns testes foi definido que a constante L utilizada seria 0,5, ou seja, para densidades médias de vegetação.

Posteriormente foi construída uma hierarquia de classes, onde as classes principais são “verde” e “outros” e a partir delas derivam outras classes que herdam seus atributos. Derivando da classe “outros” há a classe “afloramentos” e “água”, e a partir da classe “verde” há “caatinga” e “formação higrófila”. A partir da classe “caatinga”, derivam as classes “caatinga gramíneo lenhosa”, “caatinga lenhosa”, “caatinga parque” e “caatinga rupestre”. A hierarquia de classes pode ser observada na figura 23. Esta hierarquia foi utilizada para o processo de classificação e segmentação como será melhor descrita em outro momento.

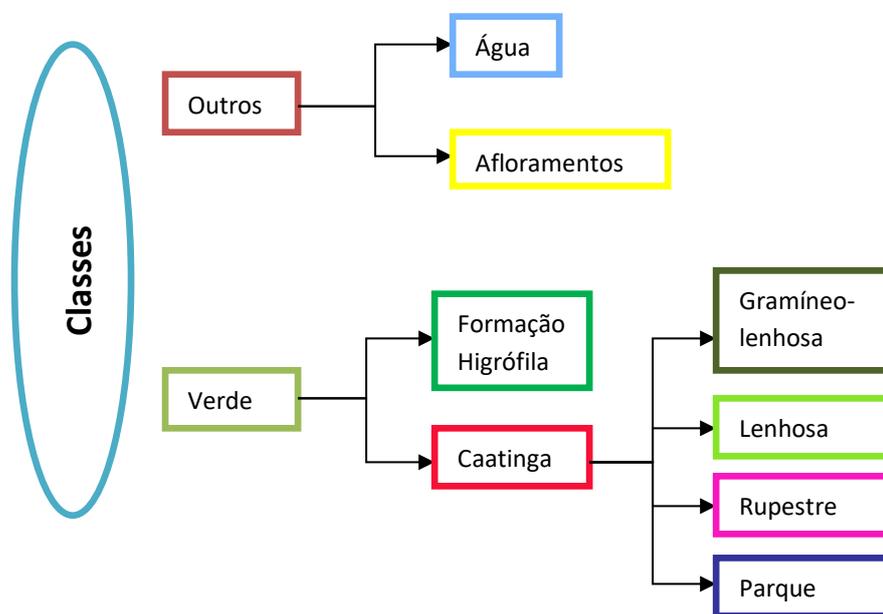
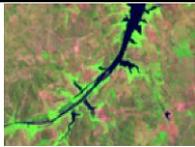


Figura 23: Hierarquia de classes utilizada para a modelagem do conhecimento.

A classe “afloramentos” posteriormente foi incorporada à classe “outros”, tendo sido separada durante o processo de classificação para uso na modelagem do conhecimento da classe “caatinga rupestre”.

O passo seguinte foi a seleção de amostras para cada uma das classes, sendo preferíveis os objetos que representavam de forma relativamente homogênea cada uma delas. Para a seleção de cada amostra foi utilizada a chave de classificação contida na tabela 8.

Tabela 8: Chave de classificação de tipologias de Caatinga e classes associadas

Classe	Descrição do aspecto em imagem Landsat 8 em composição colorida falsa cor RGB (bandas 6, 5 e 4 respectivamente)	Aspecto em imagem Landsat 8
Caatinga Lenhosa	Manchas vegetadas amplas, de textura muitas vezes rugosas e tonalidades de verde que se destacam, sendo raro confusões com solo exposto, exceto em algumas localidades em cenas de períodos secos onde a vegetação perde suas folhas.	
Caatinga gramineo-lenhosa	Manchas vegetadas amplas com cores que podem ser confundidas com solo exposto ou vegetação degradada. Não apresenta tonalidades de verde tão intensa como na Caatinga Lenhosa.	
Caatinga-parque	Padrão de distribuição acompanhando os cursos de drenagem, porém com tons de verde menos intensos do que na vegetação higrófila.	
Caatinga rupestre	Se localiza sempre próximo ou entre afloramentos rochosos robustos não vegetados.	
Formação higrófila	Se distribui ao longo de corpos hídricos, contudo, por apresentar flora cosmopolita, apresenta cores de verde mais intensas, mesmo em períodos secos.	

Água	Manchas escuras, tendendo ao negro ou azul escuro, de textura lisa homogênea.	
Afloramentos	Objetos claros, de textura lisa ou rugosa, muitas vezes apresentam cores em tons de cinza.	
Outros	Todas as classes que não se enquadram nas outras descrições.	

A tabela 8 não apresenta as macroclasses “verde” e “caatinga”, já que apresenta todas as classes derivadas destas, e conseqüentemente herdam seus atributos. Logo, a classe “caatinga lenhosa” sempre estará contida na classe “caatinga” e também na classe “verde”, o que tornaria redundante a representação destas classes na tabela 8.

O passo seguinte foi a modelagem do conhecimento no software eCognition, onde para cada classe foram escolhidos um ou mais operadores, parâmetros, função e intervalo.

Para todas as regras de decisão adotadas nas etapas a seguir foram funções de pertinência booleanas. Este tipo de função se caracteriza por um modelo determinista, onde cada objeto pertence ao não à uma classe, onde quando é atribuído o valor 0 o objeto não pertence à classe, e 1, ele pertence.

Existe outra função de pertinência conhecida como *fuzzy*, onde um objeto está associado à diversas classes com diferentes valores de pertinência, e será classificado para a classe que obtiver maior valor de pertinência. Um exemplo das duas funções pode ser visto na figura 24.

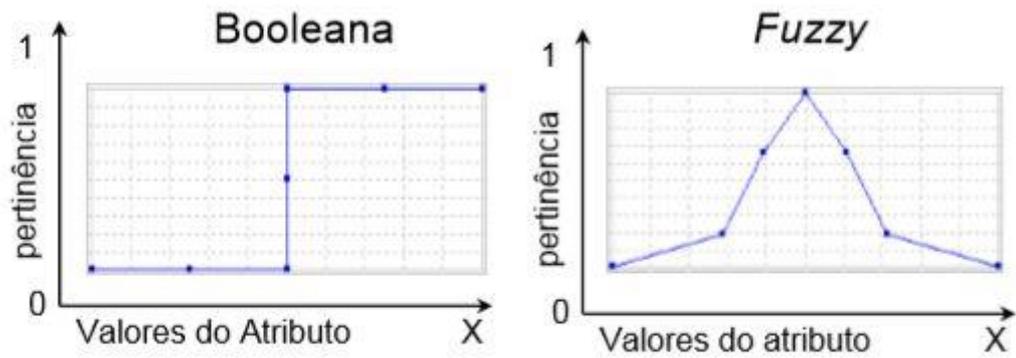


Figura 24: Gráfico comparativo das funções Booleana e *fuzzy*. (PINHO, 2005)

A tabela 9 descreve todas as variáveis utilizadas na modelagem do conhecimento de cada uma das classes. As linhas na área cinza da tabela ligam as classes derivadas às classes originais, sendo importante reforçar que todas as classes derivadas herdam a modelagem da classe que lhe dá origem.

Todos os intervalos, parâmetros e funções utilizados foram obtidos a partir da ferramenta “Sampler Editor”, onde é possível avaliar as melhores bandas e descritores para a modelagem das classes.

Tabela 9: Modelagem do conhecimento para as classes utilizadas na classificação.

Classe	Operador	Parâmetro	Função	Intervalo
Outros	and (min)	not_verde	-	-
Afloramentos	and (min)	Banda 7 do período seco	booleana	[600, 2416.74269607843]
	and (min)	NDVI do período seco	booleana	[-0,07, -0.02]
Água	and (min)	Banda 4 do período úmido	booleana	[-437.324411764705, 1700.62637254902]
Verde	and (min)	Banda 3 do período úmido	booleana	[450, 2300.7725]
Formação Higrófila	and (min)	Brilho	booleana	[300, 2222.4004901]
	and (min)	Banda 4 do período seco	booleana	[-110, 4828.472647]
	and (min)	SAVI do período úmido	booleana	[-0.08, 0.722279411]
	and (min)	Variação do NDVI	booleana	[0.06, 0.34]
Caatinga	and (min)	Variação do NDVI	booleana	[-0.11, 0.63916666]
Lenhosa	and (min)	NDVI do período úmido	booleana	[0.1, 0.42661764705]
	and (min)	Variação do NDVI	booleana	[0.37, 0.658774509]
Rupestre	and (min)	<i>border to</i> afloramentos	-	-
	and (min)	Banda 6 para o período seco	booleana	[400, 1200]
	and (min)	Média da declividade	limiar	>= 14
	and (min)	SAVI para o período úmido	booleana	[-0.2728676470, 0.1]
	and (min)	Variação do NDVI	booleana	[0.22, 0.4]
Gramíneo-lenhosa	and (min)	not_caatinga_lenhosa	-	-
	and (min)	not_caatinga_rupestre	-	-
	and (min)	not formação higrófila	-	-
Caatinga parque	and (min)	not caatinga gramíneo-lenhosa	-	-

A partir dos parâmetros descritos acima foi obtida a primeira classificação. Neste ponto, foi identificado polígonos muito grandes para as classes “formação higrófila” e “caatinga parque”, o que necessitou uma nova segmentação, no mesmo nível, contudo apenas nos polígonos classificados como “verde” ou classes derivadas.

Por fim, foi obtida a classificação final sem edição, que foi editada manualmente através do *software* eCognition. Nesta etapa houve uma criteriosa revisão do mapeamento e todos os polígonos classificados erroneamente através da modelagem foram reclassificados.

A classificação final editada manualmente foi transferida para o *software* ArcGIS 10.1 onde foram realizadas as etapas de validação do mapeamento, quantificação de edição manual, cálculo de área e construção de mapas temáticos.

3. Trabalho de Campo

Foi realizado um trabalho de campo na área de estudo entre os dias 11 e 15 de janeiro de 2018. Foram definidos diversos pontos aleatórios e alguns pontos de dúvida para visita, a fim de refinar a modelagem, auxiliar na validação e complementar o mapeamento. Os pontos de campo não foram os mesmos utilizados no processo de validação, sendo importante como controle, nesta etapa.

Concomitantemente, foram tiradas fotografias de todas as classes utilizadas no mapeamento. Além disto, foram feitas observações de dinâmicas socioambientais, assim como de aspectos físicos da bacia.

Para a marcação dos pontos e rotas percorridas utilizou-se um GPS Garmin 64S, e para descrições e observações de campo uma caderneta de campo. Todos os pontos salvos no aparelho eram copiados para a caderneta com sua respectiva descrição e coordenadas, além de observações complementares.

Posteriormente os pontos foram transferidos para o *software* ArcGIS 10.1, onde cada ponto foi verificado e editado, sendo adicionados a tabela de atributos duas colunas, uma referente à classe observada em campo, e outra referente às observações de campo. Os pontos de campo podem ser observados na figura 25.

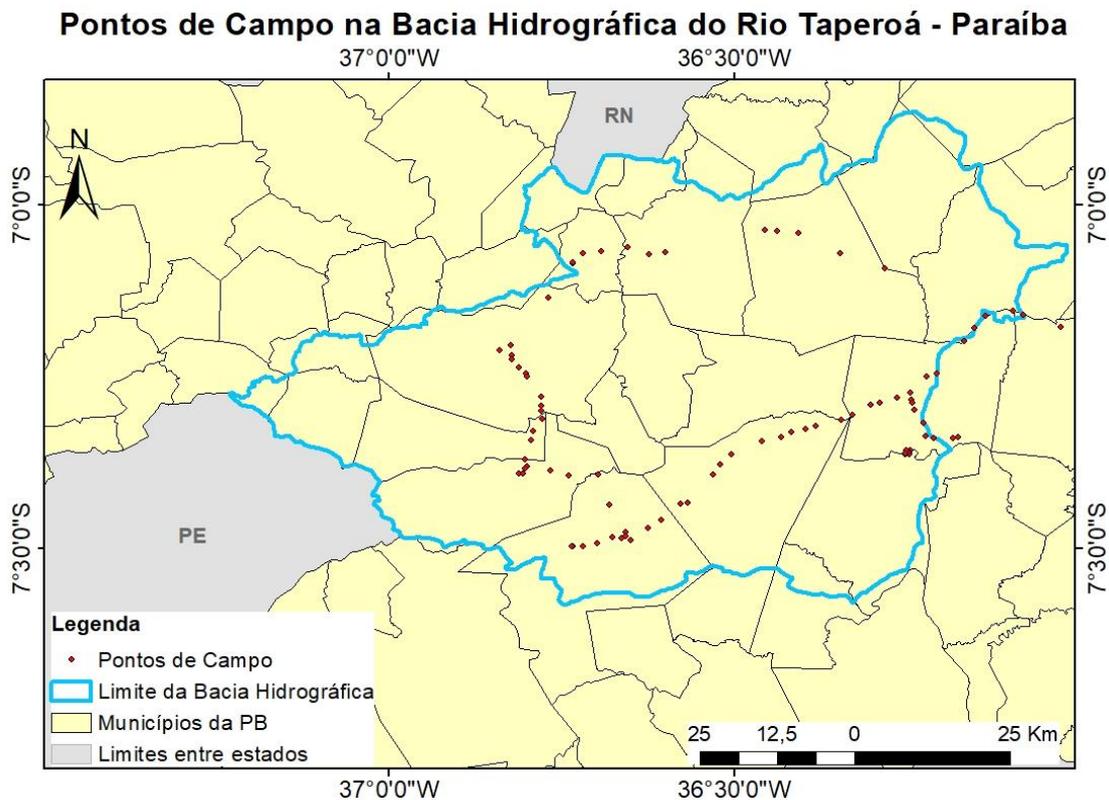


Figura 25: Mapa de pontos de controle colhidos em campo.

Algumas classes foram observadas a partir de visadas, já que o acesso às mesmas era inviabilizado. Neste caso, foram anotadas a direção da visada, a distância aproximada e a classe que estava sendo observada, sendo assim, nas observações de campo constam a direção da visada e a classe observada.

4. Avaliação da Classificação

Em um primeiro momento foi construída uma matriz de confusão, ou matriz de erros, que consiste em uma matriz onde amostras de referência são comparadas com a classificação obtida após a edição manual.

Algumas classes modeladas na etapa anterior foram agrupadas, como é o caso de “afloramentos” e “água” que foram agrupadas à macroclasse “outros”, e “caatinga parque” que foi agrupada à classe “formação higrófila”. Esta generalização da legenda se justifica pelo fato do objetivo do trabalho ser o mapeamento de vegetação, não havendo necessidade de uma subdivisão da classe “outros” no mapeamento final. No caso da classe “caatinga parque” o agrupamento ocorreu devido à inexistência desta classe pura em campo, já que toda vegetação que circunda corpos hídricos dentro da bacia tem

predomínio de algaroba, que é uma espécie introduzida, mesmo que entremeadas por espécies nativas.

Para a construção da matriz de confusão, foram gerados pontos aleatórios para cada uma das classes a partir do *software* ArcGIS 10.1. Para as classes “outros” e “gramíneo-lenhosa” foram utilizados 60 pontos aleatórios, já que foram as classes de maior extensão espacial, enquanto para as outras classes foram utilizadas 30 pontos.

Todos os pontos aleatórios, além da segmentação, foram transferidos para o Google Earth, onde cada polígono em que o ponto aleatório estava, era comparado com a classificação obtida. O resultado está contido na tabela 10 onde nas colunas estão os resultados da referência (Google Earth) e nas linhas da classificação.

Tabela 10: Matriz de erro da classificação obtida após edição manual.

		Referência					Total
		GL	L	CR	FH	Outros	
Classificação	GL	54	2	0	1	3	60
	L	3	27	0	0	0	30
	CR	0	0	30	0	0	30
	FH	1	2	0	27	0	30
	Outros	4	0	0	0	56	60
	Total	60	30	30	30	60	210

Em seguida, a matriz foi transferida para o *software* excel, para o cálculo do índice Kappa de concordância, a formula do índice pode ser observada a seguir:

$$\text{Índice Kappa} = \frac{n \sum_{i=1}^k n_{ii} - \sum_{i=1}^k n_{i+} n_{+i}}{n^2 - \sum_{i=1}^k n_{i+} n_{+i}}$$

Os resultados obtidos foram comparados com os intervalos contidos na tabela 11 de LANDIS E KOCH (1977), que apresenta os intervalos do índice Kappa e sua respectiva qualificação.

Tabela 11: Concordância do índice Kappa (LANDIS E KOCH, 1977).

Índice Kappa	Concordância
<0.00	Pobre
0.00-0.20	Fraco
0.21-0.40	Justo
0.41-0.60	Moderado
0.61-0.80	Substancial
0.81-1	Quase perfeito

Por fim, foi realizada uma quantificação da edição manual através do *software* ArcGIS, através da ferramenta *combine*, e a tabela de atributos gerada, foi transferida para o programa excel, para o cálculo de quanto foi editado.

5. Resultados e discussão

5.1. Observações de campo

A realização do trabalho de campo foi essencial para a tomada de algumas decisões no mapeamento final. Como o agrupamento de classes e observação de dinâmicas socioambientais.

Como o trabalho de campo foi realizado em um período de seca prolongado, a maior parte da vegetação estava sem folhas, dificultando a identificação correta de algumas classes em certos pontos.

As figuras 26a e 26b são respectivamente das classes “caatinga lenhosa” e “caatinga gramíneo-lenhosa”. É importante ressaltar a diferença fisionômica, onde a os dosséis das árvores se entrelaçam na caatinga lenhosa, diferentemente da caatinga gramíneo-lenhosa. Além disto, é possível perceber que mesmo em um período de seca prolongada a caatinga lenhosa apresenta um aspecto mais verdejante, comparativamente com a caatinga gramíneo lenhosa.



Figura 26a e 26b: Caatinga lenhosa à esquerda (figura 26a). Caatinga gramíneo-lenhosa à direita (figura 26b). Fonte: acervo do autor.

As figuras 27a e 27b são respectivamente fotos de campo da caatinga parque e caatinga rupestre. A fotografia referente à caatinga parque não foi obtida na área de estudo, já que esta classe não foi observada em campo, esta imagem se refere à uma área no Piauí, próximo à Serra da Capivara, obtida em meados de 2014, é evidente o porte mais robusto da vegetação nas margens dos corpos hídricos.

A figura 27b é referente à uma área de caatinga rupestre localizada em uma área conhecida como Lajedo do Bravo, há um predomínio de cactáceas nesta imagem, contudo, em outros locais onde ocorre esta classe há o predomínio de bromeliáceas ou de ambas.



Figura 27a e 27b: Caatinga parque à esquerda (figura 27a). Caatinga rupestre à direita (figura 27b). Fonte: acervo do autor.

A figura 28a é uma imagem representativa da classe “formação higrófila” que consiste em vegetação cosmopolita ou introduzida. Neste caso, a única espécie vista na imagem é a algaroba, que tem como característica formar árvores robustas que

persistem verdejantes mesmo durante períodos longos de seca. A figura 28b é de um núcleo urbano, representativo da classe “outros”, muito comum no interior da bacia. Estes núcleos urbanos geralmente são rarefeitos, sem a presença de prédios.



Figura 28a e 28b: À esquerda, formação higrófila composta exclusivamente por algarobas (figura 28a). À direita, núcleo urbano, com a Serra Branca ao fundo (figura 28b). Fonte: Acervo do autor.

A figura 29a é do Açude do Taperoá, que por ser o maior açude da bacia ainda apresentava água em seu leito, mesmo abaixo dos níveis normais, no período do trabalho de campo. A figura 29b é representativa da classe afloramentos, e está localizada em uma área não vegetada do Lajedo do Bravo.



Figura 29a e 29b: À esquerda (figura 29a) açude do Taperoá, representativo da classe água. À direita, afloramento rochoso, representativo da classe afloramentos (figura 29b). Fonte: acervo do autor.

Os pontos de campo não foram utilizados na etapa de validação pelo fato de não estarem bem distribuídos na bacia e da amostragem para algumas classes estar baixa, o que poderia gerar resultados tendenciosos.

O levantamento de pontos de controle de algumas das classes foi dificultada pela curta duração do trabalho de campo e da acessibilidade de alguns pontos, que pela ausência de acessos ou por se localizarem em propriedades privadas impossibilitaram a entrada para observação.

Neste cenário, o planejamento do trabalho de campo priorizou rotas que abrangessem a maior parte da bacia, dentro do cronograma disponível, e áreas de dúvida, o que foi essencial na etapa de edição manual.

5.2. Mapeamento

Durante o processo de modelagem do conhecimento, foram realizados testes com os dados temáticos de geologia, solos e geomorfologia como parâmetros. Houveram bons resultados, principalmente para a classe “caatinga rupestre”, com o mapa geológico da região como parâmetro. Contudo, outros parâmetros se mostraram igualmente apropriados, optando-se por manter a árvore de processo mais simples para a definição das funções e intervalos, ou seja, que não agregassem generalizações.

Neste contexto, os dados temáticos ou funcionariam principalmente como um filtro, caso a modelagem a partir dos outros parâmetros não fosse suficiente, o que não aconteceu, visto isso, optou-se por não utilizá-los na modelagem do conhecimento.

Avaliação do mapeamento feita a partir do índice Kappa apresentou os resultados da tabela 12, segundo o modelo de concordância de LANDIS E KOCH (1977).

Tabela12: Concordância e porcentagem do índice Kappa para o mapeamento total.

Classe	Índice Kappa	Concordância
Caatinga Gramíneo-lenhosa	0,8581	Quase perfeito
CaatingaLenhosa	0,8827	Quase perfeito
Caatinga Rupestre	1	Quase perfeito
Formação Higrófila	0,8846	Quase perfeito
Outros	0,9073	Quase perfeito

O resultado apresentado na tabela anterior foi obtido após o processo de edição manual, que alterou apenas 1,14% da área mapeada através da modelagem, o que indica uma modelagem do conhecimento satisfatória, com índices Kappa altos.

O mapeamento final pode ser observado na figura 30. Alguns padrões de distribuições de tipologias podem ser observados. Primeiramente a distribuição da Formação higrófila, que acompanha alguns dos corpos hídricos, muitas vezes delimitando as margens e contornos de algumas drenagens.

Este padrão foi constantemente observado em campo, onde leitos de rios intermitentes e efêmeros secos eram delimitados por algaroba (*Prosopis juliflora*). Nas margens de alguns açudes, predominavam vegetação fortemente degradada e algarobas, contudo, nos rios, a presença dos “algarobais” era mais marcante.

Além disto, o período seco que se estendeu pelos últimos cinco anos diminuiu e até mesmo secou a lâmina d’água dos açudes, com isto houve o crescimento de vegetação em áreas antes cobertas com águas, como é possível observar no açude Epitácio Pessoa, onde houve o crescimento de algarobas onde antes havia água.

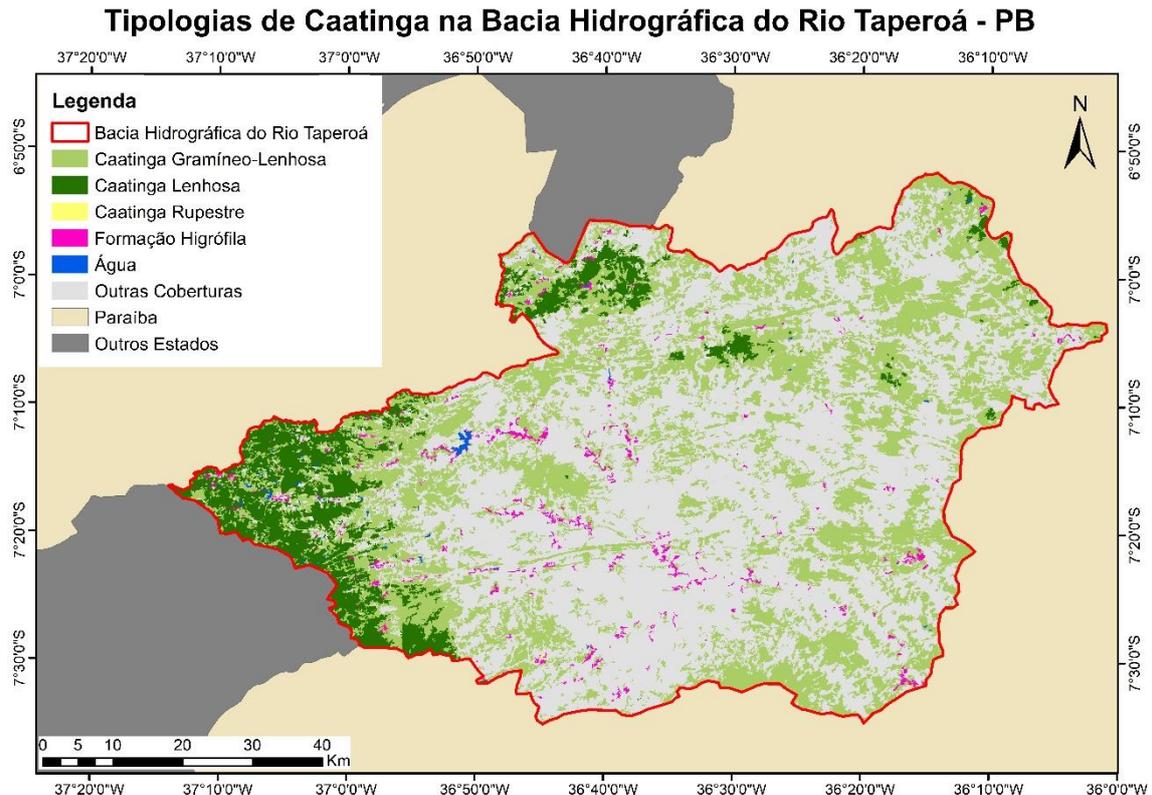


Figura 30: Mapeamento de tipologias de Caatinga na bacia hidrográfica do rio Taperoá.

Durante o campo de validação não foi observada a classe “caatinga parque”, como já foi mencionado anteriormente, o que refletiu na sua incorporação à classe “Formação Higrófila”.

Toda a vegetação localizada às margens de corpos hídricos, que foram observadas em campo, eram compostas por algaroba (*Prosopis juliflora*), raras vezes entremeadas por espécies nativas. Sendo assim, mesmo com a presença de espécies da caatinga, a presença da algaroba indica forte ação antrópica sobre a vegetação, logo, optou-se por agrupar estas classes.

É difícil afirmar se havia vegetação nativa nas margens da maior parte destes corpos hídricos antes da inserção da algaroba, realizada no ano de 1922 para fins de reflorestamento (MELO, 1999), ou se a espécie se estabeleceu e dispersou por locais onde vegetação nativa não se estabelecia. Para isto é necessária uma análise mais minuciosa que não é a finalidade deste trabalho.

A classe “caatinga lenhosa” está concentrada em áreas de menor ocupação humana e de topografia um pouco mais elevada. Como pode ser visto na figura 30 há uma concentração desta vegetação mais densa na margem oeste da bacia.

É impreciso afirmar se este padrão se deve ao histórico de plantio de algodão e de outras atividades econômicas, como a criação de caprinos, em áreas rebaixadas do semi-árido e conseqüentemente da bacia, embora sejam coincidentes. Contudo, há um forte condicionante sistêmico, já que áreas mais elevadas tendem a ter uma taxa de pluviosidade um pouco mais elevada, decorrente de efeito orográfico sobre as nuvens.

A classe “caatinga rupestre” foi observada em alguns pontos no campo, contudo apenas um fragmento havia extensão suficiente para ser mapeado através de imagens orbitais Landsat 8. Logo, poucas áreas deste tipo de vegetação estão no mapeamento final.

Alguns enclaves de floresta úmida foram incluídos na classe “formação higrófila”, já que não se enquadram em vegetação de caatinga e apresentam um caráter cosmopolita, estando dentro da definição da classe que foram incluídas. Um dos locais onde isto ocorreu foi na localidade conhecida como Lajedo do Bravo, onde há diversos núcleos de árvores de grande porte de espécies que não são típicas da caatinga, como pode ser observado na figura 31a e 31b.



Figura 31a e 31b: A esquerda (figura 31a) *Philodendron bipinnatifidum* sobre tronco de árvore de grande porte. A direita (figura 31b), transição entre fisionomia vegetal de grande porte e lajedo. Fonte: acervo do autor.

A tabela 13 apresenta o quantitativo das classes mapeadas. É evidente que a maior parte da bacia não é coberta por vegetação de caatinga, e isto se explica tanto por fatores naturais quanto pela atividade antrópica.

Os fatores naturais que influenciam este quantitativo são os afloramentos rochosos e leitos de rios intermitentes, onde não houve a formação de solo, seja por uma resistência ao intemperismo, no caso das rochas, ou pela constante movimentação de sedimentos, no caso das calhas de rios. Sem a pedogênese, o estabelecimento de vegetação é dificultado.

No caso das atividades antrópicas, as que mais influenciam são a mineração, pecuária, agricultura e urbanização. No caso da pecuária extensiva, que predomina na área, há uma forte degradação da vegetação rasteira, já que os caprinos tendem a comer gramíneas, retirando boa parte desta vegetação na área em que pastam.

Tabela 13: Área em Km² das classes mapeadas e suas respectivas porcentagens.

Classe	Área em Km ²	Porcentagem
Caatinga Gramíneo-lenhosa	2.112,300113	35,835%
Caatinga Lenhosa	479,239454	8,130%
Caatinga Rupestre	0,41445	0,007%
Formação Higrófila	71,002723	1,204%
Outros	3.231,618399	54,824%
Total	5.894,575139	100%

Quanto à vegetação de caatinga, há um predomínio de caatinga gramíneo-lenhosa sobre as outras classes, o que como foi mencionado anteriormente e é citado por ANDRADE-LIMA (1981). É impreciso de se afirmar que é decorrente da ocupação humana, ou se deve a fatores naturais.

A retirada de indivíduos vegetais com lenho para a utilização para a produção de energia, pode ser um fator que explique esse padrão, já que há o predomínio de caatinga gramíneo-lenhosa em áreas de maior ocupação.

Neste contexto, também há um padrão de distribuição da caatinga lenhosa, onde as áreas ocupadas por este tipo vegetal são circundadas, majoritariamente, por caatinga gramíneo-lenhosa, o que pode indicar uma transição natural entre as duas tipologias, ou um padrão de degradação antrópica, talvez ambos.

6. Conclusões

A classificação de CAVALCANTI (2014) teve uma boa aplicabilidade a partir de GEOBIA, apesar da classe “Caatinga Parque” ter sido agrupada à “Formação Higrófila” decorrente de características da bacia estudada.

Não foram utilizados os dados temáticos para a modelagem das classes, já que bons resultados foram obtidos sem eles, e como todo dado temático carrega com si um grau de generalização que não pode ser mensurado ao adquirir o dado, foi decidido utilizar outros dados como parâmetros. Contudo, alguns testes foram realizados e o uso destes dados para modelagem do conhecimento é promissor, embora tenha-se optado por não utilizar estes dados na modelagem final.

Isto pode ter sido favorecido pelas características da bacia, talvez em outras áreas torne-se necessário o acréscimo dos dados temáticos como parâmetros na modelagem do conhecimento.

As paisagens do semiárido brasileiro são muito dinâmicas, alguns erros de classificação que ocorreram entre as classes “água” e “verde” se devem em grande parte ao extenso período de seca ocorrido nos últimos anos, o que causa a diminuição da lâmina de água dos açudes, ou até mesmo a sua completa secagem. Com isto, há o crescimento de vegetação em áreas que antes eram alagadas. Neste contexto, como foram usadas

imagens de duas datas, uma para o período seco e outra para o período úmido, houve a classificação de algumas áreas de açudes como “verde”, o que em alguns casos precisou ser corrigido manualmente.

O campo foi realizado em um período de seca prolongada, o que pode resultar em erros de interpretação das classes em campo, já que a maior parte da vegetação estava completamente sem folhas, sendo necessário um trabalho de campo em um período úmido a fim de comparar as interpretações.

Além disto, também é necessário uma maior amostragem de pontos de controle em solo para todas as classes mapeadas em uma área mais extensa da bacia, a fim de viabilizar uma avaliação do mapeamento mais rigorosa.

Considerações Finais

É importante haver novos mapeamentos, principalmente de áreas maiores, utilizando a mesma modelagem do conhecimento e tipologia de caatinga, a fim de avaliar a reprodutibilidade da mesma. Já que para a área estudada, ela se mostrou satisfatória.

Associado a isto, novas contribuições de mapeamentos utilizando outros sensores são essenciais para complementar a produção de conhecimento sobre a bacia, e sobre o semiárido como um todo, e poderão elucidar relações geossistêmicas que poderão cada vez mais contribuir para a produção de conhecimento sobre a caatinga e para a modelagem do conhecimento.

A classificação de CAVALCANTI (2014) permite, além de classificar os remanescentes de caatinga, obter, a partir da classe “formação higrófila”, um panorama de enclaves e dispersão de espécies cosmopolitas ou introduzidas no semiárido. Isto tem um grande potencial em análises biogeográficas, e de dispersão de espécies introduzidas.

As tipologias propostas por CAVALCANTI (2014) tiveram uma boa aplicabilidade em imagens Landsat 8 (sensor OLI), que são de média resolução espacial. Contudo, é necessário aplicar a mesma classificação em imagens de outros sensores, principalmente de alta resolução espacial, a fim de comparar a aplicabilidade desta proposta de tipologia em sensores diversos.

Uma análise temporal das mudanças na distribuição da formação higrófila pode elucidar dinâmicas espaciais no semiárido. Sendo viável, a partir da metodologia utilizada neste trabalho, um estudo futuro que tenha como objeto de investigação apenas formação higrófila.

Neste sentido, há a confluência do conhecimento sistêmico com GEOBIA, havendo uma forte relação entre ambos. Com este trabalho espera-se contribuir para uma maior exploração de ambos no semiárido brasileiro, e também em outros biomas, a fim de otimizar a modelagem do conhecimento.

Além disto, mapeamentos de vegetação de caatinga são fundamentais para a compreensão e preservação deste bioma. Embora haja ainda um quantitativo baixo de mapeamentos desta vegetação em detalhe. Espera-se com isso, contribuir para iniciativas futuras de mapeamentos, além da contribuição do próprio mapeamento obtido.

Referências Bibliográficas

- AB'SÁBER, A. N. Domínios da Natureza. São Paulo. Ateliê Editorial. 2003
- Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba. Disponível em:
<<http://geoserver.aesa.pb.gov.br/geoprocessamento/geoportal/index.php>>
- ALMEIDA, V. N; CUNHA, S. B; NASCIMENTO, F. R. **A cobertura Vegetal e Sua Importância na Análise Morfodinâmica da Bacia Hidrográfica do Rio Taperoá – Nordeste do Brasil/Paraíba.** Revista Geonorte, Edição Especial, V.3, N.4, p. 365-378. 2012
- ALMEIDA, V. N; CUNHA, S. B; NASCIMENTO, F. R. **A cobertura Vegetal e Sua Importância na Análise Morfodinâmica da Bacia Hidrográfica do Rio Taperoá – Nordeste do Brasil/Paraíba.** 2012
- ANDRADE-LIMA, D. The Caatinga Dominium. Revista Brasileira de Botânica. v.4: p.149-153. 1981
- BERTALANFFY, L.V. **General System Theory.** 1968
- BERTRAND, G. **Paisagem e geografia física global: esboço metodológico.**2004.
- CASTRO, I.E. GOMES,P.C.C. CORRÊA, R.L. **Geografia: Conceitos e Temas.** 2012
- CASTRO, I.E. **Natureza, Imaginário e a Reinvenção do Nordeste.** 2001.
- CASTRO, I.E. **O mito da Necessidade.** 1992.
- CAVALCANTI, L. C. S. Cartografia de Paisagens. São Paulo. Oficina de Textos. 2014
- CHAVES, I. de B.; LOPES, V. L.; FOLLIOTT, P. F.; PAES-SILVA, A. P. **Uma classificação morfo-estrutural para descrição e avaliação da biomassa da vegetação da caatinga.** Revista Caatinga. vol. 21. n. 2. p.204-213. 2008.
- CHISTOFOLETTI, A. **Modelagem de Sistemas Ambientais.** 1999
- CHRISTOPHERSON, R.W. **Geossistemas: Uma Introdução à Geografia Física.** 2012
- COSTA, J. A. **O Fenômeno El Niño e as Secas no Nordeste do Brasil.** Revista Científica do IFAL, v. 1, n. 4, jan./jul. 2012.
- COUTINHO, L. M. **O Conceito de Bioma.** 2006

- CUNHA, J. E. B. L. TAVEIRA, I. M. M. FILHO, D. F. A. SILVA, A. R. S. RUFINO, I. A. A. Dinâmica Interanual da Cobertura do Solo em Região Semiárida Utilizando Sensores Orbitais. In: XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. 2011.
- DUARTE, S. M. A. O Desastre da Desertificação no Município de Taperoá, Estado da Paraíba, Brasil. 2008. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Campina Grande.
- FRANCISCO, C. N. ALMEIDA, C.M. Data Mining Techniques and GEOBIA Applied to Land Cover Mapping. In: Proceedings of the 4th GEOBIA. p.89-94. 2012.
- FRANCISCO, C. N. ALMEIDA, C.M. **Data Mining Techniques and GEOBIA Applied to Land Cover Mapping.** 2012
- FRANCISCO, C. N. e ALMEIDA, C.M. **Mineração de dados e análise de imagens baseada em objeto aplicadas ao mapeamento de cobertura da terra.** 2013
- FUSCO, W & OJIMA, R. **Migrações e Nordestinos Pelo Brasil: Uma Breve Contextualização.** In: **Migrações Nordestinas no Século XXI: Um Panorama Recente.** Organizadores: OJIMA, R. & FUSCO, W. Editora Edgard Blücher. 2014.
- GIONGO, V. **Balço de Carbono no Semiárido Brasileiro: Perspectivas e Desafios.** In: Desertificação e mudanças climáticas no semiárido brasileiro. Editores: LIMA, R. C. C.; CAVALCANTE, A. M. B.; PEREZ-MARIN, A. M. Campina Grande. INSA-PB. 2011.
- HAY, G.J., CASTILLA, G. Geographic object-based image analysis (GEOBIA): A new name for a new discipline. In: Blaschke, T., Lang, S., Hay, G.J. (eds.), Object-Based Image Analysis. Springer, Berlin, Germany, pp. 75–89. 2008
- IBGE. Manual Técnico da Vegetação Brasileira. Rio de Janeiro. IBGE. 2012
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Mapa de Biomas e de Vegetação.** 2004. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/21052004biomashtml.shtm>>
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Sistema IBGE de Recuperação Automática – SIDRA.** Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br/>>
- LANDIS, J.; KOCH, G. **The measurement of observer agreement for categorical data.** Biometrics. Vol. 33. pp. 159–174, 1977.

- LANG, S. Object-based image analysis for remote sensing applications: modeling reality – dealing with complexity. In: BLASCHKE, T. LANG, S. HAY, G. J. Object-Based Image Analysis: Spatial for Knowledge-Driven Remote Sensing Applications. 2008.
- LEAL, R. I; TAMBARELLI, R.I.; CARDOSO DA SILVA, J. M. Ecologia e Conservação da Caatinga: Uma introdução ao desafio. In: Ecologia e conservação da caatinga. Editores: LEAL, I. R., TABARELLI, M., CARDOSO DA SILVA J. M. 2003
- LIMA, R. C. C. Avaliação de desertificação no Semiárido Paraibano Utilizando Geotecnologias. 2010. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual da Paraíba.
- MELO, J. C. O fenômeno El Niño e as secas no Nordeste do Brasil. Revista Raízes. Ano XVIII. Nº 20. 1999
- MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Biodiversidade Brasileira**. 2012. Disponível em: < http://www.mma.gov.br/estruturas/chm/_arquivos/biodivbr.pdf>
- MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Caatinga: Exclusivamente Brasileira**. Disponível em: http://mma.gov.br/estruturas/203/_arquivos/agenda_caatinga_203.pdf
- MOUTA-FÉ, M. M. **Geoturismo: Uma Proposta de Turismo Sustentável e Conservacionista Para a Região Nordeste do Brasil**. Revista Sociedade & Natureza. Uberlândia. 2015.
- NICHOLS, G. **Sedimentology and Stratigraphy**. Wiley-Blackwell. 2009.
- ODUM, E. P. **Fundamentos de Ecologia**. 2001
- PINHO, C. M. D. **Análise orientada a objetos de imagens de satélites de alta resolução espacial aplicada à classificação de cobertura do solo no espaço intra-urbano: o caso de São José dos Campos – SP**. 2006. 180p. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, SP. 2006.
- PONZONI, F. J; SHIMABUKURO, Y. E; KUPLICH, T. M. Sensoriamento Remoto da Vegetação. São Paulo. Oficina de Textos. 2012
- PRADO, D. E. As Caatingas da América do Sul. In: Ecologia e conservação da caatinga. Editores: LEAL, I. R., TABARELLI, M., CARDOSO DA SILVA J. M. 2003

RIBEIRO, R. W. **Seca e Determinismo: a Gênese do Discurso do Semi-árido Nordeste.** 1999

SAMPAIO, E.V.S.B. Características e potencialidades. In: Uso sustentável e conservação dos recursos florestais da caatinga. Maria Auxiliadora Gariglio... [et al.], Org. 2010.

SAMPAIO, E.V.S.B. **Características e potencialidades.** In: Uso sustentável e conservação dos recursos florestais da caatinga. Maria Auxiliadora Gariglio... [et al.], Org. 2010.

SANTOS, J. M. **Estratégias de convivência para a conservação dos recursos naturais e mitigação dos efeitos da desertificação no semiárido.** In: Desertificação e mudanças climáticas no semiárido brasileiro. Editores: LIMA, R. C. C.; CAVALCANTE, A. M. B.; PEREZ-MARIN, A. M. Campina Grande. INSA-PB. 2011.

SANTOS, M. **Metamorfose do espaço habitado.** 2008

SAUER, C. O. **The Morphology of Landscape.** 1925

SCHISTEK, H. Caatinga, um bioma desconhecido e a “Convivência com o Semi Árido”. Revista do Instituto Humanitas Unisinos. N°389. 2012. Entrevista concedida a Thamiris Magalhães. Disponível em: <http://fmclimaticas.org.br/wp-content/uploads/2014/03/Caatinga-um-bioma-exclusivamente-brasileiro.pdf>

SciELO. Disponível em : < <http://www.scielo.org/php/index.php> >

SEABRA, V.S. XAVIER, R.A. DAMASCENO, J. DORNELLAS, P.C. Mapeamento de Uso e Cobertura do Solo da Bacia do Rio Taperoá: Região Semiárida do Estado da Paraíba. Revista Caminhos de Geografia. v. 15, n. 50. 2014

SENTIS, I. P. **Soil Salinization and Land Desertification.** Geoformas Ediciones. 1996

SUGUIO, K. **Geologia do Quaternário e Mudanças Ambientais.** Oficina de textos. São Paulo. 2010.

TROLL, C. **A paisagem Geográfica e sua investigação.** N. 4. Rio de Janeiro-RJ: Revista Espaço e Cultura, 1997. Disponível em: <<http://www.epublicacoes.uerj.br/index.php/espacoecultura/issue/view/515>>

U.S GEOLOGICAL SURVEY. Disponível em: <<http://www.usgs.gov/>>

VELOSO, H. P.; GÓES-FILHO, L. *Fitogeografia brasileira: classificação fisionômi-ecológica da vegetação neotropical*. Salvador. IBGE. 1982.

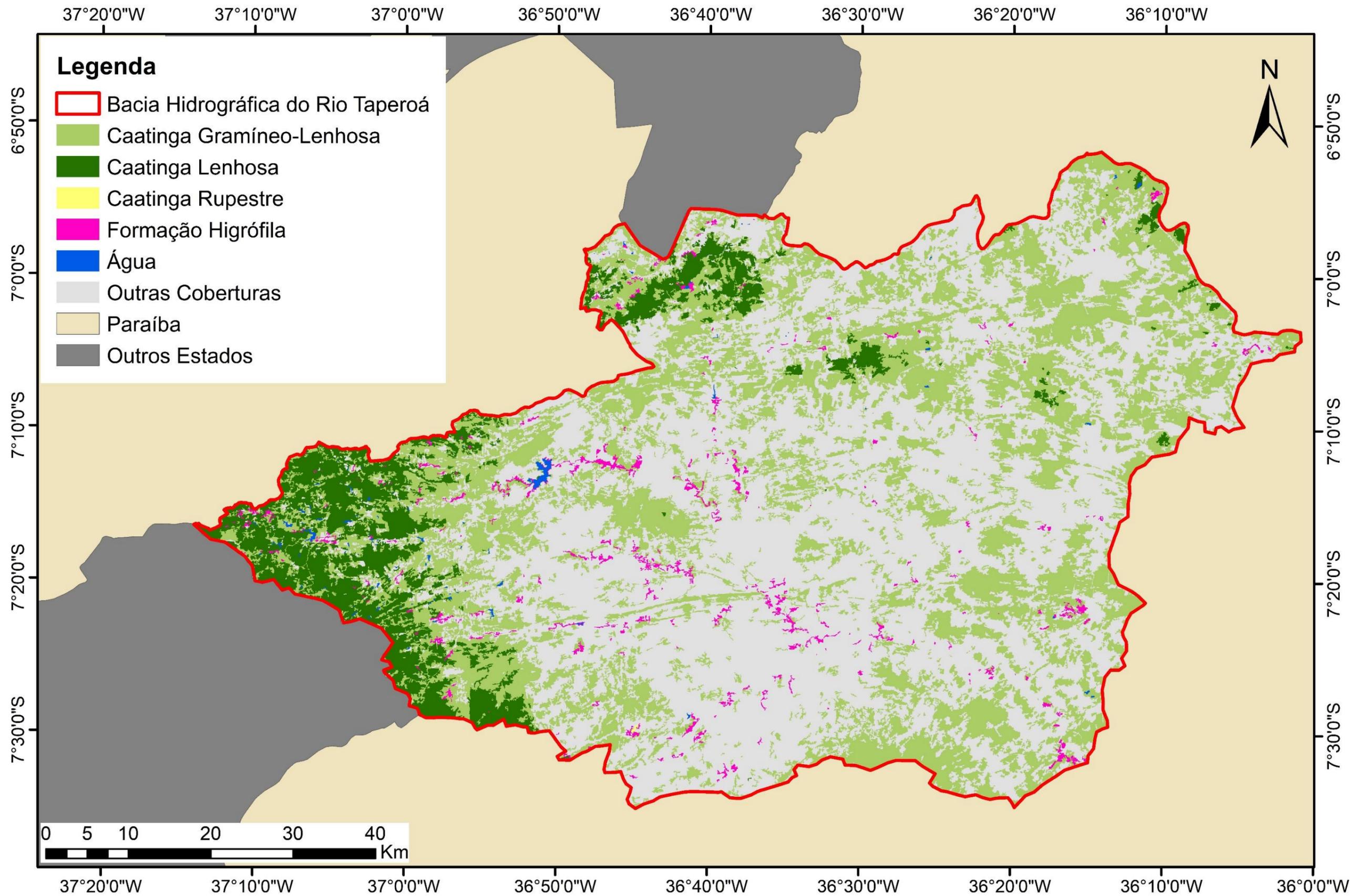
VELOSO, H. P.; GÓES-FILHO, L. **Fitogeografia brasileira: classificação fisionômico- ecológica da vegetação neotropical**. 1982.

WICANDER, R. MONROE, J. S. **Fundamentos de Geologia**. 2009

XAVIER, R.A.; SEABRA, V. S.; DORNELLAS, P.C.; DAMASCENO, J. Mapeamento de Unidades Geomorfológicas na Bacia do Rio Taperoá, Região Semiárida da Paraíba, Utilizando Modelo Digital de Elevação (MDE) Topodata. *Revista Geo-norte* v. 5, n. 16, p. 197 – 202. 2014.

XAVIER, R.A.; SEABRA, V. S.; DORNELLAS, P.C.; DAMASCENO, J. **Mapeamento de Unidades Geomorfológicas na Bacia do Rio Taperoá, Região Semiárida da Paraíba, Utilizando Modelo Digital de Elevação (MDE) Topodata**. 2014.

Tipologias de Caatinga na Bacia Hidrográfica do Rio Taperoá - PB



Anexo 1: Mapeamento de Tipologias de Caatinga na Bacia Hidrográfica do Rio Taperoá.