

Geotecnologias aplicada à Estudos Ambientais



PAULO ROBERTO MEGNA FRANCISCO
GEORGE DO NASCIMENTO RIBEIRO
GUTTEMBERG DA SILVA SILVINO
FREDERICO CAMPOS PEREIRA
JOÃO MIGUEL DE MORAES NETO
VIRGÍNIA MIRTES DE ALCÂNTARA SILVA

Geotecnologias aplicada à **Estudos Ambientais**

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL DA UFCG

G352 Geotecnologias aplicada à estudos ambientais / Paulo Roberto Megna Francisco ... [et al.].

— Campina Grande: EPGRAF, 2018.
188 p.: il. color.

ISBN: 978-85-60307-35-7

1. Geoprocessamento. 2. SIG. 3. Análise Ambiental. 4.
Recursos Naturais. I. Francisco, Paulo Roberto
Megna.

CDU 504.5

Os capítulos ou materiais publicados são de inteira responsabilidade de seus autores.
As opiniões neles emitidas não exprimem, necessariamente, o ponto de vista do Editor responsável.
Sua reprodução parcial está autorizada desde que cite a fonte.

Editoração, Revisão e Arte da Capa

Paulo Roberto Megna Francisco

Conselho Editorial

Aline Costa Ferreira (CCTA-UFCG)

Djail dos Santos (CCA-UFPB)

Dermeval Araújo Furtado (CTRN-UFCG)

Eduardo Rodrigues Viana de Lima (CCEN-UFPB)

George do Nascimento Ribeiro (CDSA-UFCG)

Josivanda Palmeira Gomes (CTRN-UFCG)

João Miguel de Moraes Neto (CTRN-UFCG)

José Wallace Barbosa do Nascimento (CTRN-UFCG)

Lúcia Helena Garófalo Chaves (CTRN-UFCG)

Luciano Marcelo Fallé Saboya (CTRN-UFCG)

Paulo Roberto Megna Francisco (CCT-UEPB)

Soahd Arruda Rached Farias (CTRN-UFCG)

Virgínia Mirtes Alcântara (CTRN-UFCG)

Paulo Roberto Megna Francisco
George do Nascimento Ribeiro
Guttemberg da Silva Silvino
Frederico Campos Pereira
João Miguel de Moraes Neto
Virgínia Mirtes de Alcântara Silva
(Organizadores)

Geotecnologias aplicada à Estudos Ambientais



1.a Edição
Campina Grande-PB
2018

Realização

**® Portal Tecnológico
de Divulgação Científica**
Eventos, Pesquisas e Inovação



Apoio



**EPGRAF
1.a Edição
Campina Grande-PB
2018**

SUMÁRIO

| | |
|---|-----|
| <i>APRESENTAÇÃO</i> | 7 |
| <i>Capítulo 1</i> | 8 |
| <i>ANÁLISE DE DIFERENTES TIPOS DE USO DO SOLO DA REGIÃO SEMIÁRIDA UTILIZANDO O ÍNDICE DE VEGETAÇÃO DE DIFERENÇA NORMALIZADA</i> | 8 |
| <i>Capítulo 2</i> | 17 |
| <i>ANÁLISE DA COBERTURA VEGETAL DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PICUI ATRAVÉS DO ÍNDICE DE VEGETAÇÃO POR DIFERENÇA NORMALIZADA (NDVI)</i> | 17 |
| <i>Capítulo 3</i> | 26 |
| <i>ANÁLISE DA COBERTURA VEGETAL EM REGIÃO SEMIÁRIDA DO NORDESTE BRASILEIRO POR SENSORIAMENTO REMOTO</i> | 26 |
| <i>Capítulo 4</i> | 35 |
| <i>ANÁLISE ESPAÇO-TEMPORAL DO COMPORTAMENTO VOLUMÉTRICO DO AÇUDE SUMÉ-PB, UTILIZANDO SENSORES ORBITAIS</i> | 35 |
| <i>Capítulo 5</i> | 43 |
| <i>APTIDÃO CLIMÁTICA DA CULTURA DO FEIJÃO CAUPI (Vigna unguiculata (L.) Walp.) PARA O ESTADO DA PARAÍBA ATRAVÉS DE GEOPROCESSAMENTO</i> | 43 |
| <i>Capítulo 6</i> | 53 |
| <i>CARACTERIZAÇÃO DOS SISTEMAS DE PRODUÇÃO E DAS PROPRIEDADES RURAIS NO EXTREMO SUL DA BAHIA</i> | 53 |
| <i>Capítulo 7</i> | 65 |
| <i>CARACTERIZAÇÃO GEOGRÁFICA E MAPEAMENTO DA COBERTURA DO SOLO DO ASSENTAMENTO RURAL PATATIVA DO ASSARÉ</i> | 65 |
| <i>Capítulo 8</i> | 75 |
| <i>CARACTERIZAÇÃO MORFOMÉTRICA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO PARNAÍBA, PIAUÍ, BRASIL</i> | 75 |
| <i>Capítulo 9</i> | 87 |
| <i>EVOLUÇÃO ESPAÇO-TEMPORAL DA VEGETAÇÃO EM REGIÃO SEMIÁRIDA</i> | 87 |
| <i>Capítulo 10</i> | 102 |
| <i>ESTUDO DA DINÂMICA TEMPORAL NA COBERTURA VEGETAL DO MUNICÍPIO DE SUMÉ-PB</i> | 102 |
| <i>Capítulo 11</i> | 116 |
| <i>MAPEAMENTO DO POTENCIAL PEDOCIMÁTICO DO ESTADO DA PARAÍBA PARA A CULTURA DA MANDIOCA (Manioth esculenta Crantz) ATRAVÉS DO LEGAL</i> | 116 |
| <i>Capítulo 12</i> | 127 |
| <i>USO DE GEOTECNOLOGIAS APLICADAS À PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS EM ÁGUAS DE POÇOS PÚBLICOS NA ZONA URBANA DE TRIUNFO/PB</i> | 127 |
| <i>Capítulo 13</i> | 139 |
| <i>USO DE GEOTECNOLOGIAS E DE TÉCNICAS DE DESCRIÇÃO E LEVANTAMENTO EM CAMPO NO MAPEAMENTO DAS TIPOLOGIAS DE CAATINGA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO TAPEROÁ, PB</i> | 139 |
| <i>Capítulo 14</i> | 154 |
| <i>USO DE IMAGENS LANDSAT NA CARACTERIZAÇÃO DOS SISTEMAS DE PRODUÇÃO DE CAPRINOS E OVINOS NA CHAPADA DAS MANGABEIRAS NO ESTADO DO PIAUÍ</i> | 154 |
| <i>Capítulo 15</i> | 168 |
| <i>USO DE GEOTECNOLOGIAS NAS RELAÇÕES ENTRE ATRIBUTOS FÍSICOS E QUÍMICOS DO SOLO E USO DA ÁGUA EM ARROZ VERMELHO NO VALE DO PIANCÓ</i> | 168 |
| <i>Capítulo 16</i> | 178 |
| <i>USO DE GEOTECNOLOGIAS PARA APLICAÇÃO URBANA</i> | 178 |
| <i>Curriculum dos Organizadores</i> | 188 |

“Na Ciência, o crédito vai para o homem que convence o mundo, não para aquele a quem a ideia primeiro ocorreu”

Sir Francis Darwin
Botânico Britânico
Eugenics Review (1914)

APRESENTAÇÃO

Com o crescente aumento do índice de crescimento populacional há conseqüentemente a necessidade do aumento da produção, causando maior demanda energética, aumento dos processos de degradação ambiental e uso crescente dos recursos hídricos. As geotecnologias, especialmente depois do avanço do sensoriamento remoto, permitiram o perfeito conhecimento dos recursos naturais (água, solo e vegetação) possibilitando assim, uma melhor avaliação do potencial de uso das terras para que sua exploração seja desenvolvida de forma mais sustentável. Essas geotecnologias englobam um conjunto de técnicas através do processamento de uma base de dados georreferenciados, constituindo uma valiosa ferramenta na análise do espaço geográfico possibilitando assim o desenvolvimento regional planejado e de forma adequada.

O livro Geotecnologias aplicadas à estudos ambientais é um exemplo da aplicação dessas novas tecnologias no estudo dos recursos naturais, com grande ênfase no uso do solo e da água, sistemas de produção, cobertura vegetal, estudo de bacias hidrográficas e dinâmica demográfica, sendo todos desenvolvidos nas regiões semiáridas e no nordeste brasileiro.

A presente obra visa à divulgação de trabalhos e pesquisas utilizando geotecnologias como também incentivar os futuros engenheiros, pesquisadores e professores na elaboração de projetos em prol do desenvolvimento técnico científico aplicado ao uso racional dos recursos naturais.

Apesar do caráter técnico científico, a forma clara e objetiva em que estão apresentados os resultados e as conclusões permite que os gestores, especialmente aqueles que mantêm quadros técnicos mais especializados, norteiem seu planejamento através de informações relevantes do ponto de vista do desenvolvimento sustentável.

Este livro possui conteúdos interdisciplinares, com informações das diversas áreas da engenharia alicerçadas no uso de geotecnologias aplicadas ao estudo e desenvolvimento das atividades agrícolas e ambientais.

Dr. João Miguel de Moraes Neto

Prof. Titular da UFCG

Março/2018

Capítulo 1

ANÁLISE DE DIFERENTES TIPOS DE USO DO SOLO DA REGIÃO SEMIÁRIDA UTILIZANDO O ÍNDICE DE VEGETAÇÃO DE DIFERENÇA NORMALIZADA

¹Paulo Roberto Megna Francisco

²Iêde de Brito Chaves

³Lúcia Helena Garófalo Chaves

⁴Eduardo Rodrigues Viana de Lima

¹Pós-Doutor em Ciência do Solo, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande-PB, paulomegna@gmail.com

²Prof. Dr. Visitante, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande-PB, iedebchaves@hotmail.com

³Prof.a Dra. Centro de Recursos Naturais, Departamento de Eng. Agrícola da Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande-PB, lhgarofalo@hotmail.com

⁴Prof. Dr. do Centro de Ciências Exatas e da Natureza da Universidade Federal da Paraíba – UFPB, João Pessoa-PB, eduvianalima@gmail.com

Introdução

A caatinga é um bioma exclusivamente brasileiro que cobre grande parte da área de clima semiárido do nordeste do Brasil (BRASIL, 2005). O bioma Caatinga caracteriza-se por apresentar uma grande diversidade de paisagens. O estudo dessas paisagens vem se aprimorando, mas ainda carece de maior detalhamento (CARVALHO & FREITAS, 2005) e o estudo e conservação dessa biodiversidade se constituem um dos maiores desafios do conhecimento científico brasileiro (TROVÃO et al., 2007).

Devido às várias décadas de uso impróprio e insustentável dos recursos naturais, a caatinga é bioma muito desgastado e é considerado o bioma brasileiro menos estudado, menos conhecido cientificamente e menos conservado (ALVES et al., 2009), embora seja de extrema resistência aos vários tipos de agressão. Recentemente foram feitos importantes estudos para melhorar e ampliar o conhecimento desta região e tentar minimizar ou reverter este processo.

Várias técnicas já foram utilizadas com o objetivo de se avaliar quantitativamente e qualitativamente o estado da vegetação a partir de imagens de satélite e índices de vegetação foram desenvolvidos a fim de reduzir o número de parâmetros presentes nas medidas multiespectrais. Tais índices têm sido usados na estimativa de vários parâmetros da vegetação (COSTA FILHO et al, 2007) como, por exemplo, a quantidade de biomassa verde (ELVIDGE & LYON, 1985).

Embora existam muitos índices de vegetação, o mais usado e conhecido atualmente é o denominado Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (IVDN), proposto por Rouse em 1973, que permite o monitoramento da densidade e do estado de vigor da vegetação verde sobre a superfície terrestre (COSTA FILHO et al., 2007). Segundo Ideão (2009), este índice é usado para identificar a presença de vegetação verde na superfície, o que permite caracterizar sua distribuição espacial, bem como a evolução do seu estado ao longo do tempo, a qual é determinada pelas variações das condições climáticas dominantes, bem como pelos ciclos fenológicos anuais (FOLHES, 2007).

Neste contexto este trabalho tem como objetivo analisar espectralmente a caatinga e seus diferentes tipos de uso utilizando o IVDN obtido a partir de imagens de satélite de média resolução espacial, usando o Índice de Biomassa da Vegetação Lenhosa (IBVL) para validação dos resultados.

Material e Métodos

A área de estudo compreende a bacia hidrográfica do rio Taperoá, com uma extensão territorial de 5.686,37 km². Abrange total ou parcialmente 22 municípios e localiza-se na região do Cariri, sobre o Planalto da Borborema, no estado da Paraíba (Figura 1).



Figura 1. Mapa de localização da área de estudo. Fonte: Adaptado de IBGE (2009); AESA (2010).

O rio Taperoá apresenta regime temporário e é um contribuinte do rio Paraíba. A área de sua bacia limita-se ao sul e sudeste, com as sub-bacias do Alto e Médio Paraíba, respectivamente; a nordeste com a bacia do rio Curimataú; a norte com bacia do rio Seridó, no estado da Paraíba e do Rio Grande do Norte, e a oeste com as bacias do rio Espinharas, na Paraíba e Pajeú, no estado de Pernambuco.

A bacia do rio Taperoá apresenta altitudes que variam, em grande parte, entre de 400m e 600m, relevo predominantemente suave ondulado e drenagem voltada para leste, o que facilita a penetração uniforme das massas atlânticas de sudeste, propiciando temperaturas amenas (<26°C) e uma gradual distribuição da precipitação. Nas áreas mais baixas a precipitação média anual é inferior a 400mm, aumentando com a altitude no sentido dos divisores da drenagem, onde pode ultrapassar os 800mm (FRANCISCO, 2010; AESA, 2010).

O clima é do tipo Bsh (semiárido quente), com chuvas apresentando uma forte variação na distribuição espacial, temporal e interanual, e uma estação seca que pode atingir 11 meses (VAREJÃO-SILVA et al., 1984).

A vegetação representativa da área de estudo é do tipo caatinga hiperxerófila, e de acordo com Barbosa et al. (2007) e Paes-Silva et al. (2003), as espécies mais encontradas são: a Malva (*Sida galheirensis* Ulbr.), Macambira (*Bromelia laciniosa* Mart. ex Schult. f.), Imburana (*Commiphora leptophloeos* (Mart.) J.B.Gillett), Mandacaru (*Cereus jamacaru* DC.), Xique-xique (*Pilosocereus gounellei* (F.A.C.Weber) Byles & G.D.Rowley), Facheiro (*Pilosocereus pachycladus* F.Ritter), Palmatória (*Tacinga palmadora* (Britton & Rose) N.P.Taylor & Stuppy), Mofumbo (*Combretum leprosum* Mart.), Marmeleiro (*Croton sonderianus* Müll.Arg.), Pinhão (*Jatropha mollissima* (Pohl) Baill.), Pinhão (*Jatropha ribifolia* (Pohl) Baill.), Jureminha (*Desmanthus virgatus* (L.) Willd.), Jurema-preta (*Mimosa tenuiflora* (Willd.) Poir.), Catingueira (*Caesalpinia pyramidalis* Tul), Pereiro (*Aspidosperma pyrifolium* Engl.), Marmeleiro (*Croton sonderianus* Muell. Arg.), Pinhão bravo (*Jatropha molíssima* (Pohl) Mull Arg.), e outras espécies nativas da região como o Angico (*Anadenathera macrocarpa* (Benth.) Brenan) e a Aroeira (*Myracrodruon urundeuva* Allemão).

Os solos representativos dos diferentes ambientes semiáridos diferem pela diversidade geológica e geomorfológica, ocorrendo com maior frequência os Neossolos Litólicos Eutróficos, Luvisolo Crômico vértico, Planossolo Solódico e Neossolo Regolítico Eutrófico (PARAÍBA, 2006) (Figura 2).

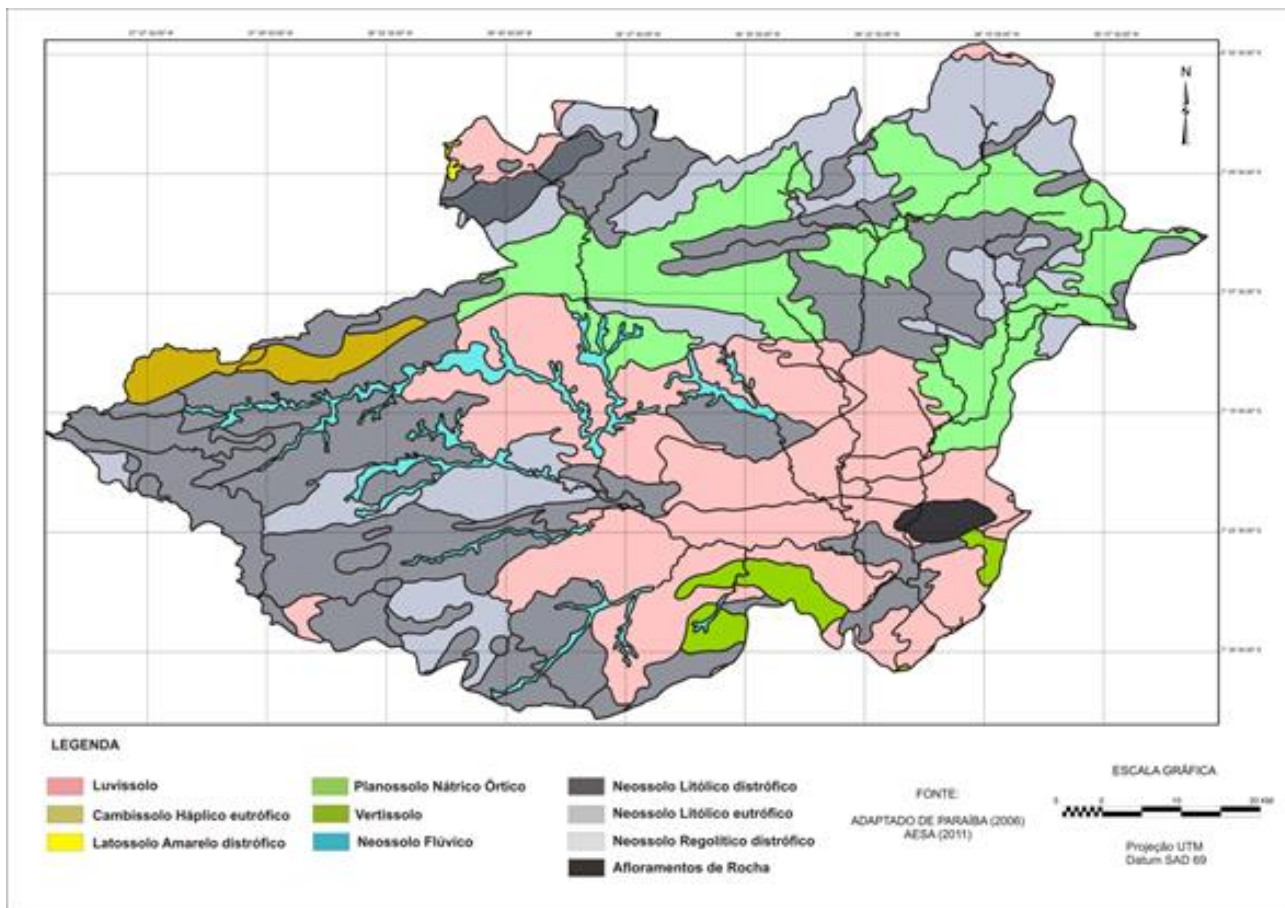


Figura 2. Mapa de solos da área de estudo. Fonte: Adaptado de PARAÍBA (2006); AESA (2011).

Neste trabalho foram utilizadas imagens do sensor TM LANDSAT 5, órbita 215, ponto 65 de 25/11/1996 e 29/10/2009, ambas do período seco. O Google Earth online foi utilizado para pré-selecionar os alvos terrestres representativos dos diferentes tipos de vegetação. As áreas pré-selecionadas foram visitadas para que fosse possível descrever e avaliar a vegetação em seus diferentes estágios de antropização utilizando o Índice de Biomassa da Vegetação Lenhosa (IBVL), segundo procedimento proposto por Chaves et al. (2008).

As imagens foram tratadas utilizando o software ERDAS 8.5, onde foram executadas as correções atmosférica e radiométrica, e obtidas as imagens de radiância e reflectância, de acordo com Silva et al. (2005a). As etapas seguintes correspondentes ao cômputo do índice de vegetação estão bem descritas em Silva et al. (2005b). Para a obtenção do Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (IVDN) foi utilizada a equação 1.

$$IVDN = (NIR - RED) / (NIR + RED) \quad (1)$$

Onde: NIR e RED correspondem às reflectâncias das bandas 4 e 3 do TM.

Após a obtenção das imagens-índices de vegetação (IVDN), para a imagem de 29/10/2009 foram realizadas leituras de seis pixels em torno de cada ponto representativo de 51 alvos identificados e descritos no campo, entre outubro e dezembro de 2011, para a determinação do IBVL. Os valores médios das leituras de cada ponto da imagem foram correlacionados com os valores do IBVL, estimados pelas características do porte e percentagem do recobrimento da vegetação de caatinga descrita de cada alvo.

Com o objetivo de mapear a vegetação de caatinga através do IVDN foi criada uma base de dados no SPRING 5.2, na projeção UTM/SAD69, importando as imagens-índices de vegetação e classificando-as com a utilização do programa LEGAL, de acordo com os limites das classes estabelecidos pela correlação com o IBVL.

Tabela 1. Classes de vegetação e correspondência entre valores do índice de biomassa da vegetação lenhosa (IBVL) e índice de vegetação da diferença normalizada (IVDN)

| Classes de IBVL | Valores de IBVL | Valores de IVDN |
|------------------------------------|-----------------|-----------------|
| Arbórea muito densa | >0,80 | >0,350 |
| Arbórea densa | 0,70 a 0,80 | 0,320 a 0,350 |
| Subarbórea densa | 0,60 a 0,70 | 0,300 a 0,320 |
| Subarbórea arbustiva densa | 0,50 a 0,60 | 0,285 a 0,300 |
| Arbustiva subarbórea densa | 0,40 a 0,50 | 0,265 a 0,285 |
| Arbustiva subarbórea aberta | 0,30 a 0,40 | 0,250 a 0,265 |
| Arbustiva subarbusativa aberta | 0,20 a 0,30 | 0,225 a 0,250 |
| Subarbusativa arbustiva rala | 0,15 a 0,20 | 0,200 a 0,225 |
| Subarbusativa arbustiva muito rala | 0,10 a 0,15 | 0,150 a 0,200 |
| Solo exposto | 0,00 a 0,10 | 0,000 a 0,150 |
| Corpos d'água | - | -1 a 0,000 |

Resultados e Discussão

Na Figura 3 observa-se a variação espectral de diferentes tipos de uso da terra, onde a mesma se comporta diferentemente na época úmida, e na Figura 4, o mapa da classificação da vegetação de caatinga e cobertura da terra.

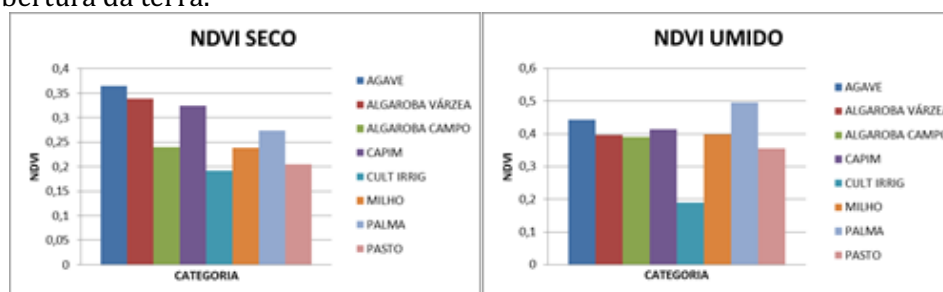


Figura 3. IVDN para diferentes tipos de uso (épocas seca e úmida).

As áreas de palma, agave, algaroba, pastagem, capim, cultura de milho e a cultura irrigada não puderam ser separadas, devido à resposta espectral desses alvos ser igual no domínio do semiárido, situação similar encontrada por Guimarães (2008; 2012).

Através da Tabela 2, que sintetiza a distribuição do IVDN de alguns tipos de vegetação e diferentes tipos de uso da terra, observa-se que o agave na época seca (Figura 5) varia de 0,332 a 0,401, e confunde-se com a classe de Caatinga Arbórea, e na época úmida seu confundimento varia entre a classe Caatinga Arbustiva e Subarbórea (0,320-0,350).

Tabela 2. Distribuição dos valores de IVDN das épocas seca e úmida

| Classes | IVDN Seco | IVDN Úmido |
|------------------------------------|-------------|-------------|
| Arbórea muito densa | >0,350 | >0,550 |
| Arbórea densa | 0,320-0,350 | 0,500-0,550 |
| Subarbórea densa | 0,300-0,320 | 0,475-0,500 |
| Subarbórea arbustiva densa | 0,285-0,300 | 0,450-0,475 |
| Arbustiva subarbórea densa | 0,265-0,285 | 0,425-0,450 |
| Arbustiva subarbórea aberta | 0,250-0,265 | 0,400-0,425 |
| Arbustiva subarbusativa aberta | 0,225-0,250 | 0,350-0,400 |
| Subarbusativa arbustiva rala | 0,200-0,225 | 0,200-0,350 |
| Subarbusativa arbustiva muito rala | 0,150-0,200 | 0,150-0,200 |
| Agave | 0,332-0,401 | 0,391-0,490 |
| Algaroba de várzea | 0,281-0,440 | 0,297-0,494 |
| Algaroba de campo | 0,201-0,396 | 0,425-0,478 |
| Palma | 0,228-0,386 | 0,258-0,579 |
| Capim | 0,211-0,521 | 0,399-0,619 |
| Milho | 0,199-0,290 | 0,177-0,588 |
| Pasto | 0,160-0,234 | 0,192-0,487 |
| Cultura irrigada | 0,177-0,202 | 0,200-0,228 |

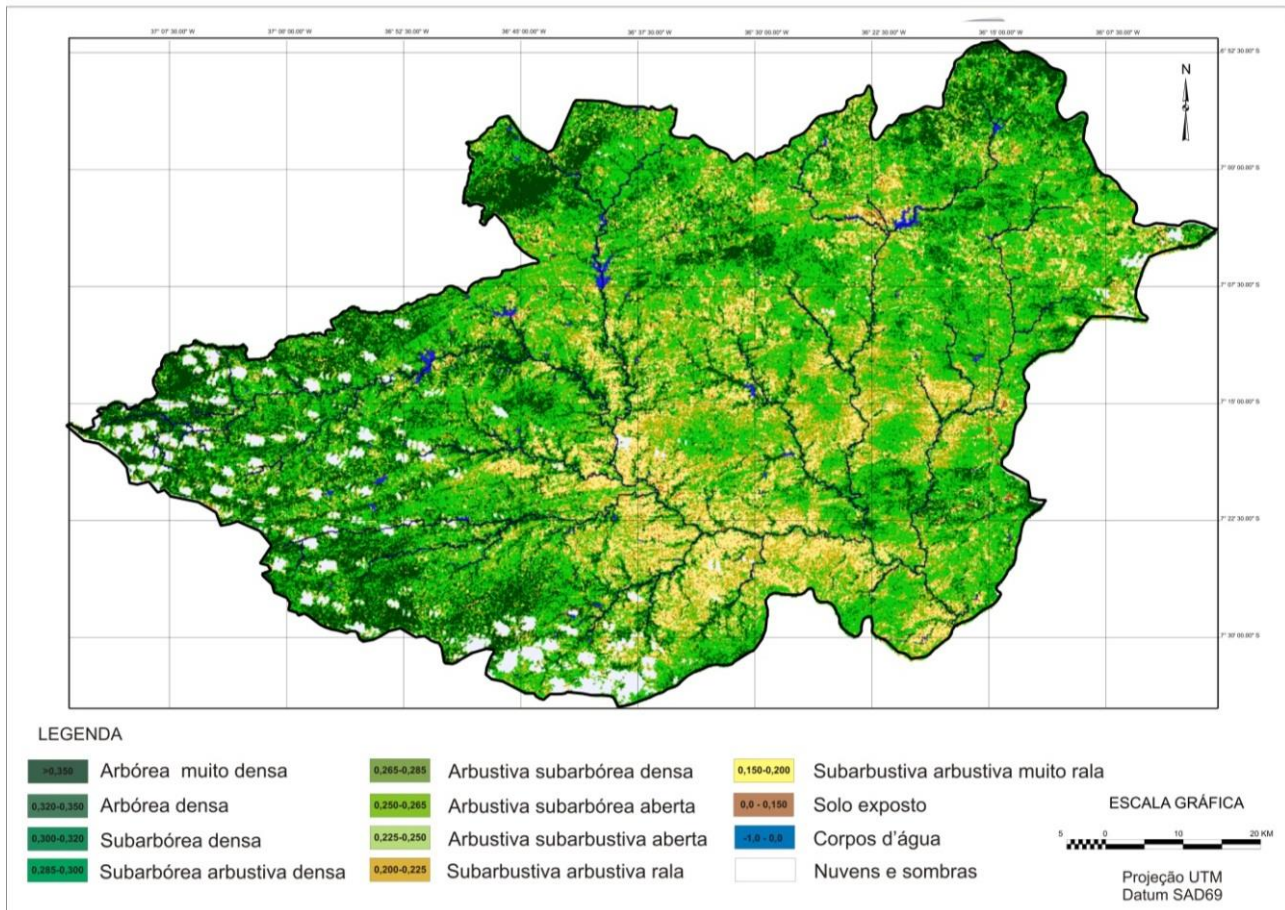


Figura 4. Mapa de tipologias de vegetação de caatinga.



Figura 5. Área de cultura de agave abandonada.

Para Watzlawick e Kirchner (2004), a folha é a que mais contribui para a reflexão a ser detectada pelos sensores, já que o comportamento espectral atua em função de sua composição química, morfológica e estrutura interna, ocorrendo diferenças no comportamento espectral entre grupos geneticamente diferentes.

As culturas irrigadas (Figura 6) não apresentam variações significativas entre a época seca (0,177-0,202) e a úmida (0,200-0,228), se estabelecendo na classe subarbustiva entre ambas as épocas. Isso se explica por ser em sua maioria de baixíssimo porte, variando muito pouco na altura da planta na época úmida.



Figura 6. Cultura irrigada do tomate (foto esquerda) e da batata-doce (foto direita).

A palma na época seca (0,228-0,386) (Figura 7) varia entre a classe Arbustiva a Arbórea (0,225 - >0,350), na época úmida (0,258-0,579) entre a Subarbustiva e a Arbórea (0,200- >0,550). Observa-se

neste caso que a palma nova na época seca tem seus valores de IVDN maiores e na época úmida os valores estão próximos às demais classes.



Figura 7. Plantio de palma em abandono (foto esquerda) e palma nova em cultivo (foto direita).

O milho (Figura 8), com um comportamento diferente das demais culturas, coincide com a época de plantio e de colheita da região, com as épocas seca (0,199-0,290) e úmida (0,177-0,588) da imagem, apresentando no período seco pequena variação entre as classes Subarbustiva e Arbustiva (0,200-0,300) e no período úmido se confunde com todas as demais classes.



Figura 8. Cultura do milho na época seca.

O capim na época seca (0,211-0,521) (Figura 9) varia entre as classes Subarbustiva e Arbórea, já na época úmida (0,399-0,619) varia entre as classes Arbustiva e Arbórea. O pasto (Figura 10) apresentou um comportamento parecido com o capim, variando entre a Subarbustiva a Subarbórea.



Figura 9. Capim em área de várzea.



Figura 10. Pasto na época seca.

A algaroba de várzea na época seca (0,281-0,440), e na época úmida (0,297-0,494) (Figura 11), se confunde com todas as classes nos dois períodos, já a algaroba de campo (0,425-0,478) se confunde com a classe Caatinga Arbustiva e Subarbórea nas épocas úmida seca (0,201-0,396).



Figura 11. Algaroba de várzea (foto esquerda) e de campo (foto direita).

De acordo com Moreira e Assunção (1984), na folha no período úmido, com a presença da água, ocorre o desenvolvimento do mesófilo, e a alta produção da fotossíntese pelos cloroplastos e o aumento do dossel.

Conforme Maldonado (2005), esse comportamento se explica através das variações de reflectância na região do visível que estão associadas, segundo Kumar (1972), à concentração de clorofila e de outros pigmentos em diferentes estágios de desenvolvimento da folha. A elevada reflectância das folhas na faixa do infravermelho próximo deve-se a sua estrutura celular interna, com descontinuidades entre as células (GAUSMAM, 1985). Esta resposta das folhas depende do estado das células (turgência), o que depende estreitamente da umidade ambiente e da estratégia desenvolvida pela vegetação para enfrentar o déficit hídrico.

Segundo Lourenço e Landim (2004), a cobertura vegetal possui características espectrais particulares nas faixas do vermelho e infravermelho próximo (Figura 12). Na faixa do vermelho a clorofila absorve a energia solar ocasionando uma baixa reflectância, enquanto na faixa do infravermelho próximo, tanto a morfologia interna das folhas quanto a estrutura da vegetação, ocasionam uma alta reflectância da energia solar incidente.

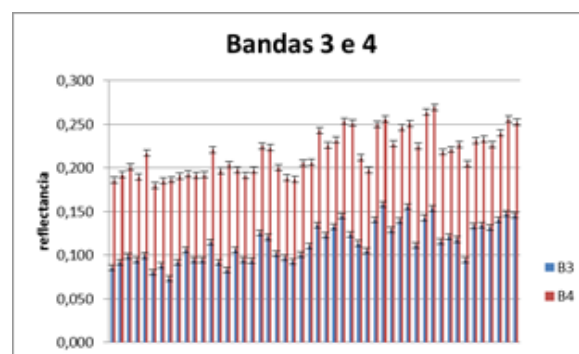


Figura 12. Diferença de valores de reflectância entre as bandas 3 e 4.

De acordo com os resultados obtidos neste trabalho, observa-se a necessidade de uso de imagens de alta resolução na tentativa de separação da vegetação de caatinga de diferentes tipos de uso utilizando o IBVL.

Conclusão

O uso de geotecnologias juntamente com a análise espectral de imagens orbitais aplicadas ao estudo da análise ambiental em bacias hidrográficas se mostrou eficiente.

Com o uso de imagens de média resolução espacial houve confundimentos na separação da vegetação de caatinga e diferentes tipos de uso.

A metodologia de descrição, classificação da biomassa lenhosa utilizada adaptou-se aos procedimentos e às condições dos objetivos deste trabalho pela sua praticidade e economia.

O padrão de resposta espectral da palma, agave e do milho estão relacionados com a formação de dossel na época úmida e confundindo com a caatinga de porte arbóreo.

O período seco diminuiu os confundimentos de alvos de diferentes tipos de uso.

Agradecimentos

À CAPES pela concessão de bolsa de estudo ao primeiro autor.

Referências

- ALVES, J. J. A.; ARAÚJO, M. A. DE; NASCIMENTO, S. S. DO. Degradação da caatinga: uma investigação ecogeográfica. *Revista Caatinga*, v.22, n.3, p.126-135, 2009.
- BASTIAANSEN, W. G. M.; NOORDMAN, E. J. M.; PELGRUM, H.; DAVIDS G.; ALLEN R. G. SEBAL for spatially distributed ET under actual management and growing conditions. *ASCE Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, p.85-93, 2005.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Recursos Hídricos. Programa de Ação Nacional de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca – PAN-Brasil. Brasília-DF, 2005, 213p.
- CARVALHO, V. C. DE; FREITAS, M. W. D. DE. Mapeamento das paisagens em nível de geossistema de três áreas representativas do bioma Caatinga. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 12. Anais...INPE. Goiânia, p.2087-2099, 2005.
- CHAVES, I. DE B.; LOPES, V. L.; FFOLIOTT, P. F.; PAES-SILVA, A. P. Uma classificação morfo-estrutural para descrição e avaliação da biomassa da vegetação da caatinga. *Revista Caatinga*, v.21, n.2, p.204-213, 2008.
- CHAVES, I. DE B.; GUIMARÃES, A. P.; LIMA, E. R. V. DE; FRANCISCO, P. R. M. Índices Espectrais e Diagnóstico da Degradação da Caatinga na Bacia Hidrográfica do Açude Soledade, Paraíba-BR. In: Reunião Brasileira de Manejo e Conservação do Solo e da Água, 19. Anais... Foz do Iguaçu. 2012.
- COSTA FILHO, J. F. DA; FRANCISCO, P. R. M.; ANDRADE, M. V. DE; SILVA L. DA; DANTAS, R. L. Estimativa do índice de vegetação da diferença normalizada (NDVI) na microrregião de Sousa-PB utilizando imagens do CBERS-2. In: Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, 15. Anais... Aracaju, 2007.
- ELVIDGE, C. D.; LYON, R. J. P. Influence of rock-soil spectral variation on the assessment of green biomass. *Remote Sensing of Environment*, v.17, p.265-279, 1985.
- FOLHES, M. T. Modelagem da evapotranspiração para a gestão hídrica de perímetros irrigados com base em sensores remotos. 175p. Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto). Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, São José dos Campos, 2007.
- FRANCISCO, P. R. M. Classificação e mapeamento das terras para mecanização do Estado da Paraíba utilizando sistemas de informações geográficas. 122p. Dissertação (Mestrado em Manejo de Solo e Água). Centro de Ciências Agrárias. Universidade Federal da Paraíba, Areia, 2010.
- GAUSMAN, H. W. Leaf reflectance of near-infrared. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, v.11, n.51, p.1725-1734, 1985.
- GUIMARÃES, A. P. Dinâmica da resposta espectral da vegetação de caatinga na bacia hidrográfica do açude Soledade, utilizando técnicas de sensoriamento remoto. 74p. Dissertação (Mestrado em Manejo e Conservação de Solo e Água). Universidade Federal da Paraíba, Areia, 2009.
- IDEÃO, S. M. A. Imagens multiespectrais e aplicações em recursos hídricos: temperatura da superfície e balanços de radiação e energia. 156p. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Campina Grande, 2009.
- KUMAR, R. Radiation from plants-reflection and emission: a review. Research Project n.5543. Lafayette: Purdue Research Foundation, 1972. 88p.
- LOURENÇO, R. W.; LANDIM, P. M. B. Estudo da variabilidade do índice de vegetação por diferença normalizada/NDVI utilizando krigagem indicativa. *Holos Environment*, v.4, n.1, p.38-55, 2004.
- PAES-SILVA, A. P.; CHAVES, I. B.; SAMPAIO, E. V. S. B. Cobertura vegetal da bacia hidrográfica do Açude Namorado no cariri oriental paraibano. *Revista Agropecuária Técnica*, v.24, n.1, p.47-59. 2003.
- MALDONADO, F. D. Desenvolvimento e avaliação de uma metodologia de detecção de mudanças na cobertura vegetal do semiárido. 311p. Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto). São José dos Campos: INPE, 2004.
- MOREIRA, M. A.; ASSUNÇÃO, G. V. Princípios básicos, metodologias e aplicações de sensoriamento remoto na agricultura. INPE, São Jose dos Campos, 1984. 138p.
- PARAÍBA. Secretaria de Estado da Ciência e Tecnologia e do Meio Ambiente. Agência Executiva de Gestão de Águas do Estado da Paraíba, AESA. PERH-PB: Plano Estadual de Recursos Hídricos: Resumo Executivo & Atlas. Brasília, DF, 2006. 112p.
- SILVA, B. B.; LOPES, G. M.; AZEVEDO, P. V. Determinação do albedo de áreas irrigadas com base em imagens Landsat 5-TM. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, v.13, n.2, p.11-21, 2005a.
- SILVA, B. B.; LOPES, G. M.; AZEVEDO, P. V. Balanço de radiação em áreas irrigadas utilizando imagens Landsat 5 – TM. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v.20, n.2, p.243-252, 2005b.

- SOUSA, R. F. DE; BARBOSA, M. P; SOUSA JÚNIOR, S. P. DE. TERCEIRO NETO, C. P. C; MORAIS NETO, J. M. Estudo da degradação de terras do município de Boa Vista - Paraíba. *Revista Engenharia Ambiental*, v.4, n.2, p.005-013, 2007.
- TROVÃO, D. M. DE B. M.; FERNANDES, P. D.; ANDRADE, L. A. DE; DANTAS NETO, J. Variações sazonais de aspectos fisiológicos de espécies da Caatinga. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.11, n.3, p.307-311, 2007.
- VAREJÃO-SILVA M. A.; BRAGA, C. C.; AGUIAR M. J. N.; NIETZCHE M. H.; SILVA, B. B. Atlas Climatológico do Estado da Paraíba. UFPB, Campina Grande, 1984.
- WATZLAWICK, L. F; KIRCHMER, F. F. Estimativas de biomassa e carbono utilizando imagens de satélite de alta resolução. In: *Fixação de carbono: atualizações, projetos e pesquisas*. Curitiba, 2004. p.133-151.

Capítulo 2**ANÁLISE DA COBERTURA VEGETAL DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PICUÍ ATRAVÉS DO ÍNDICE DE VEGETAÇÃO POR DIFERENÇA NORMALIZADA (NDVI)****¹José Jerônimo de Souza Nascimento****²Thyago de Almeida Silveira****³Frederico Campos Pereira**¹Mestrando, PRODEMA/UFPB – Campus João Pessoa, jeronimodesouza.sl@hotmail.com²Professor, IFPB – Campus Cabedelo, thyago.silveiras@gmail.com³Professor, IFPB – Campus Picuí, fredcampos2000@hotmail.com**Introdução**

Conforme o Instituto Nacional do Semiárido (INSA, 2011), o Semiárido Brasileiro (SAB) é definido a partir de características singulares como a precipitação pluviométrica inferior a 800 mm, o índice de aridez de até 0,5 (relação entre a quantidade de água da chuva e a taxa de evapotranspiração) e o risco de seca superior a 60%. Além disso, expõe uma significativa complexidade, com heterogêneas paisagens relacionadas aos tipos de solo, as formas de relevo, aos microclimas, a vegetação e aos recursos hídricos. Esta configuração ambiental aliada à falta de políticas públicas eficientes resulta em uma concepção de hostilidade do ambiente. Logo, neste espaço geográfico, necessita-se de uma maior compreensão para que a convivência do homem neste meio seja viável. Oliveira (2013) afirmou que, estes entendimentos podem ser baseados em duas vertentes: (1) a que aborda os possíveis problemas com ênfase nos aspectos naturais, especificamente; (2) a que compreende de um ponto de vista geossistêmico, apontando diferentes soluções para os problemas encontrados.

Neste contexto, o Bioma Caatinga conforme seu arranjo geográfico apresenta alta intensidade de luminosidade, temperaturas elevadas e pouco variáveis, espacial e temporalmente. Prontamente, estas condições não restringem o crescimento da vegetação. De acordo com Leite et al. (2015), estes atributos favorecem a formação de um vegetal que apresenta características adaptativas bem definidas: árvores de porte herbáceo e arbustivo que, em geral, perdem as folhas na estação das secas, além das cactáceas.

Santana et al. (2016) afirmaram que, devido a falta de conhecimento sobre o Bioma Caatinga, a vegetação vem a séculos, sendo sistematicamente devastada por ações antrópicas, que usam a área recoberta pela mesma para a pecuária intensiva, agricultura nas partes mais úmidas, retirada de lenha e madeira, além de outros fins de menor interesse socioeconômico. Neste sentido, ainda são poucos os estudos que associem os usos da vegetação da Caatinga pelas populações humanas frente à sua resiliência. Deste modo, conforme Albuquerque et al. (2012), ainda existe uma expressiva lacuna no conhecimento sobre a resiliência de ecossistemas de Caatinga. Segundo Almeida et al. (2014) a vegetação da Caatinga, além de ser susceptível aos processos de degradação ambiental, acentua-se de forma contínua e lenta com os períodos de estiagens. Quando se inicia o período chuvoso, observa-se uma recuperação parcial da vegetação nativa, assim sendo, há um desequilíbrio entre recuperação e degradação, com interferência negativa das ações antrópicas. (FERRAZ et al., 2014; FRANCISCO et al., 2014; MENEZES et al., 2012).

Devido à importância e aos reduzidos dados de campo para realizar o monitoramento da variação espaçotemporal da cobertura vegetal da Caatinga, pesquisas com sensoriamento remoto permitem compreender o seu comportamento. Esta geotecnologia consiste na obtenção de informações, da superfície terrestre, por meio da captação e do registro da energia refletida ou emitida pela superfície, sem que haja um contato direto com o objeto que se pretende estudar (FLORENZANO, 2011). Sendo assim, a qual desempenha um papel importante no monitoramento de diversos fenômenos ambientais, fornecendo subsídio para o planejamento e gestão territorial (RAMOS et al., 2010). Desta maneira, o uso do geoprocessamento tem apresentado significativa relevância, considerando-se a sua utilização em pesquisas, voltadas para as análises de processos de degradação ambiental em bacias hidrográficas. Francisco et al. (2012) apontaram que o emprego do geoprocessamento auxilia na integração de dados, possibilitando análises espaciais, considerando que nas bacias hidrográficas, as ações de planejamento e/ou ordenamento são analisadas diferentes elementos do ambiente.

As inovações tecnológicas favoreceram o surgimento de sensores remotos mais eficientes, que geram informações mais precisas, tornando-se possível a análise da cobertura vegetal mais fidedigna.

Logo, nos monitoramentos ambientais, diferentes métodos são utilizados para demonstrar a configuração da vegetação em determinadas áreas. Dentre tantos, os índices de vegetação, destacam-se como sendo os métodos mais utilizados para este objetivo, a exemplo do *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI), ressaltado em estudos realizados em bacias hidrográficas para analisar a configuração espaçotemporal da vegetação. (BIRTWISTLE et al., 2016; NETO & FERNANDES, 2016; SILVA & ALMEIDA, 2015; RIBEIRO et al., 2014; LUCENA et al., 2014; NASCIMENTO et al., 2014; DEMARCHI et al., 2011).

Ao compreender que pesquisas sobre aspectos ambientais das bacias hidrográficas precisam ser desenvolvidos, principalmente onde não existem dados ou estudos realizados, é de fundamental importância utilizar as imagens de satélite, dados e as geotecnologias disponíveis para obtenção do conhecimento da situação ambiental para o desenvolvimento de políticas de gestão em bacias hidrográficas. Neste sentido, o objetivo deste trabalho é realizar uma análise espaçotemporal da cobertura vegetal a partir da aplicação do IVDN na bacia hidrográfica do Rio Picuí (BHRP) para os anos de 2001 e 2015.

Materiais e Métodos

Localização da área de estudo

A área objeto de estudo do trabalho corresponde a BHRP, localizada no Semiárido Paraibano, especificamente na Mesorregião Geográfica da Borborema no Estado da Paraíba, entre as coordenadas do Sistema Universal Transversal de Mercator (UTM) 9.300.000 mE e 781.000 mN e 9.260.000 mE e 808.000 mN. De acordo com Nascimento et al. (2015) a BHRP possui uma área de drenagem correspondente a 756,7 km² compreendendo partes dos municípios de Baraúna (9,9 km²), Frei Martinho (73,8 km²), Nova Palmeira (104,2 km²), Pedra Lavrada (5,6 km²) e Picuí (563,2 km²) (Figura 1).

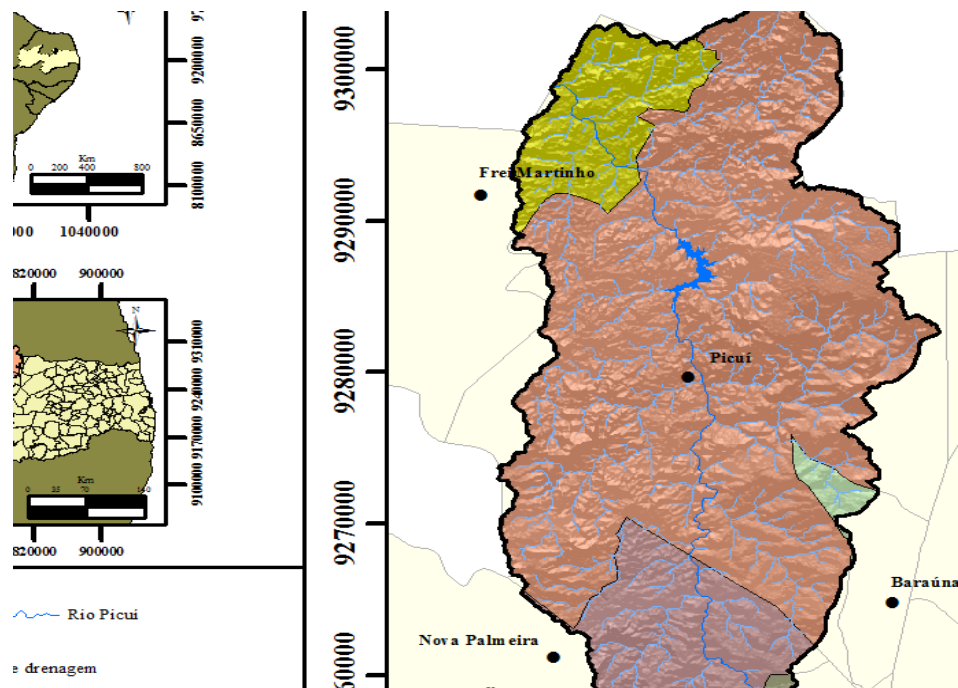


Figura 1. Mapa de localização geográfica da BHRP.

Aquisição e processamento de dados

Nas análises da cobertura vegetal, foram selecionadas as imagens do satélite LANDSAT-8, sensor *Operational Land Imager* (OLI) e LANDSAT-7 do sensor *Enhanced Thematic Mapper* (ETM), adquiridas junto ao *United States Geological Survey* (USGS). As imagens são referentes às datas: 25/07/2015 e 07/05/2001, respectivamente. Com o Datum de referência espacial *World Geodetic System* (WGS-1984), de órbita 215 e pontos 64/65, resolução espacial de 30 metros e sem cobertura de nuvens.

Acerca dos aspectos físicos da BHRP, foram empregadas imagens do Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil (PROJETO TOPODATA) desenvolvido pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), que realizou o tratamento nos dados *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM). Para

tanto, os aspectos físicos da microbacia foram definidos a partir da extração do *Digital Elevation Model* (DEM), com resolução espacial de 30 metros e formato *.tiff*.

Por fim, como delimitação da área de estudo e os tipos de solo, utilizou-se a base de dados vetoriais correspondente, no formato *shapefile*, gerada pela Agência de Gestão das Águas do Estado Paraíba (AESPA).

Índice de vegetação

Para o cálculo do NDVI para análise da cobertura vegetal foi usada a (Equação 1) (ROUSE et al., 1973):

$$NDVI = \frac{(NIR - RED)}{(NIR + RED)} \quad (1)$$

Onde: NIR e RED correspondem às reflectâncias nas bandas do infravermelho próximo e do vermelho, respectivamente.

Segundo Braga et al. (2014) e Ponzoni et al. (2012), o NDVI consiste na razão entre a diferença das reflectividades das bandas no infravermelho próximo e no vermelho pela soma destas mesmas reflectividades. Sendo então, um indicador da quantidade e condição da vegetação, com valores variando no intervalo de -1 a 1. Em seguida, foi realizada a classificação dos tipos de cobertura vegetal a partir do NDVI, estabelecendo as classes de acordo com a metodologia utilizada por Francisco et al. (2012), ou seja: Corpos hídricos, Área urbana/Solo exposto, Subarbastiva rala, Subarbastiva aberta, Arbustiva subarbórea densa, Subarbórea arbustiva densa, Subarbórea densa e Arbórea densa.

Mapas temáticos

Foi criado um banco de dados para a organização e inclusão dos dados vetoriais e rasters (imagens). Nesta plataforma integradora foi adotado o sistema de coordenadas UTM e o Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas (SIRGAS-2000), Zona 24 Sul.

Os referidos dados foram processados, e os mapas temáticos foram gerados com a utilização do *software* de Sistema de Informações Geográficas (SIG) ArcGIS 10.1, a partir da licença concedida pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba (IFPB) – Campus Picuí.

Resultados e Discussão

Caracterização física da área de estudo

Acerca dos aspectos físicos da BHRP, observa-se na Figura 2, que de modo geral predominam elevações entre 348 e 728 m de altitude em relação ao nível do mar. Especificamente, nas porções Sul, Sudeste, Leste e Nordeste, cerca de 4% da área total da bacia, o relevo apresenta-se irregular e heterogêneo, conforme os resquícios do Planalto da Borborema (parte sul e bordas situadas a sudeste), caracterizadas pelas altitudes elevadas, com pontos escarpados e feições de vales onde estão as nascentes dos afluentes do Rio Picuí. E as porções ao Oeste e Noroeste encontram-se as altitudes mais baixas, compreendendo 2% da área da BHRP (NASCIMENTO et al., 2016).

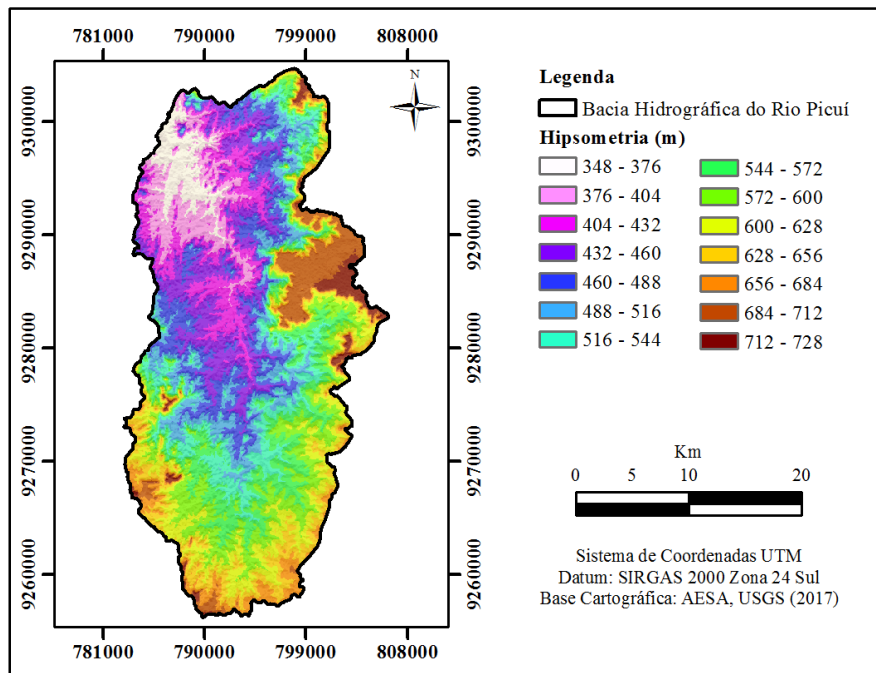


Figura 2. Mapa de hipsometria da BHRP.

Conforme observa-se na Figura 3, a declividade do relevo, em sua maioria, segundo a metodologia de classificação da EMBRAPA (1979), apresenta-se entre as classes: plano (25,7%), suavemente ondulado (37,8%) e ondulado (20,5%). O que corresponde a 84% da área total da BHRP. Vale ressaltar que estas áreas compreendem as porções à Leste e Sudeste da bacia, com ênfase para os territórios dos municípios de Baraúnas, Nova Palmeira e Picuí, respectivamente. Destaca-se também, que as áreas com relevo forte ondulado (9,8%), montanhoso (4,7%) e escarpado (1,5%) expõem os resquícios das feições geomorfológicas do Planalto da Borborema, nas partes Norte e Nordeste da bacia, inseridas no município de Picuí e Frei Martinho.

Sendo assim, coloca-se que, esta configuração do relevo, pode ser resultante da geologia na qual a bacia está inserida, como também, das particularidades presentes do solo, caracterizando uma área com presença de processos erosivos externos e de deposição de sedimentos.

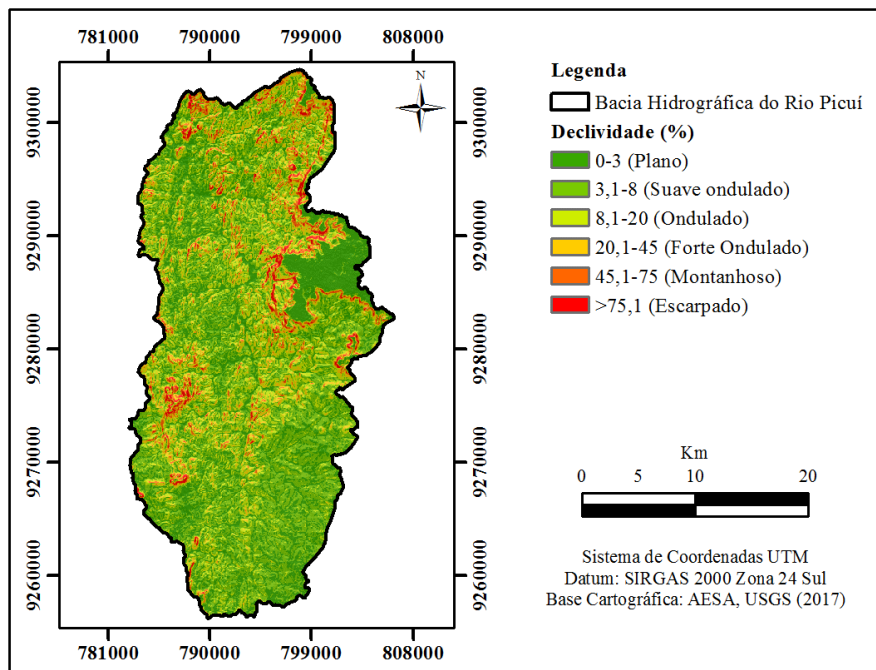


Figura 3. Mapa de declividade da BHRP.

De modo sucinto, na BHRP destacam-se cinco classes de solos, conforme o 2º nível categórico (subordens) do sistema brasileiro de classificação de solos (EMBRAPA, 2013). Portanto, encontram-se os LUVISSOLOS CRÔMICOS (TC) representando 5,9% da área total da BHRP, constituídos por material mineral, apresentando horizonte B textural e não hidromórficos. LATOSSOLOS AMARELOS (LA) cuja área corresponde a 6,1%, os quais são constituídos por material mineral, apresentando horizonte B latossólico precedido de qualquer tipo de horizonte A. E os NEOSSOLOS REGOLÍTICOS (RR), NEOSSOLOS FLÚVICOS (RY) e NEOSSOLOS LITÓLICOS (RL) com áreas 14,7%, 0,7% e 72,6%, respectivamente. Os quais são poucos evoluídos, constituídos por material mineral ou parte orgânica com menos de 20 cm de espessura, não apresentam qualquer tipo de horizonte B (Figura 4).

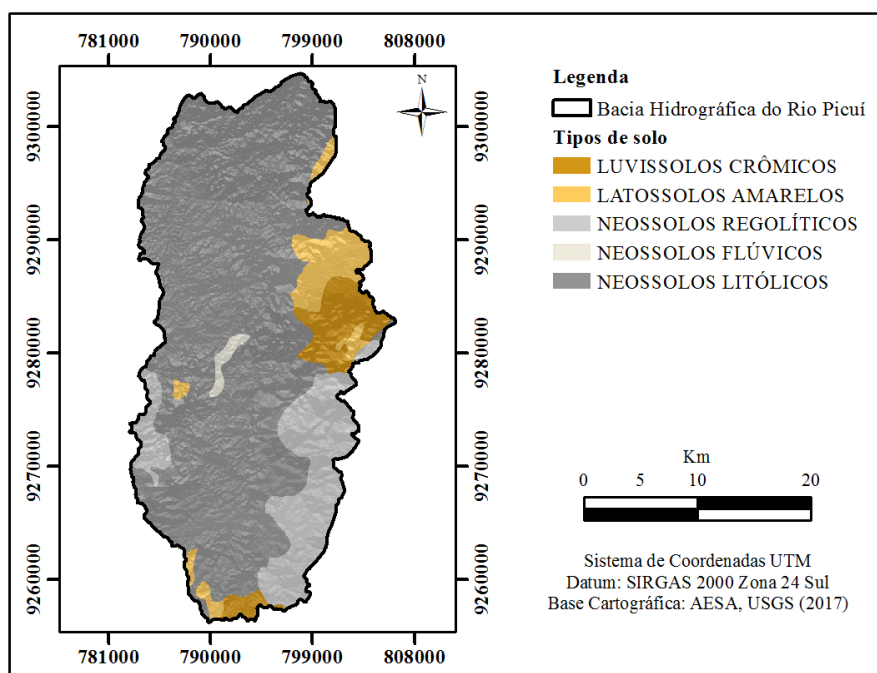


Figura 4 – Mapa de tipos de solo da BHRP.

Distribuição espacial dos índices de vegetação

Conforme apresentados na Tabela 1, os resultados de NDVI para a BHRP apontaram que no ano de 2001 os valores de reflectância para as classes de cobertura vegetal, corpos hídricos e solo exposto variaram entre -0,61 a 0,49. Enquanto que em 2015 foi de -0,10 a 0,58. De modo semelhante, Nascimento et al. (2016b) ao aplicar o NDVI na microbacia hidrográfica do Riacho Chafariz, comparando a cobertura vegetal para dois períodos, obtiveram resultados, cujos valores ficaram entre -0,32 a 0,79 no ano de 1984 e de 0,05 a 0,61 no ano de 2016. Assim, de acordo com Mao et al. (2012), os valores encontrados para o índice de vegetação na BHRP após o trimestre chuvoso (fevereiro, março e abril), são decorrentes do período (1-12 semanas) necessário para recuperação do porte e densidade da vegetação de Caatinga.

Tabela 1. Classes de cobertura vegetal e valores de reflectância (2001/2015)

| Classes | Valores de NDVI | | | |
|----------------------------|-----------------|-------|-------|------|
| | 2001 | | 2015 | |
| Corpos hídricos | -0,61 | -0,32 | -0,10 | 0,03 |
| Área urbana/Solo exposto | -0,32 | -0,16 | 0,03 | 0,12 |
| Subarbustiva rala | -0,16 | -0,10 | 0,12 | 0,16 |
| Subarbustiva aberta | -0,10 | -0,04 | 0,16 | 0,20 |
| Arbustiva subarbórea densa | -0,04 | 0,02 | 0,20 | 0,23 |
| Subarbórea arbustiva densa | 0,02 | 0,10 | 0,23 | 0,27 |
| Subarbórea densa | 0,10 | 0,20 | 0,27 | 0,33 |
| Arbórea densa | 0,20 | 0,49 | 0,33 | 0,58 |

Nas Figuras 5 e 6, observam-se os mapas de NDVI com as classes da cobertura vegetal, corpos hídricos e solo exposto para os anos de 2001 e 2015, respectivamente, e a Tabela 2 apresenta os dados

quantitativos do mapeamento realizado na BHRP, com valores em área e porcentagem, além das diferenças entre os anos estudados.

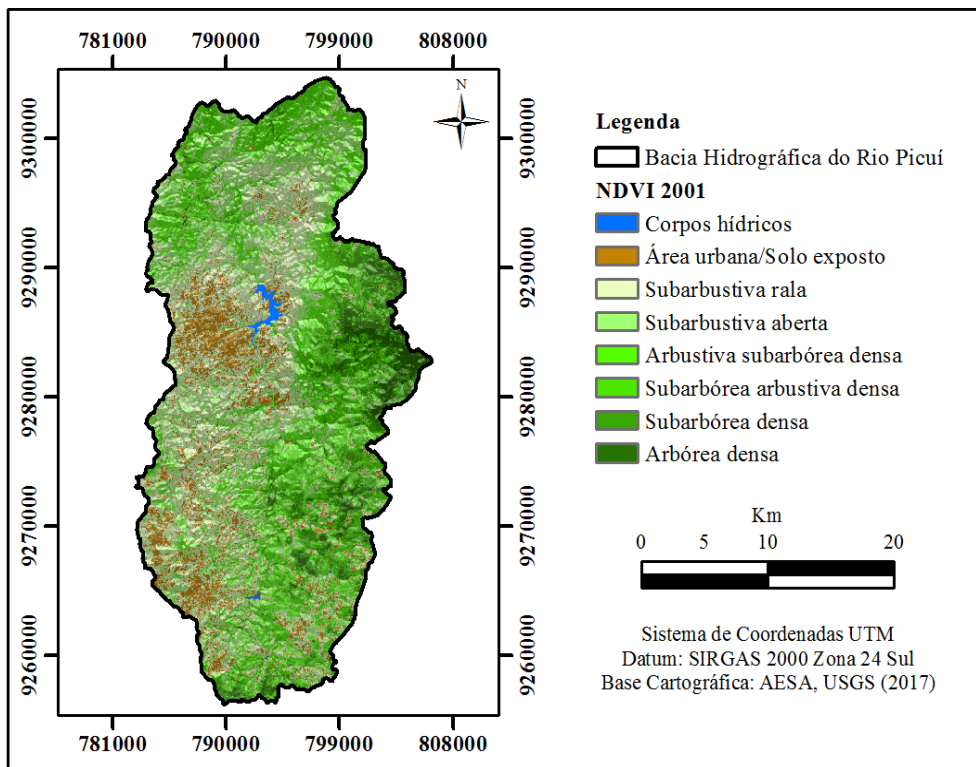


Figura 5. Mapa de NDVI para o período pós-chuvoso na BRHP no ano de 2001.

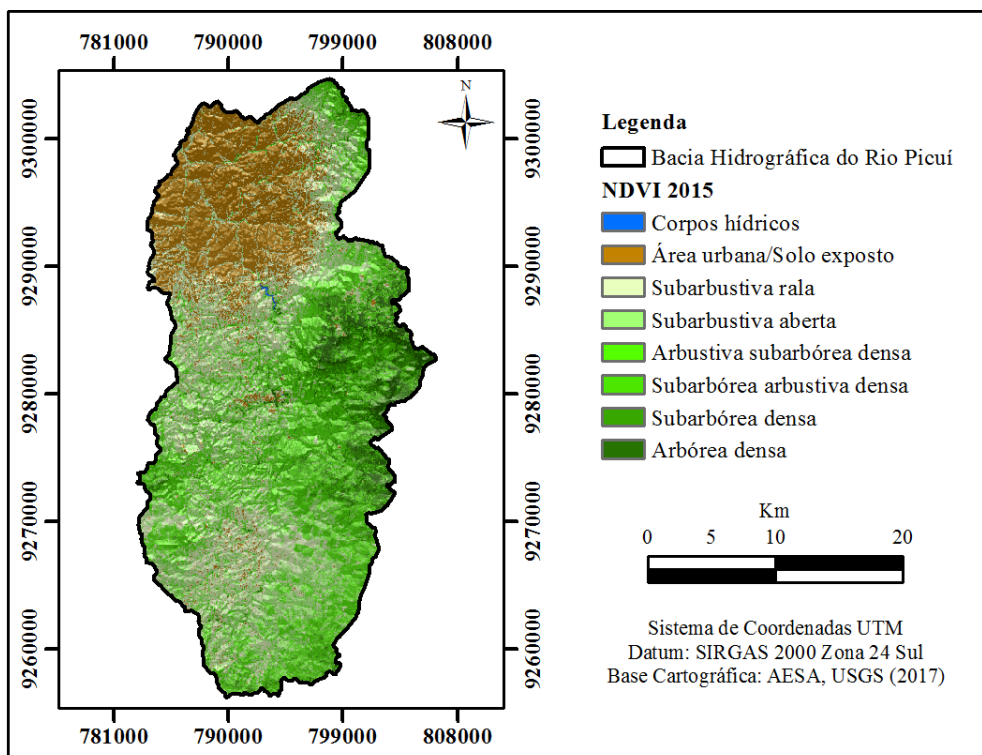


Figura 6. Mapa de NDVI para o período pós-chuvoso na BRHP no ano de 2015.

Tabela 2. Classes de vegetação e uso do solo na BHRP nos anos de 2001 e 2015

| Classes | 2001 | | 2015 | | Diferença | |
|----------------------------|-----------------|--------------|-----------------|--------------|-----------------|-------------|
| | km ² | % | km ² | % | km ² | % |
| Corpos hídricos | 0,52 | 0,07 | 0,39 | 0,05 | 0,13 | 0,02 |
| Solos Exposto | 78,5 | 10,4 | 140,8 | 18,6 | -62,30 | -8,23 |
| Subarbustiva rala | 171,1 | 22,6 | 146,8 | 19,4 | 24,35 | 3,22 |
| Subarbustiva aberta | 185,6 | 24,5 | 168,1 | 22,2 | 17,54 | 2,32 |
| Arbustiva subarbórea densa | 138,5 | 18,3 | 141,4 | 18,7 | -2,82 | -0,37 |
| Subarbórea arbustiva densa | 95,9 | 12,7 | 86,6 | 11,4 | 9,25 | 1,22 |
| Subarbórea densa | 59,2 | 7,8 | 51,5 | 6,8 | 7,71 | 1,02 |
| Arbórea densa | 27,3 | 3,6 | 21,2 | 2,8 | 6,14 | 0,81 |
| Área Total | 756,7 | 100,0 | 756,7 | 100,0 | 0,00 | 0,00 |

Ao correlacionar o valor de reflectância com a área da BHRP constatou-se que no período pós-chuvoso de 2001, os valores máximos de NDVI corresponderam às áreas a Leste da bacia hidrográfica. Enquanto que os valores mínimos retrataram as áreas a Oeste. De forma semelhante, no ano de 2015 os resultados do NDVI apontaram que os maiores valores se apresentaram na porção Leste da BHRP, e os menores para este período na parte Oeste. Deste modo, pode-se afirmar que as respostas espectrais da vegetação na BHRP para os anos estudados diminuem gradativamente no sentido Leste-Oeste. Assim sendo, destacou-se que existe uma diferença entre as porções Leste e Oeste no que se refere à presença e porte da vegetação.

Um fator que pode contribuir na dinâmica da vegetação, diz respeito às características geológico-geomorfológica e pedológicas da BRHP. Onde as maiores elevações e declividades acentuadas, caracterizam-se como áreas de dificuldades para a exploração, portanto, com pouca degradação em relação aos outros espaços da BHRP. Todavia, ressalta-se que a cobertura vegetal da BHRP é considerada secundária, logo, mais esparsa, o que pode explicar os valores obtidos serem mínimos, caracterizando uma área com significativo percentual de solo exposto e com pouca vegetação. Uma vez que a bacia apresenta um histórico de remoção da vegetal natural para diferentes fins, resultando em danos ambientais ao longo dos anos.

Em termos espaciais, de modo geral considerou-se que as modificações positivas e negativas na configuração da cobertura vegetal da BHRP, para algumas classes não foram significativas, como por exemplo, às que corresponderam a corpos hídricos com uma redução de apenas 0,02% entre os anos de 2001 e 2015, e a Arbustiva subarbórea densa, com um acréscimo de 0,37% da área total entre os anos estudados. Entretanto, observaram-se significativas alterações nas classes: Subarbustiva rala e Subarbustiva aberta, cujas áreas diminuíram em 2015, 3,2% e 2,3%, respectivamente. Estas reduções tiveram como consequência, o aumento das áreas de solo exposto em cerca de 8%, concentrando-se na parte Noroeste da BHRP.

Como explicação deste aumento das áreas de solo exposto, Silveira et al. (2013) apontaram o desmatamento para plantio de culturas temporárias, exploração pecuária e mineração. Além, de ser uma consequência de crises econômicas enfrentadas pelos municípios da bacia em períodos de estiagem, diminuem a oferta de emprego e renda, impulsionando a retira da vegetação lenhosa para venda e utilização em cerâmicas e fabricação de carvão, constituindo-se, na maioria das vezes, a principal fonte de renda da população. Por fim, observou-se, que as classes: Subarbórea densa e Arbórea densa, apesar de uma redução de aproximadamente 2%, o que representa 13,8 km², ainda se faz presente nas áreas íngremes e de maior elevação, localizadas na porção Leste da bacia.

Conclusão

Os procedimentos metodológicos aplicados neste trabalho possibilitaram identificar a configuração da cobertura vegetal da BHRP.

O uso das técnicas de geoprocessamento foi satisfatório, uma vez que, permitiram gerar informações importantes sobre a referida bacia.

O emprego do NDVI permitiu analisar as transformações de maneira adequada, entretanto, entende-se que a realização de monitoramentos constantes da cobertura vegetal é de fundamental importância para a bacia.

A análise espaçotemporal da cobertura vegetal da BHRP com base nos períodos chuvosos dos anos de 2001 e 2015, possibilitaram compreender que estes elementos geográficos (vegetação e precipitação) houveram uma significativa relação.

Os resultados apresentados neste estudo proporcionaram subsídios para um melhor entendimento das características físico-ambientais da BHRP, buscando a conservação dos recursos naturais. Portanto, destaca-se que na BHRP as atividades antrópicas devem ser adequadas e planejadas, com o objetivo de impactar o mínimo possível, evitando a degradação das terras.

Entende-se que os produtos deste trabalho são instrumentos de suporte, associados a outras pesquisas mais específicas e a políticas públicas eficientes, com o intuito de minimizar os impactos ambientais na BHRP, por considerar que esta bacia hidrográfica tem sido adotada como unidade física de reconhecimento, caracterização e avaliação de aspectos ambientais, neste estudo.

Sendo assim, este trabalho torna-se relevante à medida que apresentou uma possibilidade de desenvolver estudos na área ambiental. Como também, a importância de expor informações sobre uma área de estudo com pouco conhecimento científico, contribuindo para mudança de concepção. Além de estimular a produção de outras pesquisas na BHRP que visem uma gestão integrada e eficiente dos recursos naturais nos meios urbano e rural.

Referências

- AESA. Agência Executiva de Gestão das Águas da Paraíba. Geoportal. Disponível em: <<http://www.aesa.pb.gov.br/geoprocessamento/geoportal/shapes.html>>. Acesso em: 16 fev. 2018.
- ALBUQUERQUE, U. P.; ARAÚJO, E. L.; EL-DEIR, A. C. A.; LIMA, A. L. A.; SOUTO, A.; BEZERRA, B. M. Caatinga revisited: ecology and conservation of an important seasonal dry forest. *The Scientific World Journal*, v.2012, p.1-18, 2012.
- ALMEIDA, H. A.; AGUIAR, D. B.; SILVA, J. N.; DAMASECENO, J. Indicadores hídricos do núcleo de desertificação da microrregião do Seridó ocidental da Paraíba. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v.7, n.5, p.784-797, 2014.
- BIRTWISTLE, A. N.; LAITURI, M.; BLEDSOE, B.; FRIEDMAN, J. M. Using NDVI to measure precipitation in semi-arid landscapes. *Journal of Arid Environments*, v.131, p.15-24, 2016.
- BRAGA, A. L.; BRAGA, C. C.; SILVA, B. B.; SANTOS, F. A. C. Vegetation index in the São Gonçalo irrigated perimeter – PB. *Journal of Hyperspectral Remote Sensing*, v.4, n.2, p.65-74, 2014.
- DEMARCHI, J. C.; PIROLI, E. L.; ZIMBACK, C. R. L. Temporal analysis of the land use and comparison between NDVI and SAVI indexes in the city of Santa Cruz do Rio Pardo - SP using LANDSAT-5 images. *Raega*, v.21, p.234-271, 2011.
- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 3ª Ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA-SPI, 2013. 353p.
- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Súmula 10.a Reunião Técnica de Levantamento de Solos. Rio de Janeiro, RJ: Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos, 1979. 83p.
- FERRAZ, J. S. F.; FERREIRA, R. L. C.; SILVA, J. A. A.; MEUNIER, M. J.; SANTOS, M. V. F. Estrutura do componente arbustivo-arbóreo da vegetação em duas áreas de caatinga, no município de Floresta, Pernambuco. *Revista Árvore*, v.38, p.1055-1064, 2014.
- FLORENZANO, T. G. Iniciação em sensoriamento remoto. 3ª ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2011. 128p.
- FRANCISO, P. R. M.; CHAVES, I. B.; LIMA, E. R. V.; BANDEIRA, M. M.; SILVA, B. B. Mapeamento da caatinga com uso de geotecnologia e análise da umidade antecedente em bacia hidrográfica. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v.3, p.676-693, 2012.
- FRANCISO, P. R. M.; PEREIRA, F. C.; SILVEIRA, T. A. Estimativa da deterioração das terras semiáridas do município de Picuí-PB. *Revista Eletrônica Polêmica*, v.13, n.2, p.1249-1266, 2014.
- INSA. Instituto Nacional do Semiárido. Recursos hídricos em regiões áridas e semiáridas. 1ª Ed. Campina Grande: INSA, 2011. 470p.
- LEITE, J. A. N.; ARAÚJO, L. V. C.; ARRIEL, E. F.; CHAVES, L. F. C.; NÓBREGA, A. M. F. Análise quantitativa da vegetação lenhosa da caatinga em Teixeira, PB. *Brazilian Journal of Forestry Research*, v.35, n.82, p.89-100, 2015.
- LUCENA, A. P.; FILGUEIRA, H. J. A.; SILVEIRA, T. A.; SOUZA, F. A. S. Diagnóstico ambiental da bacia hidrográfica do rio Gramame – Paraíba – PB através da aplicação do índice de vegetação da diferença normalizada (IVDN). In: *Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação*, 5, 2014, Anais... Recife-PE, 2014.

- MAO, D.; WANG, Z.; LUO, L.; REN, C. Integrating AVHRR and MODIS data to monitor NDVI changes and their relationships with climatic parameters in Northeast China. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, v.18, p.528-53, 2012.
- MENEZES, R. S. C.; SAMPAIO, E. V.; GIONGO, V.; PÉREZ-MARIN, A. M. Biogeochemical cycling in terrestrial ecosystems of the Caatinga Biome. *Brazilian Journal of Biology*, v.72, p.643-653, 2012.
- NASCIMENTO, J. J. S.; SILVEIRA, T. A.; PEREIRA, C. F.; SOUZA, F. A. S.; ROZENDO, E. E. Q. Utilização de geotecnologias aplicadas a delimitação de bacias hidrográficas no Semiárido paraibano. In: *Simpósio de Pesquisa, Pós-graduação e inovação do IFPB*, 1, 2015, João Pessoa, Anais... João Pessoa-PB, 2015.
- NASCIMENTO, J. J. S.; SILVEIRA, T. A.; PEREIRA, F. C. Delimitação automática da bacia hidrográfica do rio Picuí (Estado da Paraíba) através de dados SRTM. *Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade*, v.3, n.4, p.87-92, 2016.
- NASCIMENTO, S. S.; LIMA, E. R. V.; LIMA, P. P. S. Uso do NDVI na análise temporal da degradação da caatinga na sub-bacia do Alto Paraíba. *Revista Okara: Geografia em debate*, v.8, n.1, p.72-93, 2014.
- NASCIMENTO, J. J. S.; GÓES, V. C.; SILVEIRA, T. A.; PEREIRA, C. F. Análise da cobertura vegetal da microbacia do riacho Chafariz, através da aplicação do índice de vegetação por diferença normalizada (IVDN). In: *Simpósio Brasileiro de Recursos Naturais do Semiárido*, 2, 2016, Campina Grande, Anais... Campina Grande-PB, 2016b.
- NETO, M. C. P.; FERNANDES, E. Instabilidade emergente e aspectos de degradação ambiental da bacia hidrográfica do rio Seridó (RN/PB – Brasil). *Revista de Geografia (Recife)*, v.33, n.1, p.84-97, 2016.
- OLIVEIRA, D. B. S. O uso das tecnologias sociais hídricas na zona rural do semiárido paraibano: entre o combate a seca e a convivência com o semiárido. 168p. Dissertação (Mestrado em Geografia). Universidade Federal da Paraíba. 2013.
- PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E.; KUPLICH, T. M. Sensoriamento remoto da vegetação. 2ª ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2012. 160p.
- RAMOS, R. R. D.; LOPES, H. L.; JUNIOR, J. M.; FILHO, J. A. S. Aplicação do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) na avaliação de áreas degradadas e potenciais para unidades de conservação. In: *Simpósio de Brasileiro de Ciência Geodésicas e Tecnologias da Informação*, 3, 2010, Recife. Anais... Recife-PE, 2010.
- RIBEIRO, G. N.; FRANCISCO, P. R. M.; NETO, J. M. M.; ARAGÃO, K. P. Análise temporal da vegetação de caatinga utilizando NDVI. In: *Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia*, 1, 2014, Teresina, Anais... Teresina-PI, 2014.
- ROUSE, J. W. Monitoring the vernal advancement and retrogradation (green wave effect) of natural vegetation. Texas: Texas A&M University Remote Sensing Center, 1973. 120p.
- SANTANA, J. A. S.; JUNIOR, J. A. S. S.; BARRETO, W. S.; FERREIRA, A. T. S. Estrutura e distribuição espacial da vegetação da caatinga na Estação Ecológica do Seridó, RN. *Brazilian Journal of Forestry Research*, v.36, n.88, p.335-361, 2016.
- SILVA, G. J. F.; ALMEIDA, N. V. Degradação ambiental no município de Parari-PB: uma análise por meio de sensoriamento remoto. *Revista Geografar*, v.10, n.2, p.140-164, 2015.
- SILVEIRA, T. A.; HENRIQUES, A. A.; DANTAS, M. M. M.; PEREIRA, F. C.; SILVA, E. S.; SILVEIRA, D. A.; SILVEIRA, N. B. F. Estimativa das áreas em processo de degradação ambiental por garimpo e agricultura no município de Picuí-PB. In: *Congresso Latinoamericano de Agroecologia*, 4, 2013, Lima-Peru, Anais... Lima-Peru, 2013.

Capítulo 3

ANÁLISE DA COBERTURA VEGETAL EM REGIÃO SEMIÁRIDA DO NORDESTE BRASILEIRO POR SENSORIAMENTO REMOTO

¹José Diorgenes Alves Oliveira

²Jhon Lennon Bezerra da Silva

³Douglas Alberto Oliveira Silva

⁴Pedro Henrique Dias Batista

⁵Geber Barbosa de Albuquerque Moura

⁶Pabrício Marcos Oliveira Lopes

^{1,2,3,4} Doutorando em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal Rural de Pernambuco - UFRPE, Recife, Pernambuco, josediorgenes@gmail.com; jhonlennoigt@hotmail.com; douglasalbertosilva@hotmail.com; giga_pedro@hotmail.com

⁵Dr. em Oceanografia, Prof. da Universidade Federal Rural de Pernambuco, Departamento de Agronomia – DEPA/UFRPE, Recife, Pernambuco, geber@depa.ufrpe.br

⁶Dr. em Sensoriamento Remoto, Prof. da Universidade Federal Rural de Pernambuco, Departamento de Agronomia – DEPA/UFRPE, Recife, Pernambuco, pabriciope@gmail.com

Introdução

As técnicas de sensoriamento remoto a partir de imagens orbitais nos últimos anos, principalmente nas duas décadas passadas ganharam força e diante disso tornou-se possível o monitoramento de distintas áreas nos diversos biomas do mundo em larga escala, dado como uma das grandes vantagens. Com isso, a implementação de algoritmos no intuito de determinar os parâmetros biofísicos à superfície tem mostrado estimativas bastantes precisas principalmente nos estudos em regiões semiáridas do Nordeste brasileiro, especialmente o algoritmo SEBAL (BASTIAANSSEN et al., 1998; ALLEN et al., 2002; BEZERRA et al., 2014).

As evidentes alterações no clima local destas regiões estão cada vez mais preocupantes, pois são cada vez mais contínuos os períodos de seca, onde a escassez de água é cada vez mais presente. Outrora atrela-se também essas mudanças a vários fatores, principalmente aos antrópicos, tal qual são os responsáveis pelo desmatamento, queimadas, intensiva prática agropecuária, etc. Contudo, o desenvolvimento de ferramentas que possibilitam analisar a dinâmica da superfície terrestre torna-se essencial, como é o caso do uso de imagens orbitais por meio do sensoriamento remoto, na intenção de se obter maior controle sobre o meio ambiente, visando principalmente mitigar ações degradadoras (ARAÚJO et al., 2016).

As pesquisas que envolvem a cobertura florestal ou do uso do solo cresceram, devido aos impactos sobre as mudanças ambientais nos últimos anos. Deste modo, por se tratar de produtos de baixo custo, o uso de imagens orbitais vem sendo aplicado para diferentes finalidades, destacando-se o mapeamento da evolução do uso e ocupação do solo, de tal modo a tornasse eficaz a determinação de parâmetros biofísicos como o albedo da superfície, Índice de Vegetação da Diferença Normalizada - NDVI e o Índice de Vegetação Ajustado ao Solo - SAVI (HUETE, 1988; ALLEN et al., 1998; SILVA et al., 2011; ARRAES et al., 2012; FREIRE SANTANA et al., 2014).

Diante deste contexto, objetiva-se identificar e analisar as principais alterações das condições da cobertura vegetal em Região semiárida do Nordeste brasileiro por sensoriamento remoto a partir de imagens orbitais do Satélite Landsat-8 OLI.

Material e Métodos

Selecionou-se para o presente trabalho o município de Arcoverde, localizado no estado de Pernambuco, nas seguintes coordenadas geográficas: 08° 25' 08" S e 37° 03' 14" W e altitude variando entre 650 e 1000 m. Localiza-se mais especificamente na Mesorregião e Microrregião do Sertão do Moxotó no Estado de Pernambuco, é inserida na unidade geoambiental do Planalto da Borborema. Conforme Köppen, a classificação climática desta região é do tipo Bshs' e de acordo com os registros pluviométricos do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia) entre os anos de 1987 a 2016 (30 anos), estes disponibilizados pela APAC (Agencia Pernambucana de Águas e Clima) a precipitação pluviométrica média anual é de 653mm, onde o período chuvoso inicia no mês de janeiro ou fevereiro estendendo-se até julho (APAC, 2017; LINS et al., 2017). Conforme registros, as temperaturas médias

variam entre 12 e 25°C e a vegetação predominante é das áreas de agreste e sertão, constituída por florestas Caducifólias e Subcaducifólias (BELTRÃO et al., 2005; CPRM, 2005; IBGE, 2008). A Figura 1 apresenta o município de Arcoverde a partir de imagem orbital em cor natural na composição RGB432 do Satélite Landsat 8 OLI datada em 12/08/2016.

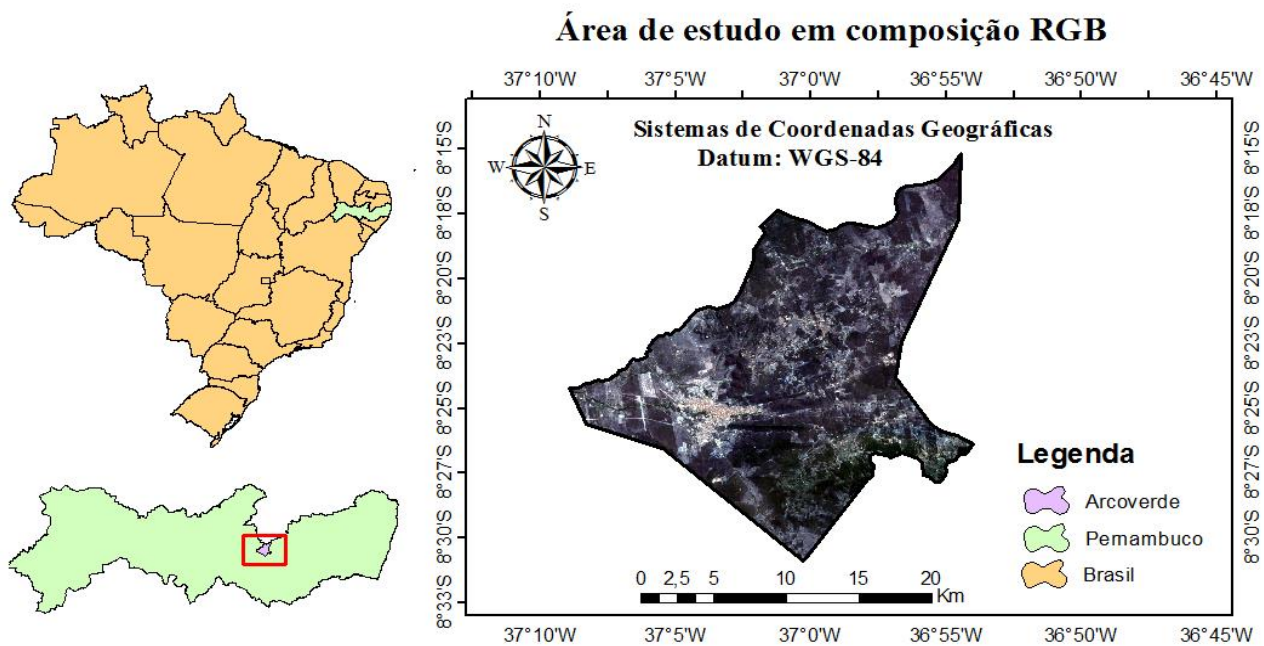


Figura 1. Mapa espacial de localização do município de Arcoverde, Pernambuco, Brasil.

Através de dados registrados numa estação meteorológica automática pertencente ao INMET, localizada na própria área de estudo, realizou-se o processo de correção e calibração radiométrica das imagens de satélite. A partir de imagens orbitais do Landsat 8 OLI datadas em: 10/12/2013, 14/01/2015 e 12/08/2016, adquiridas junto ao site da USGS/NASA (*United States Geological Survey*) desenvolveu-se o presente estudo. Ambas foram processadas por meio do Software ERDAS IMAGINE® 9.1, mediante a implementação do algoritmo SEBAL, no qual foram realizadas todas as operações matemáticas importantes para o cálculo dos principais parâmetros biofísicos à superfície, como: albedo da superfície, Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI) e Índice de Vegetação Ajustado ao Solo (SAVI).

O pré-processamento das imagens foi iniciado com o empilhamento de bandas espectrais e o georreferenciamento destas. Após tal processo, foi possível obter diante do SEBAL, a radiância espectral, refletância monocromática e os demais parâmetros. Os mapas temáticos dos principais parâmetros foram todos processadas pelo Software ArcGIS® 10.2.2.

Converteu-se os valores quantizados e calibrados do nível de cinza de cada banda do OLI com base nos termos aditivo e multiplicativo para a radiância espectral, conforme a Equação 1 (CHANDER & MARKHAM, 2003; SILVA et al., 2016).

$$L_b = \text{Add}_{\text{rad } b} + \text{Mult}_{\text{rad } b} \cdot \text{ND}_b \quad (1)$$

Em que: L_b ($\text{W m}^{-2} \text{sr}^{-1} \mu\text{m}^{-1}$) é a radiância espectral; $\text{Add}_{\text{rad } b}$ é o termo aditivo e $\text{Mult}_{\text{rad } b}$ o multiplicativo para a radiância e ND_b é a intensidade de cada pixel e banda (valor entre 0 e 65365, imagens do OLI).

Deste modo, também se converteu os valores quantizados e calibrados do nível de cinza de cada banda do OLI para à refletância, conforme Equação 2 (CHANDER; MARKHAM, 2003; SILVA et al., 2016).

$$r_b = \frac{(\text{Add}_{\text{ref } b} + \text{Mult}_{\text{ref } b} \cdot \text{ND}_b)}{\cos \theta \cdot d_r} \quad (2)$$

Em que: r_b ($W m^{-2} sr^{-1} \mu m^{-1}$) é a refletância monocromática; $Add_{ref b}$ é o termo aditivo e $Mult_{ref b}$ o multiplicativo da refletância e d_r obtido de acordo com a Equação 3 (IQBAL, 1983).

$$d_r = 1 + 0,033 \cdot \cos\left(\frac{DSA \cdot 2 \cdot \pi}{365}\right) \quad (3)$$

Em que: DSA é o dia sequencial do ano e o argumento da função \cos está em radianos.

O cosseno do ângulo zenital solar (θ) foi obtido através do ângulo de elevação do Sol (E , graus), conforme Equação 4.

$$\cos \theta = \cos\left(\frac{\pi}{2} - E\right) = \sin(E) \quad (4)$$

O albedo planetário, sem correção atmosférica, foi estimado de acordo com vários estudos realizados no Semiárido, conforme a Equação 5.

$$\alpha_{toa} = p_2 \cdot r_2 + p_3 \cdot r_3 + p_4 \cdot r_4 + p_5 \cdot r_5 + p_6 \cdot r_6 + p_7 \cdot r_7 \quad (5)$$

Em que: α_{toa} é o albedo planetário; p_2, p_3, p_4, p_5, p_6 e p_7 são os pesos de cada uma das respectivas bandas e r_2, r_3, r_4, r_5, r_6 e r_7 , são as refletâncias de cada uma das respectivas bandas.

O albedo da superfície foi calculado a partir do modelo da transmissividade atmosférica (τ_{sw}), conforme a Equação 6 (ASCE-EWRI, 2005).

$$\alpha_s = \frac{\alpha_{toa} - \alpha_{atm}}{\tau_{sw}^2} \quad (6)$$

Em que: α_s é o albedo da superfície; α_{atm} é a refletância da atmosfera, que para o algoritmo SEBAL tem sido recomendado o valor de 0,03 (BASTIAANSSEN, 2000).

Obteve-se a transmissividade atmosférica no domínio da radiação solar, conforme a Equação 7 (ASCE-ERWI, 2005).

$$\tau_{sw} = 0,35 + 0,627 \cdot \exp\left[\frac{-0,00146 \cdot P_o}{K_t \cdot \cos \theta} - 0,075 \left(\frac{W}{\cos \theta}\right)^{0,4}\right] \quad (7)$$

Em que: P_o (kPa) é a pressão atmosférica instantânea; K_t é o coeficiente de turbidez do ar, para este trabalho foi utilizado $K_t = 1,0$ (ALLEN et al., 2002); W (mm) é a água precipitável, este que foi obtido por meio da umidade relativa do ar instantânea (%).

Determinou-se em seguida o Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI), conforme a Equação 8 (ALLEN et al., 2002).

$$NDVI = \frac{r_{b IV} - r_{b V}}{r_{b IV} + r_{b V}} \quad (8)$$

Em que: $r_{b IV}$ e $r_{b V}$ correspondem, às respectivas bandas refletivas 4 e 5 do satélite Landsat 8 OLI.

O parâmetro biofísico Índice de Vegetação Ajustado ao Solo (SAVI), foi obtido conforme a Equação 9 (HUETE, 1988).

$$SAVI = \frac{(1 + L) \cdot (r_{bIV} - r_{bV})}{(L + r_{bIV} + r_{bV})} \quad (9)$$

Em que: L é a constante de ajuste ao solo, está que depende muito do tipo de solo. Conforme estudos realizados principalmente no Semiárido brasileiro utilizou-se o valor de 0,1 (SILVA et al., 2011).

Diante do intuito em determinar as alterações ambientais perante o clima local da região e ações antrópicas, os parâmetros albedo, NDVI e SAVI foram analisados estatisticamente por meio de medidas de tendência central e dispersão (mínimo, máximo, média, desvio padrão – DP). Nesse sentido, avaliou-se também o coeficiente de variação (CV), conforme critério de classificação de Warrick e Nielsen (1980), quanto a sua variabilidade, onde o $CV < 12\%$ (baixa), valores entre $12\% < CV < 60\%$ (média) e $CV > 60\%$ (alta variabilidade).

Resultados e Discussão

A Figura 2 apresenta o mapa temático do albedo da superfície, onde observa-se nas áreas com os pixels em azul claro os menores valores, estes que correspondem aos corpos hídricos e a presença de umidade junto a vegetação do município, como também áreas irrigadas. Os pixels com tonalidades avermelhada correspondem aos maiores valores de albedo ($>0,5$), estes observados nas áreas impermeabilizadas e principalmente de solo exposto da região. Cunha et al. (2012) frisam que as mudanças no albedo da superfície ocorrem devido às diferenças nas propriedades ópticas da folha entre a vegetação natural da Caatinga, tal qual é a vegetação predominante da região em estudo.

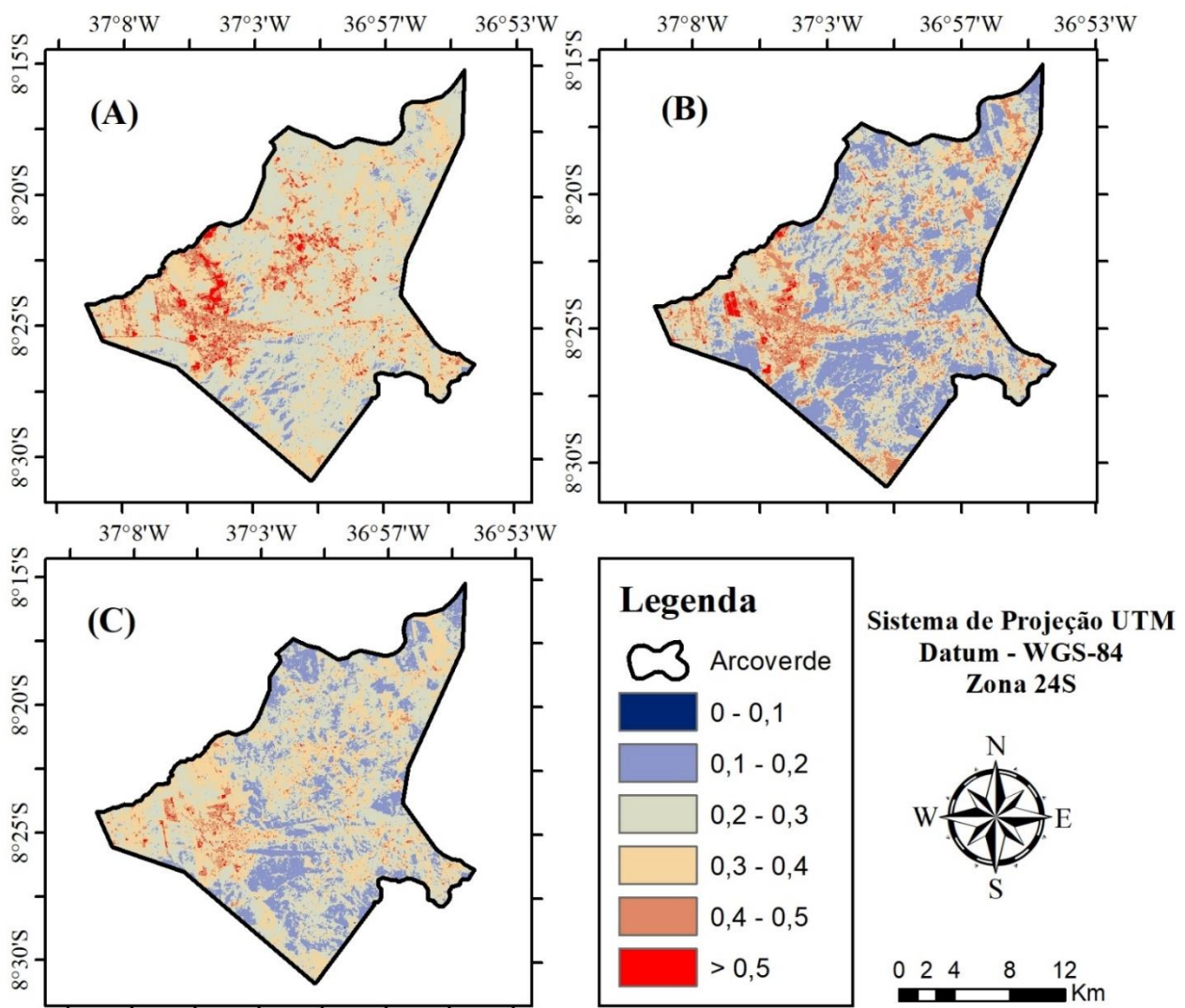


Figura 2. Mapa temático da variabilidade espaço-temporal do albedo da superfície nos dias: 10/12/2013 (A), 14/01/2015 (B) e 12/08/2016 (C).

A Tabela 1 apresenta os valores dos parâmetros estatísticos obtidos na análise espaço-temporal dos mapas temáticos do albedo da superfície. De modo geral, observa-se que a média do dia 10/12/2013 (Figura 2A) foi maior, que pode ser explicado por ter sido o ano mais seco, conforme os dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Com isso, os valores de albedo são maiores durante a estação seca, devido à diminuição de folhas verdes em função do baixo índice pluviométrico e baixa umidade do solo. De acordo com Silva et al. (2011) o período seco contribui significativamente para elevar os valores de albedo, assim como as áreas de baixa disponibilidade hídrica.

Tabela 1. Valores dos parâmetros estatísticos obtidos na análise do albedo da superfície

| Datas | Albedo da superfície | | | | |
|------------|----------------------|--------|-------|------|------|
| | Mínimo | Máximo | Médio | DP | CV |
| 10/12/2013 | 0,03 | 0,82 | 0,19 | 0,06 | 0,31 |
| 14/01/2015 | 0,03 | 0,81 | 0,18 | 0,05 | 0,28 |
| 12/08/2016 | 0,06 | 0,66 | 0,18 | 0,04 | 0,22 |

A Figura 3 apresenta a variabilidade espaço-temporal do índice de vegetação - NDVI. Os intervalos das classes adotadas foram: < 0 (Corpos Hídricos); 0 - 0,2 (Solo Exposto); 0,2 - 0,35 (Vegetação Rala); 0,35 - 0,5 (Vegetação Esparsa); 0,5 - 0,65 (Vegetação de Transição); > 0,65 (Vegetação Densa). Observa-se que as áreas de pixels com tonalidades em marrom claro e de cor creme possuem valores próximos de zero, ou seja, representam áreas de solo exposto (valores entre 0 - 0,2) ou com pouco vegetação (vegetação rala, valores entre 0 - 0,35). Gusmão et al. (2013) encontraram valores de NDVI entre 0,10 e 0,30 nas áreas antropizadas. As áreas de pixels com tonalidades em verde, principalmente o verde escuro possuem altos valores de NDVI. Arraes et al. (2012) destacam que a presença expressiva da vegetação (dossel foliar) em virtude da rápida resposta da Caatinga mediante as precipitações pluviométricas antecedentes, passam a influenciar diretamente o NDVI. A Caatinga é conhecida pelo seu alto poder de resiliência, que se confirma pela formação da biomassa imediata em resposta aos eventos de chuva (RODRIGUES et al., 2009). O NDVI conforme Tasumi et al. (2008) é um indicativo das condições, da densidade e porte da vegetação.

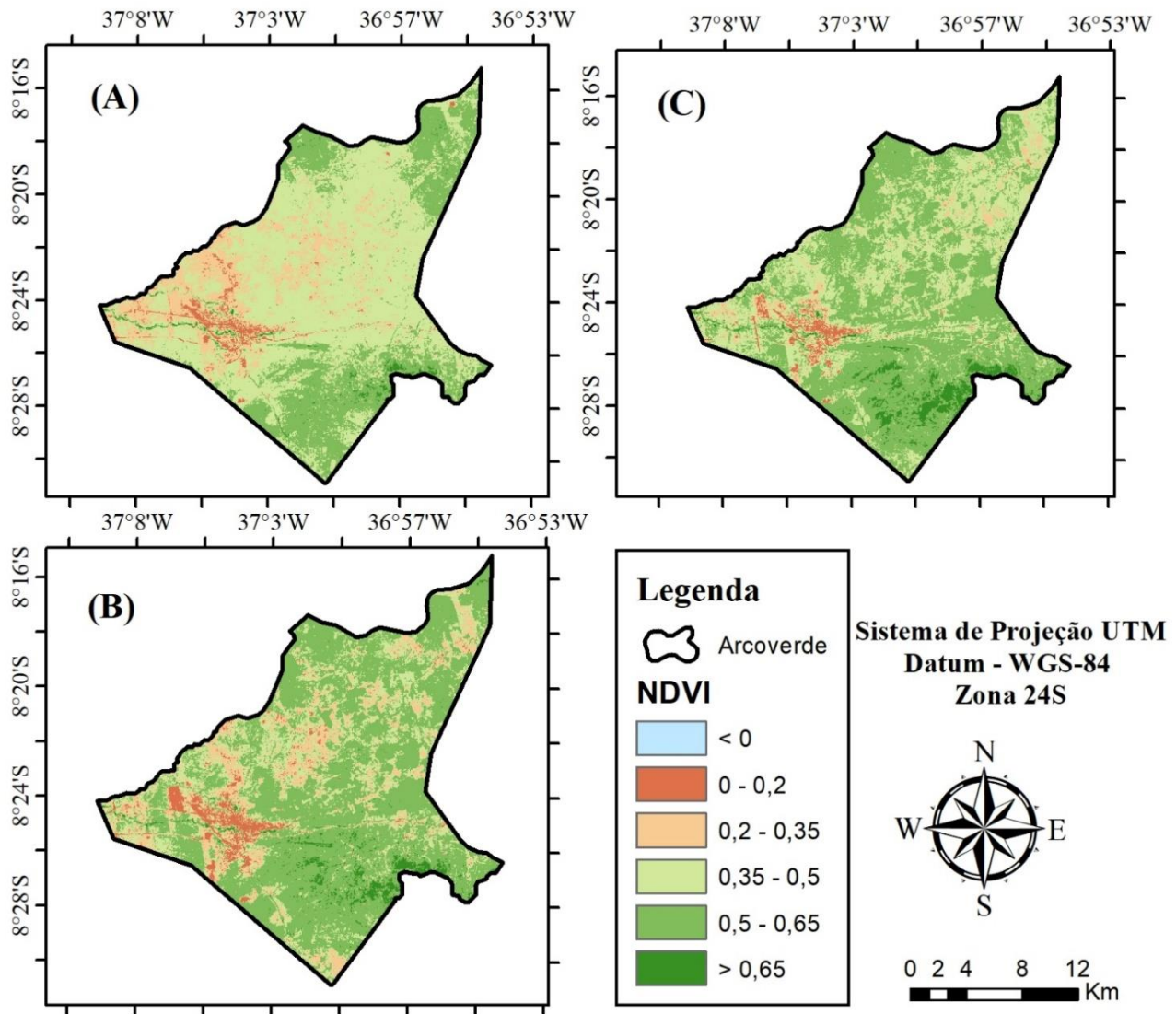


Figura 3. Mapa temático da variabilidade espaço-temporal do índice de vegetação - NDVI nos dias: 10/12/2013 (A), 14/01/2015 (B) e 12/08/2016 (C).

A Tabela 2 apresenta os valores dos parâmetros estatísticos obtidos na análise espaço-temporal dos mapas temáticos do NDVI. O valor médio do NDVI apresentou um aumento na análise espaço-temporal, destacando o dia 12/08/2016 (Figura 2C) com maior valor médio, o que indica uma vegetação mais expressiva para esta época, possivelmente por se tratar de um período mais úmido. O dia 10/12/2013 (Figura 2A) obteve um resultado médio baixo, devido à baixa pluviosidade e consequentemente uma época mais seca. Rodrigues et al. (2009) ressaltam que no período mais seco a vegetação formada por caatinga caracteriza-se pela queda das folhas e, com isso, o NDVI é afetado significativamente.

Tabela 2. Valores dos parâmetros estatísticos obtidos na análise do índice de vegetação - NDVI

| Data | Índice de vegetação - NDVI | | | | |
|------------|----------------------------|--------|-------|------|------|
| | Mínimo | Máximo | Médio | DP | CV |
| 10/12/2013 | -0,55 | 0,85 | 0,32 | 0,08 | 0,25 |
| 14/01/2015 | -0,62 | 0,85 | 0,38 | 0,09 | 0,24 |
| 12/08/2016 | -0,37 | 0,83 | 0,39 | 0,10 | 0,26 |

A Figura 4 apresenta a variabilidade espaço-temporal dos mapas temáticos do SAVI, no qual utilizou-se os mesmos intervalos do NDVI quanto a vegetação. Os resultados do SAVI expressam similaridades em relação ao NDVI. O dia 10/12/2013 (Figura 4A) evidencia uma maior quantidade de áreas com pouca ou nenhuma vegetação. Os maiores valores são em áreas com vegetação densa, tal qual

observou também no NDVI. Para Almeida (2012), a partir do SAVI é possível verificar de forma mais confiável o nível de degradação da cobertura vegetal em áreas semiáridas, tendo em vista a contribuição que o fator de ajuste de solo proporciona.

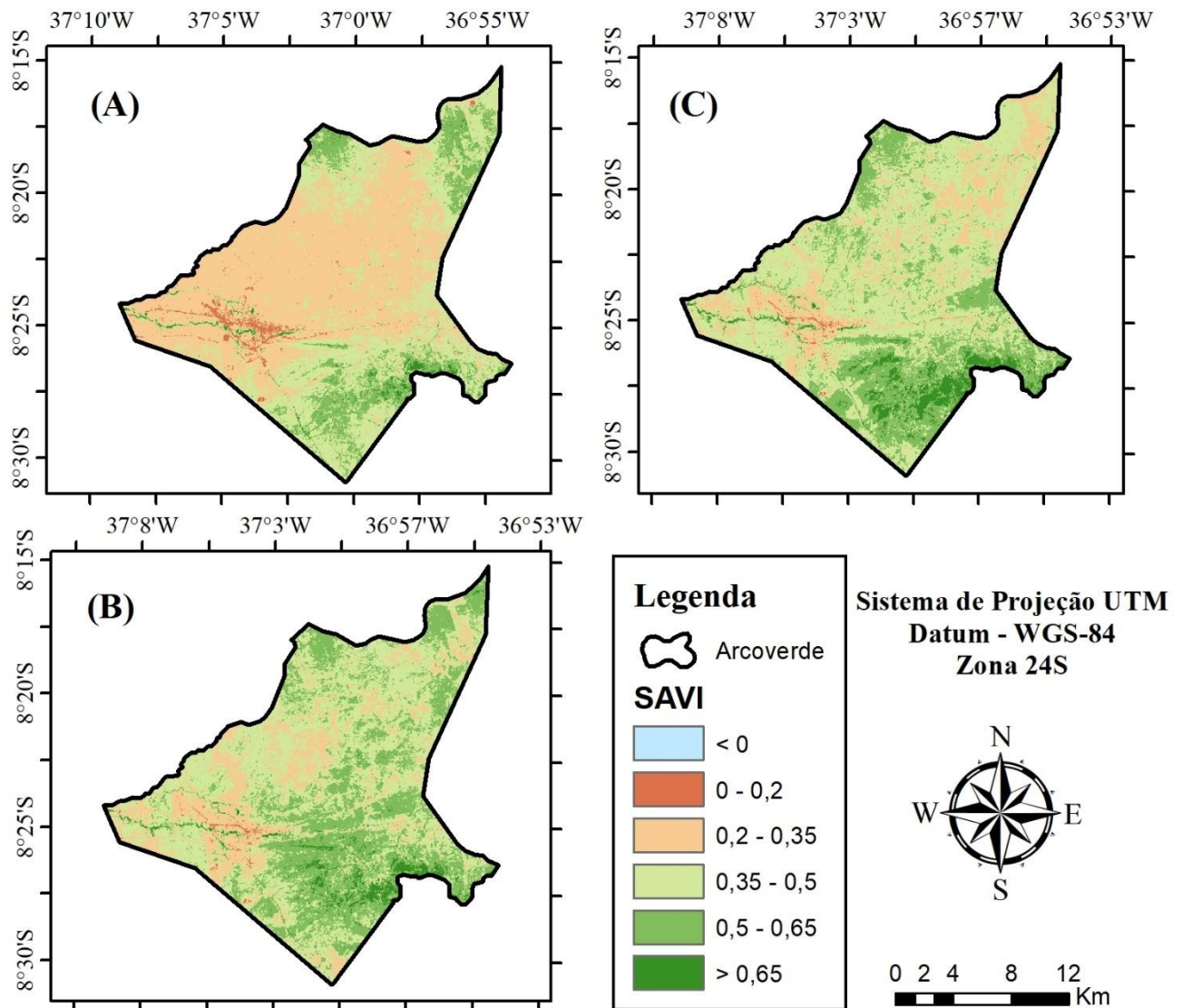


Figura 4. Mapa temático da variabilidade espaço-temporal do índice de vegetação - SAVI nos dias: 10/12/2013 (A), 14/01/2015 (B) e 12/08/2016 (C).

Miranda e Nascimento (2013) destacam que o SAVI quando comparado ao NDVI, separa áreas de solo de áreas de vegetação e pondera pesos diferentes para cada uma dessas classes, tornando mais evidente e menos expressivo o efeito do solo, todavia tal explicação foi comprovado diante deste estudo conforme as mudanças dos mapas temáticos observados nas Figuras 3 e 4. Silva e Galvêncio (2012) comparando a variação nos índices NDVI e SAVI no município de Petrolina - PE, destacaram a eficiência do SAVI, principalmente em as áreas mais densamente vegetadas, comprovando que este parâmetro possui confiabilidade para os períodos secos do semiárido. Rocha et al. (2011) chegaram à conclusão de que o SAVI discrimina melhor os alvos na superfície terrestre, apresentando um maior número de classes.

A Tabela 3 apresenta os valores dos parâmetros estatísticos obtidos na análise espaço-temporal dos mapas temáticos do SAVI. Assemelham-se ao índice de vegetação anterior, onde a menor média observa-se no dia 10/12/2013 (Figura 4A) e a maior no dia 12/08/2016 (Figura 4C).

Tabela 3. Valores dos parâmetros estatísticos obtidos na análise do índice de vegetação - SAVI

| Data | Índice de vegetação - SAVI | | | | |
|------------|----------------------------|--------|-------|------|------|
| | Mínimo | Máximo | Médio | DP | CV |
| 10/12/2013 | -0,27 | 0,81 | 0,27 | 0,07 | 0,26 |
| 14/01/2015 | -0,24 | 0,81 | 0,32 | 0,07 | 0,22 |
| 12/08/2016 | -0,29 | 0,79 | 0,33 | 0,08 | 0,24 |

Os valores do CV dos parâmetros analisados (albedo, NDVI e SAVI) foram segundo os critérios de classificação de Warrick e Nielsen (1980) de média variabilidade. Com isso, os resultados possibilitaram observar alterações nos diferentes usos e ocupações do solo no município de Arcoverde – PE, destacando o monitoramento eficaz da região, tornando cabível medidas mitigadoras quanto a degradação do solo, visto que se observou baixos valores nos períodos de estiagem, mostrando-se deste modo, o efeito negativo trazido pela seca e as ações antrópicas na região.

Conclusão

A interpretação dos parâmetros determinados no SEBAL permitiu de modo consistente, concluir que nas áreas quando observados altos valores de albedo e baixos valores de NDVI e SAVI indicam áreas de solo exposto, que podem estarem em processo de degradação ou já degradadas.

Contudo, as determinações dos parâmetros biofísicos por meio de sensores orbitais são extremamente importantes, mostrando-se como parte efetiva na identificação de alterações ambientais das regiões semiáridas de forma rápida e eficaz à um baixo custo.

Agradecimentos

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal Rural de Pernambuco - UFRPE; A CAPES pela concessão da bolsa; Ao Instituto Nacional de Meteorologia - INMET pela disponibilidade e repasso dos dados meteorológicos.

Referências

- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. Crop evapotranspiration – Guidelines for computing crop water requirements – FAO Irrigation and Drainage paper 56. FAO, Rome, v.300, n.9, p.D05109, 1998.
- ALLEN, R. G.; TASUMI, M.; TREZZA, R.; WATERS, R.; BASTIAANSEN, W. G. M. SEBAL (Surface Energy Balance Algorithms for Land). Advance Training and User's Manual – Idaho Implementation, v.1, p.97, 2002.
- ALMEIDA, N. V. Ordenamento territorial geoambiental da bacia Hidrográfica do rio Taperoá/semiárido paraibano. Tese (Doutorado em Geografia). Universidade Federal Fluminense – UFF, Niterói – RJ, 2012.
- APAC. Agência Pernambucana de Águas e Clima, Monitoramento Pluviométrico. Disponível em: <<http://www.apac.pe.gov.br/meteorologia/monitoramento-pluvio.php>>. Acesso em: 15/01/2018.
- ARAÚJO, T. D.; FONSECA, E. L. Análise multitemporal dos Lençóis Maranhenses entre 1984 a 2014 utilizando sensoriamento remoto orbital. Revista Brasileira de Geografia Física, v.9, n.1, p.280-295, 2016.
- ARRAES, F. D. D.; ANDRADE, E. M.; SILVA, B. B. Dinâmica do balanço de energia sobre o açude Orós e suas adjacências. Revista Caatinga, v.25, n.1, p.119-127, 2012.
- ASCE-EWRI. American Society of Civil Engineers - Environmental and Water Resources Institute. ASCE-EWRI Standardization of Reference Evapotranspiration Task Committee Report, ASCE, 2005.
- BASTIAANSEN, W. G. M. SEBAL – Based sensible and latent heat fluxes in the irrigated Gediz basin, Turkey. Journal of Hydrology, v.229, n.1, p.87-100, 2000.
- BASTIAANSEN, W. G. M.; PELGRUM, H.; WANG, J.; MA, Y.; MORENO, J. F.; ROERINK, G. J.; VAN DER WAL, T. A remote sensing surface energy balance algorithm for land (SEBAL) 1. Formulation. Journal of Hydrology, v.212-213, p.198-212, 1998.
- BELTRÃO, B. A.; MASCARENHAS, J. D. C.; MIRANDA, J. L. F. D.; SOUZA JUNIOR, L. C. D.; GALVÃO, M. J. D. T. G.; PEREIRA, S. N. Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea: estado de Pernambuco: diagnóstico do município de Afrânio. Recife, Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM), 2005. 11 p.

- BEZERRA, J. M.; MOURA, G. B. A.; SILVA, B. B.; LOPES, P. M. O.; SILVA, E. F. F. Parâmetros biofísicos obtidos por sensoriamento remoto em região semiárida do estado do Rio Grande do Norte, Brasil. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.18, n.1, p.73-84, 2014.
- CHANDER, G.; MARKHAN, B. Revised Landsat 5 - TM radiometric calibration procedures and post calibration dynamic ranges. *IEEE Transactions on Geosciences and Remote Sensing*, v.41, n.11, p.2674-2677, 2003.
- CPRM. Serviço Geológico do Brasil. Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea: diagnóstico do município de Arcoverde, Estado de Pernambuco. Recife – PE: CPRM/PRODEEM, 2005. 23 p.
- CUNHA, J. E. B. L.; RUFINO, I. A.; SILVA, B. B.; CHAVES, I. D. B. Dinâmica da cobertura vegetal para a Bacia de São João do Rio do Peixe, PB, utilizando-se sensoriamento remoto. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.16, n.5, p.539-548, 2012.
- FREIRE SANTANA, E.; VIDAL BATISTA, L.; MARQUES DA SILVA, R.; GUIMARÃES SANTOS, C. A. Multispectral Image Unsupervised Segmentation Using Watershed Transformation and Cross-Entropy Minimization in Different Land Use. *GIScience & Remote Sensing*, v.51, n.6, p.613-629, 2014.
- GUSMÃO, A. C. V. L.; SILVA, B. B.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; GALVÍNIO, J. D.; OLIVEIRA, L. M. M. Índice de vegetação e temperatura da superfície no ecótono Ilha do Bananal por sensoriamento remoto. *Revista de Geografia*, v.30, n.3, p.209-225, 2013.
- HUETE, A. R. A soil adjusted vegetation index (SAVI). *Remote Sensing of Environment*, v.25, n.3, p.295-309, 1988.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Censo do Município de Arcoverde – PE. Arcoverde: 2008. 8p.
- IQBAL, M. An introduction to solar radiation. London: Academic Press, 1983, 390 p.
- LINS, F. A. C.; SANTOS ARAÚJO, D. C.; SILVA, J. L. B.; LOPES, P. M. O.; OLIVEIRA, J. D. A. Estimativa de parâmetros biofísicos e evapotranspiração real no semiárido pernambucano utilizando sensoriamento remoto. *IRRIGA*, v.1, n.1, p.64-75, 2017.
- MIRANDA, J. R.; NASCIMENTO, C. R. Análise de índices espectrais na avaliação de terraceamento em pastagem cultivadas no norte de Minas Gerais. *Revista Enciclopédia Biosfera*, v.9, n.17, p.128, 2013.
- OLIVEIRA, L. M. M.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; SILVA, B. B.; MOURA, A. E. S. S. Balanço de radiação por sensoriamento remoto em bacia hidrográfica da zona da mata nordestina. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v.30, n.1, p.16-28, 2015.
- ROCHA, W. J. S. F.; BORGES, E. F.; VIGANÓ, H. A. Análise do desempenho dos Índices de Vegetação NDVI e SAVI a partir de imagem Aster. *Anais... XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR*, Curitiba-PR, PR, p.1828, 2011.
- RODRIGUES, J. O.; ANDRADE, E. D.; TEIXEIRA, A. D. S.; SILVA, B. D. Sazonalidade de variáveis biofísicas em regiões semiáridas pelo emprego do sensoriamento remoto. *Engenharia Agrícola*, v.29, n.3, p.452-465, 2009.
- SILVA, B. B. D.; BRAGA, A. C.; BRAGA, C. C.; OLIVEIRA, L. M.; MONTENEGRO, S. M.; BARBOSA JUNIOR, B. Procedures for calculation of the albedo with OLI-Landsat 8 images: Application to the Brazilian semi-arid. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.20, n.1, p.3-8, 2016.
- SILVA, B. B.; BRAGA, A. C.; BRAGA, C. C. Balanço de radiação no perímetro irrigado São Gonçalo – PB mediante imagens orbitais. *Revista Caatinga*, v.24, n.3, p.145-152, 2011.
- SILVA, L. G.; GALVÍNIO, J. D. Análise Comparativa da Variação nos Índices NDVI e SAVI no Sítio PELD – 22, em Petrolina – PE, na Primeira Década do Século XXI. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v.5, n.6, p.1446-1456, 2012.
- TASUMI, M.; ALLEN, R. G.; TREZZA, R. At-surface reflectance and albedo from satellite for operational calculation of land surface balance. *Journal of Hydrologic Engineering*, v.13, n.2, p.51-63, 2008.
- WARRICK, A. W.; NIELSEN, D. R. Spatial variability of soil physical properties in the field. In: HILLEL, D. (Ed.). *Applications of soil physics*. New York: Academic, 1980.

Capítulo 4**ANÁLISE ESPAÇO-TEMPORAL DO COMPORTAMENTO VOLUMÉTRICO DO AÇUDE SUMÉ-PB, UTILIZANDO SENSORES ORBITAIS****¹ Jana Yres Barbosa de Sousa****² André Luiz Soares Velozo****³ José Rodrigues Pereira****⁴ Sandro Roberto Dias de Araújo****⁵ Renato Lima Ramos****⁶ Hayssa Thyara Silva Barreto**¹Engenheira Agrícola, yresveloso@hotmail.com²Geógrafo, andrepbgeo@hotmail.com³Dr. Pesquisador, Embrapa Algodão Campina Grande, jose.r.pereira@embrapa.br⁴Mestrando em Engenharia Agrícola, PPGA-UFCG /Campus Campina Grande, sandrodiasriego@gmail.com⁵Msc. em Engenharia Agrícola, UFCG/ Campus Campina Grande, renatolimaramos1@gmail.com⁶Graduanda em Engenharia Agrícola, UFCG/ Campus Campina Grande, hayssathyara@hotmail.com**Introdução**

Em razão das alterações climáticas da região semiárida, especificamente no Alto Curso do Rio Paraíba, os índices pluviométricos no Estado da Paraíba no período entre os anos de 2010 a 2015 foram abaixo da média e de escassez extensa, ocasionados em grande maioria pela evaporação e mau uso do recurso hídrico dificultando, por tanto, a disponibilidade de água. Essas alterações climáticas são atuantes dependendo da região onde ocorrem causando uma deficiência na ocorrência das chuvas (CUNHA, 2008).

Estudos estatísticos feitos na região do Cariri apontam através das influências da TSM (Temperatura da Superfície do Mar) e do *El Niño* uma diminuição considerada do volume de água do açude entre as décadas de 80 e 90 (MORAES et al., 2007). Porém em tempo curto de 1 a 3 anos de estiagem, trazendo consequências graves para a população que sobrevive da fonte hídrica para a irrigação e a pecuária repetindo-se estes nos anos de 2010 e 2015.

O gerenciamento dos Recursos Hídricos, em especial de uma região semiárida promove o monitoramento da capacidade hídrica dos reservatórios através de instrumentos que garantem apresentar tanto os níveis dos corpos d' água como também os índices de precipitação através de pluviômetros que geram banco de dados para disponibilizar os valores pluviométricos da região ou município (AESA, 2015). Quanto a situação do açude Sumé, localizado no município de Sumé, Paraíba, o mesmo apresentou em 2010 um percentual de 70,8% de sua capacidade, o que corresponde a um nível capaz de atender a população local.

Uma razão para essa situação de escassez é justamente o fato de se estudar perdas de água dos mananciais envolvendo a evaporação, a pluviosidade e o balanço hídrico em regiões semiáridas como o caso da Paraíba. Estudos feitos na região semiárida apontam que cerca de 30 a 40% das águas de chuva que se acumulam nos reservatórios são perdidas pela evaporação (SUASSUNA, 2002).

No planeta como um todo, a água bruta rica em sais minerais, como aquelas que abastecem comunidades, precisam ser cuidadas e gerenciadas por ações que apresentem sustentabilidade hídrica e controladas por monitoramentos que garantam a quantidade suficiente para a demanda populacional de uma região semiárida, pois do contrário enfrentarão sérios problemas ambientais, sociais e econômicos (SILVA et al., 2013).

O armazenamento de água eficiente para diminuir a sede e a escassez da população garantem uma melhor vivência e produção social, do contrário intensificam-se os impactos (MARENGO et al., 2011). Os órgãos competentes nesse caso devem e podem estabelecer regras de gestão para melhorar a potabilidade da água com criação de adutoras, poços, pequenas barragens que facilitem o acesso ao consumo e demanda de água em ambientes rurais, a fim de evitar a retirada indevida de água nos açudes ou mananciais que abastecem a população, e que muitas vezes sofre com longas estiagens provocando a perda hídrica.

A regulamentação da Política Nacional de Recursos Hídricos sugere, de acordo com a Lei 9.433/97, que a água é um recurso hídrico que politicamente e economicamente deve ser gerenciado

para promover um melhor consumo e abastecimento de maneira sustentável que atenda as comunidades que sofrem com a escassez de água.

O volume do açude Sumé, obtido no site da AESA (Agência Executiva de Gestão das Águas do estado da Paraíba), para o ano de 2015, apresentou um percentual de 16,3% de sua capacidade máxima de armazenamento, em consequência da prolongada estiagem ocorrida no segundo semestre de 2010 até o último mês de 2015, e conforme Jacomine (1996), consequências da variabilidade das chuvas no Semiárido nordestino e da precária retenção de água nos solos.

A técnica do geoprocessamento contribui para uma caracterização e amostragem espacial, que atenda principalmente as áreas que precariamente apontem incerteza nos dados e na distribuição das chuvas na região. O estudo relacionado a capacidade volumétrica e todo fator físico que esteja relacionado a forma de relevo, dos espelhos d'água e cursos dos rios, sendo esses imageados por sensores orbitais, são importantes para obtenção de dados (LIEBE, 2002).

Objetiva-se por este trabalho avaliar através de dados pluviométricos, e por meio das bandas espectrais de imagens dos satélites, o comportamento da instabilidade volumétrica do açude Sumé entre os anos de 2010 a 2015, para caracterização espaço-temporal da fisiografia do espelho d' água.

Material e Métodos

Área de estudo e caracterização

A área da pesquisa compreende o município de Sumé, localizado no semiárido paraibano, localizado na Região do Alto Curso do Rio Paraíba, Figura 1, mais precisamente ao açude Sumé, do município, banhado pelo rio Sucuru, que apresenta uma capacidade máxima de 44.864.100m³, sendo esse localizado na microrregião do Cariri Ocidental entre as coordenadas 7° 67'05,71" (S) de latitude e 36°91'84,77" (O) de longitude (AESA, 2015). O município apresenta uma área de 864 km², sob altitude de 540 m aproximadamente, com temperatura média acima de 25°C.

Por apresentar um clima semiárido, o solo apresenta uma baixa capacidade de retenção hídrica. Predomina-se uma vegetação de caatinga hiperxerófila semi-densa e densa na região. A pluviometria da região de Sumé apresenta uma quadra chuvosa bastante irregular devido as instabilidades nas precipitações, pois existem barreiras ocasionadas pelos relevos da chapada da Borborema, interceptando as massas de ar oceânicas, gerando uma média pluviométrica de 600mm, (CADIER, 1994). Quanto aos meses chuvosos, estes se concentram em março e se estende até maio.

O açude Sumé, apresenta em sua bacia hidrográfica, 4 açudes monitorados pela AESA, sendo eles os açudes São Paulo, Prata II, Sumé e Ouro Velho, no entanto, uma grande maioria dos pequenos reservatórios são particulares, ou seja, não são monitorados pela AESA (BARROS, 2010).

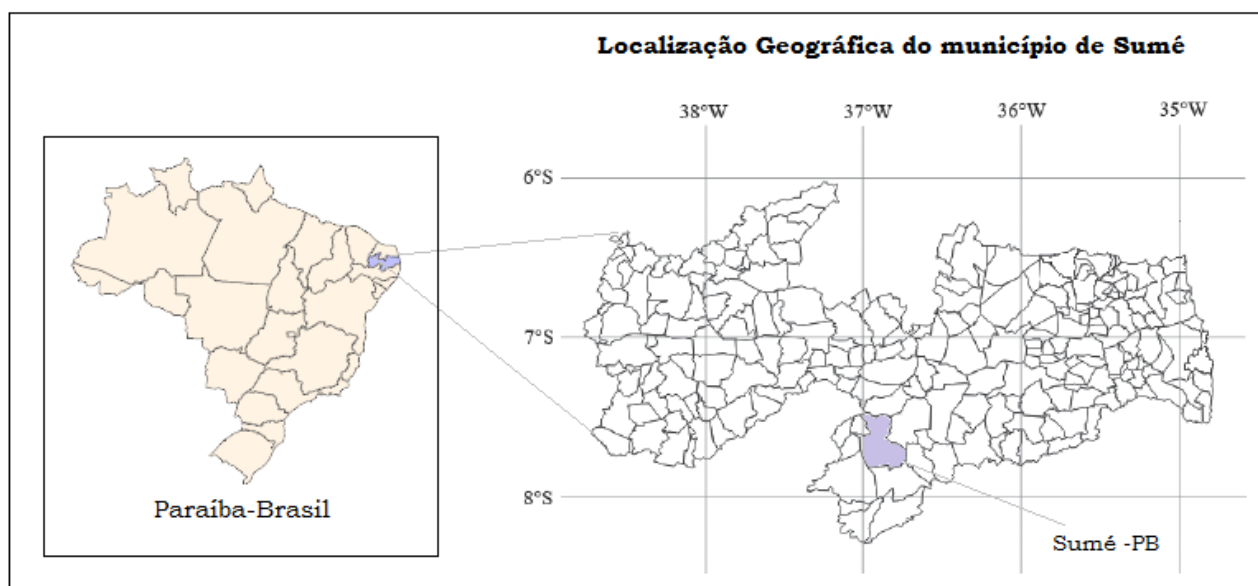


Figura 1. Localização geográfica do município de Sumé-PB.

Geoprocessamento e caracterização do espelho d'água

Para o estudo da variabilidade espaço-temporal e da fisiografia do reservatório Sumé, foi utilizado o software gvSIG 2.2, para a importação dos arquivos em formato Shapefile e KMZ dos

municípios da Paraíba, bacias e sub-bacias hidrográficas, açudes, rede de drenagem, e reservatórios monitorados pela AESA, todos com bases georreferenciadas e adquiridos na AESA (AESA, 2018). Uma base cartográfica obtida em IBGE (2009) do estado da Paraíba, foi necessária para o georreferenciamento das imagens de satélite, que foram adquiridas no site do INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais).

Foram utilizadas as bandas espectrais do sensor TM/LANDSAT5, órbita/ponto 215/065 (24/05/2010), e do sensor PAN/CBERS4 órbita/ponto 148/109 (14/08/2015) (INPE, 2016), sendo estas delimitadas conforme a área do estudo.

As combinações das bandas em RGB tanto da LANDSAT (Figura 1a) como a CBERS (Figura 1b), foram necessárias para evidenciar o melhoramento da amostragem espacial dos corpos d' água e o seu entorno, visando analisar o comportamento da instabilidade volumétrica do açude Sumé. As imagens foram projetadas para UTM, zona 24S.

Para uma melhor precisão de visualização dos alvos na área escolhida para o estudo, foi realizado o uso do Sextante, ferramenta do programa gvSIG, o qual contribui para utilizar os parâmetros de realce e contraste composto por um filtro 3x3, e a formação dos componentes principais para uma melhor correlação entre as faixas espectrais.

Tomou-se como critério a seleção de imagens com poucas ou nenhuma nuvem e a época fora do período chuvoso. Para isso utilizou-se dos dados fornecidos pela AESA para observação do volume através da precipitação, a porcentagem e área do espelho.

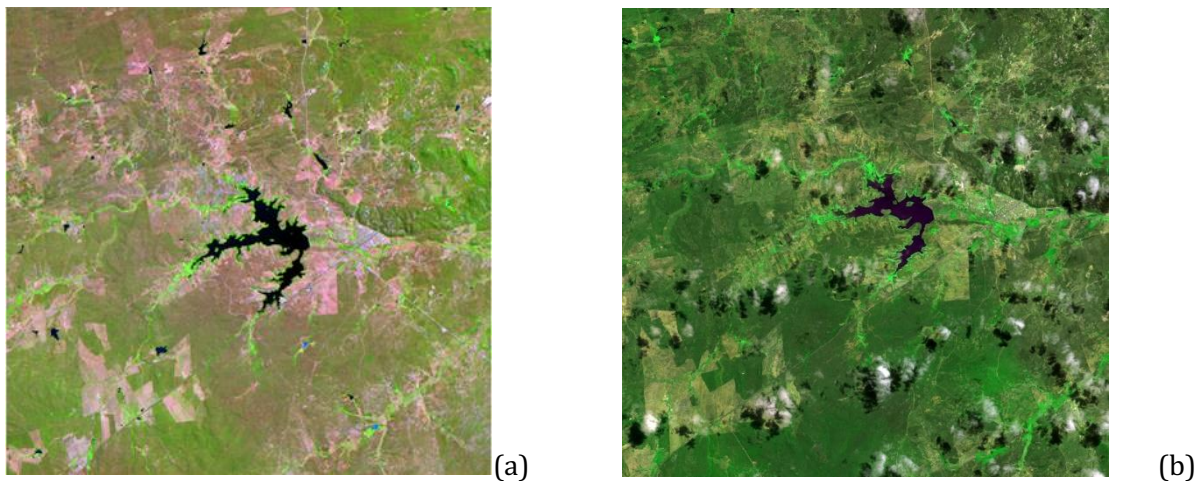


Figura 1. a - Imagem de satélite em composição RGB 543 (LANDSAT/TM5). b - imagem de satélite em composição RGB 342 (PAN/CBERS4).

A segunda etapa do tratamento das imagens foi avaliada por meio da classificação supervisionada utilizando o método Máxima probabilidade, onde se calculou os valores dos pixels baseados nas classes denominadas ROI (Regiões de Interesse) (Figura 2), definindo os pontos em cinco classes para elaboração de um modelo temático do espelho d' água do açude Sumé, além de toda extensão do reservatório para indicação e exatidão da perda de água.

Com a classificação supervisionada, foram definidas cinco classes para o modelo temático do espelho d' água do açude Sumé, sendo essas água, solo exposto, pastagem, vegetação rala e arbustos.

A posteriori foram gerados histogramas para verificar a correlação entre as classes geradas e os valores dos pixels para cada banda atribuída.

Para atingir a acurácia dos dados da classificação, utilizou-se do método matemático e estatístico Índice Kappa, em que o coeficiente é calculado pela equação 1.

$$K = P_0 - P_e / 1 - P_e \quad (\text{Eq. 1})$$

Em que: P_0 representa o ponto exato da classificação, P_e a taxa hipotética de aceitação, ou seja, a soma das linhas e colunas da matriz nos quais são divididos pelo número total de pixels (COHEN, 1960).

Para avaliação através do índice Kappa, adotou-se o grau de concordância entre os valores conforme a Tabela 1, que de acordo Galparsoro e Fernández (2001).

Tabela 1. Grau de concordância através do Índice Kappa

| Valores do Kappa | Índice de concordância |
|------------------|------------------------|
| < 0,20 | Pobre |
| 0,21 - 0,40 | Fraco |
| 0,41 - 0,60 | Moderado |
| 0,61 - 0,80 | Bom |
| 0,81 - 1,00 | Muito bom |

Fonte: Adaptado de Galparsoro e Fernández (2001).

Resultados e Discussão

Os canais do espectro ótico combinados gerou uma considerada variedade de informações para a variabilidade volumétrica conforme observa-se na Tabela 2.

Tabela 2. Combinação das bandas espectrais

| Satélites utilizados | Canal espectral | Resolução espacial (m) |
|----------------------|-----------------|------------------------|
| TM/LANDAST5 | 543(RGB) | 30 |
| PAN/CBERS4 | 342(RGB) | 10 |

Foi possível constatar, por meio dos pontos coletados, a veracidade da diminuição da área do espelho, a qual permaneceu o reservatório em 2015 observados nas imagens classificadas das Figuras 2 e 3.

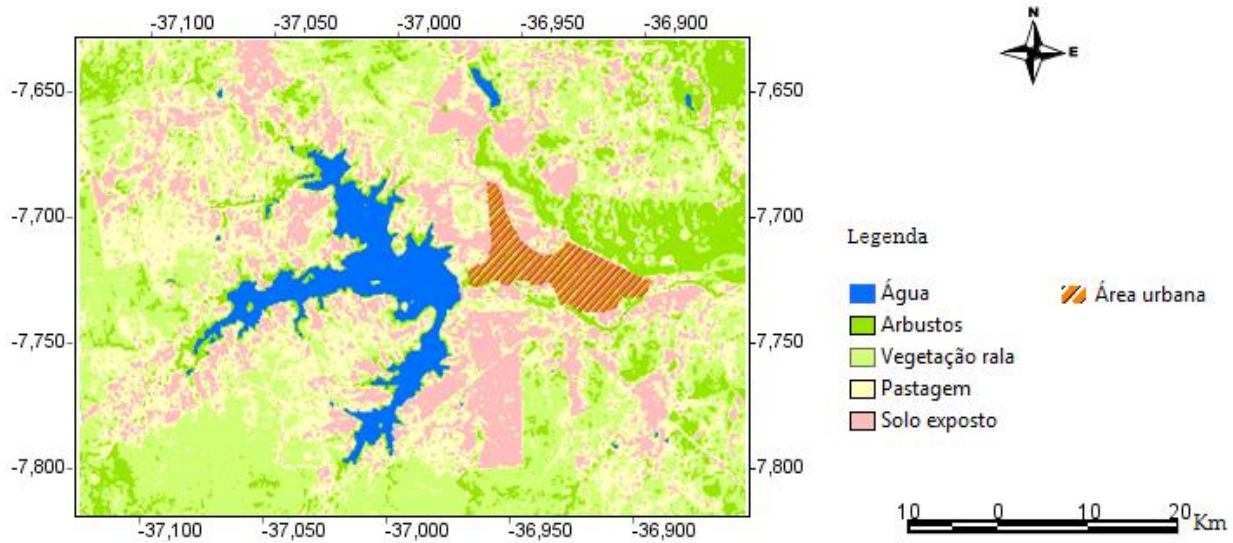


Figura 2. Modelo temático de classificação pelo método *Máxima Probabilidade*, através do sensor TM5 do satélite LANDSAT, em 24/05/2010.

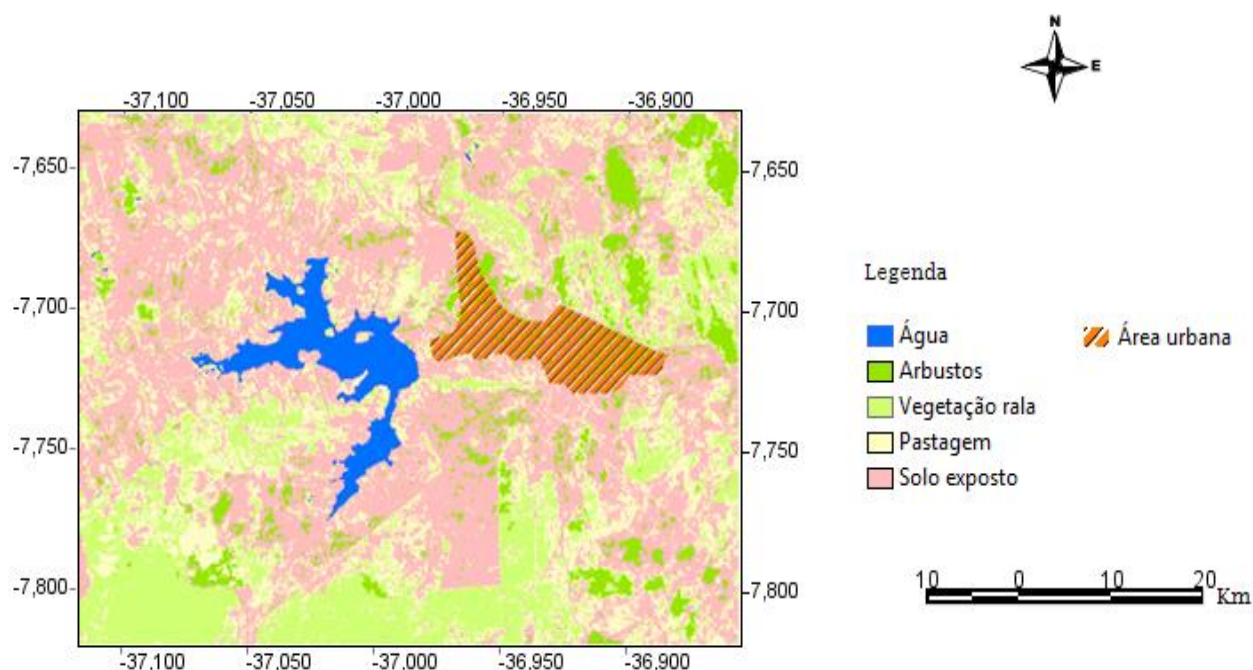


Figura 3. Modelo temático de classificação pelo método *Máxima Probabilidade*, através do sensor PAN do satélite CBERS 4, em 14/08/2015.

Observa-se que em 5 anos houve uma redução de $4.124,235\text{m}^2$ em relação aos dados observados da Tabela 3. Neste caso, em relação ao abastecimento da população, a redução do nível da água já promove para o ano seguinte um possível colapso. Apesar dessa diferença na época chuvosa, os tratamentos das imagens georreferenciadas garantem a detecção e identificação da variação volumétrica, bem como oferecem via *in loco*, sendo este apenas feito a visita em relação a imagem do ano de 2015, as respostas de como se encontrava a situação do entorno e da área do reservatório. A visita realizada em agosto de 2015 corroborou com as análises e tratamentos geoespaciais elaboradas nas imagens do satélite CBERS4. Foi possível a compreensão e a análise no comportamento da fisiografia e variação do volume devido ao baixo índice pluviométrico e evaporação nesses últimos 5 anos.

Tabela 3. Dados mensais relativos aos anos de 2010 e 2015 representando o volume, a porcentagem e a área da bacia hidrográfica do reservatório Sumé, Paraíba

| Volume (m³) | Porcentagem (%) | Área (m²) | Ano |
|-------------------------------|------------------------|-----------------------------|------------|
| 32134043 | 71,63 | 6810525 | 2010 |
| 6827060 | 15,22 | 2686290 | 2015 |

Foram através das combinações das bandas espectrais, especificamente a banda do infravermelho próximo, que conseguiu-se promover um resultado característico para detecção do comportamento do volume da água. Todo esse processo facilitou a extração das informações para uma rica e detalhada pesquisa quando se utilizou arquivos digitais, tabelas e gráficos (TRENTIN et al., 2013).

Quanto ao tempo de precipitação acumulada em todo o período dos últimos 5 anos, observa-se uma variação acentuada de decréscimos o que representa períodos chuvosos sob influências das condições atmosféricas e oceânicas, com acúmulos insuficientes para armazenamentos de água no açude, os quais são representados na Tabela 4 e na Figura 4 as oscilações decrescentes. O que corrobora com Silva et al. (2016), onde menciona, através de dados referente ao volume do açude Sumé, que anualmente o volume médio de chuva no espelho d'água do manancial é de 4,7 milhões de m³, o que aponta a cada mês uma irregularidade na distribuição das chuvas, quando representado por valores em mm.

Tabela 4. Dados de precipitação acumulados de 2010 a 2015 no município de Sumé, representando o volume em (mm)

| Ano | Precipitação acumulada (mm) |
|------|-----------------------------|
| 2010 | 627,8 |
| 2011 | 992,4 |
| 2012 | 57,3 |
| 2013 | 302,6 |
| 2014 | 704,9 |
| 2015 | 260,1 |

Fonte: AESA (2016).

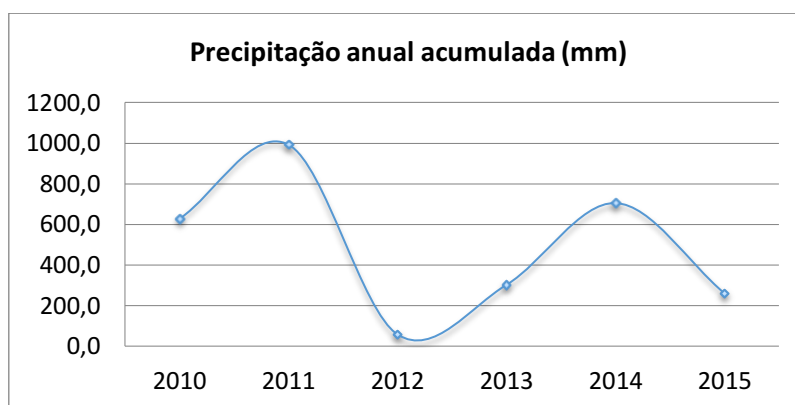


Figura 4. Distribuição da precipitação acumulada de 2010 a 2015. Fonte: AESA (2016).

Feita a classificação supervisionada, pelo método de *Máxima Probabilidade*, utilizando a banda 4 de cada sensor orbital, tanto de 2010 quanto a de 2015, o qual apresentou o menor erro de dados possível quanto a classe de água, pode-se obter através da classe de uso de solo os valores de pixel bem como o valor da área do espelho para diagnosticar a situação relevante quanto ao baixo nível do açude no ano estudado em 2015.

Com esse registro pode-se identificar uma histórica e considerada perda de volume de água e conseqüentemente, devido a prolongada estiagem, o assoreamento e degradação nas margens, além de problemas na estrutura do reservatório. Pode-se observar que houve o aumento na construção de pequenas barragens e expansão de áreas irrigáveis em seu entorno, o que demonstra espacialmente o aumento do solo exposto quando comparado com as imagens, sob leve contraste RGB 543, das imagens do LANDSAT do ano de 2010 conforme se observa na Figura 2.

Observou-se que dentre as classificações o menor índice de erro foi justamente na classe Água para as duas imagens de satélites utilizadas, a LANDSAT/TM5 e a CBERS 4 conforme a Tabela 5.

Tabela 5. Pontos amostrados e erros da classificação adotada pelo método de *Máxima Probabilidade*, nas imagens do LANDSAT/TM5 e CBERS 4

| Classes apresentadas | TM5/LANDSAT 2010 | PAN/CBERS 4 2015 | Erros inclusos (%) | | Acurácia adquirida (%) | |
|----------------------|-------------------|-------------------|--------------------|-------|------------------------|-------|
| | Pontos amostrados | Pontos amostrados | 2010 | 2015 | 2010 | 2015 |
| Água | 120640 | 244207 | 5,86 | 6,91 | 94,14 | 93,09 |
| Solo exposto | 224171 | 213886 | 6,34 | 6,08 | 93,66 | 93,92 |
| Vegetação rala | 276650 | 356844 | 7,67 | 8,33 | 92,33 | 91,67 |
| Arbustos | 885670 | 969080 | 13,54 | 14,89 | 86,46 | 85,11 |
| Pastagem | 174700 | 196108 | 6,03 | 6,12 | 93,97 | 93,88 |
| Índice Kappa | | | | | 92,17 | 89,97 |

Observa-se que houve pouca diferença significativa quanto aos valores referentes as duas imagens analisadas. O valor do índice Kappa utilizando o método de *Máxima Probabilidade* resultou em *bom* para a imagens das bandas 3,4,2 do CBERS 4 de 2015, com um valor de 0,78 (0,61 - 0,80), isto devido a presença de nuvens no entorno do manancial, gerando confusão com a classe de arbustos, embora

tenha-se feito a remoção, mas garantiu a análise e observação da área do espelho. No entanto, a acurácia adquirida chegou a 89,97%, onde segundo Câmara et al. (1996), uma matriz de classificação ideal indica que não houve confusão entre as classes, no entanto, é difícil ser obtido em imagens com respostas espectrais semelhantes.

Já para a imagem das bandas 5,4,3 do satélite LANDSAT de 2010, o valor atingido do índice Kappa foi de 0,93, onde a concordância dos dados foi considerada *muito bom*, o que contribuiu para chegar a um valor de 92,17%. Observou-se que a classe água foi a menor em erros, evitando assim confusões entre as outras classes, sendo essa classe considerada *bom* para as bandas 3,4,2 do CBERS 4, resultando em 0,78 o que favoreceu em representar a identificação da água quanto a diminuição do espelho, resultando uma acurácia de 94,14% para a imagem de 2010 e 93,09% para a imagem de 2015.

Resultados semelhantes foram encontrados por Gonçalves et al. (2008), em que analisou as classes de água, vegetação e área urbana em Manaus e o encontro dos Rios Negro e Solimões, utilizando os canais espectrais 3, 4 e 5 do satélite LANDSAT-5 (TM) usando o algoritmo *K-medias*, através de testes de classificação supervisionada e não supervisionada para avaliação da classe água, onde a acurácia promovida pelo índice Kappa resultou em 0,96, o que representou a melhor resposta em relação as outras classes analisadas.

Conclusão

O método utilizado para classificação das imagens adquiridas no estudo de avaliação da fisiografia e especificamente da área do espelho d'água do açude Sumé foi de extrema importância para a identificação do volume de água do açude Sumé.

Os acúmulos das precipitações ao longo dos 5 anos analisados não foram suficientes para recarga no açude, visto que as influências das condições oceânicas e o *El Niño* contribuíram em promover uma estiagem tão prolongada. Assim como a má distribuição de recursos para abastecimento de água à população local.

O uso do software gvSIG foi importante na precisão dos dados obtidos, e os resultados encontrados nas classificações onde garantiu a resposta para o menor índice de erro na classe Água.

Na acurácia da imagem LANDSAT de 2010, o valor atingido do índice Kappa foi de 0,93, e para a imagem do CBERS de 2015 resultou em 0,78.

Na identificação da água quanto a diminuição do espelho, resultou uma acurácia de 94,14% para a imagem de 2010 e 93,09% para a imagem de 2015.

Referências

- AESA. Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba. Disponível em; <http://www.aesa.pb.gov.br>. Acesso em: 23 de dezembro de 2016.
- BARROS, S. V. A. Otimização dos usos múltiplos em pequenos açudes na bacia do açude de Sumé - PB. Dissertação (Mestrado) Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental. Universidade Federal de Campina Grande, 2010.
- CADIER, E. Hidrologia das pequenas bacias do nordeste semiárido – transposição hidrológica. SUDENE, Recife, p.373, 1994.
- TRENTIN, R.; BAZZAN; ROBAINA, L. E. de S.; BARATTO, D. da S. As geotecnologias como subsídio para análise de áreas de risco e desastres naturais. Encontro de Geógrafos da América Latina. 2013.
- COHEN, J. A Coeficient of Agreement for Nominal Scales. Educational and Measurment, v.20, n.1, p.37-46, 1960.
- GALPARSORO, L. U.; FERNÁNDEZ, S. P. Medidas de concordancia: el índice Kappa. Unidad de Epidemiología Clínica y Bioestadística. Complejo Hospitalario Universitario de A Coruña (España); CAD ATEN PRIMARIA 1999, v.6, p.169-171, 2001.
- CÂMARA, G.; SOUZA, R. C. M.; FREITAS, U. M.; GARRIDO, J. SPRING: Integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modelling. Computers & Graphics, v.20, n.3, p.395-403, 1996.
- GONÇALVES, M. L.; ANDREADE NETO, M. L.; ZULLO JÚNIOR, J. Classificação não supervisionada de imagens de sensores remotos utilizando redes neurais auto organizáveis e métodos de agrupamentos hierárquicos. Revista Brasileira de Cartografia, p.1-13, 2008.
- MORAES NETO, J. M. de; BARBOSA, M. P.; ARAÚJO A. E. de. Efeito dos eventos ENOS e das TSM na variação pluviométrica do semi-árido paraibano. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.11, n.1, p.61-66, 2007.

SILVA, S.; GUIMARÃES, J. P.; LIMA, NETO M. G. M de; SILVA, D. D. E.; NETO, J. D. Redução da captação de água e estimativa de tempo para sangramento no açude Sumé no Estado da Paraíba. Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável, v.11, n.4, p.74-79, 2016.

SUASSUNA, J. A pequena e média açudagem no semi-árido nordestino: uso da água na produção de alimentos. Disponível em: <http://www.fundaj.gov.br/docs/text/textrop.html> Acesso em: 23 de dezembro de 2016.

SILVA, W. T. P.; SOUZA, M. A. A. Modelo para o combate a crises de abastecimento urbano de água. Paranoá, v.10, p.95-104, 2013.

Capítulo 5

APTIDÃO CLIMÁTICA DA CULTURA DO FEIJÃO CAUPI (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) PARA O ESTADO DA PARAÍBA ATRAVÉS DE GEOPROCESSAMENTO

¹Paulo Roberto Megna Francisco

²Djail Santos

¹Pós-Doutor em Ciência do Solo, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande-PB, paulomegna@gmail.com

²Dr. em Ciência do Solo, Prof. Titular Dep. de Solos e Engenharia Rural, Universidade Federal da Paraíba, UFPB, Areia-PB, Brasil. santosdj@cca.ufpb.br

Introdução

O feijão caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) é uma leguminosa que apresenta grande rusticidade e excelente adaptação às condições de clima e solo da região Nordeste. É utilizado na alimentação humana e cultivado nas áreas áridas e semiáridas do Nordeste, onde constitui alimento básico para a população (FREIRE FILHO, 2000).

Em outras regiões do país, difundiu-se como hortaliça, na produção de grãos verdes para alimentação humana e, na alimentação animal, é consumida naturalmente ou como feno, consistindo em uma excelente fonte de proteínas, apresenta todos os aminoácidos essenciais, carboidratos, vitaminas e minerais, além de possuir grande quantidade de fibras dietéticas (CARDOSO et al., 1994). De acordo com Granjeiro et al. (2005) constitui uma das principais fontes de proteína vegetal, em média de 23 a 25%, apresentando todos os aminoácidos essenciais, carboidratos, vitaminas e minerais, não contendo colesterol e possuindo ainda grande quantidade de fibras dietéticas e baixa quantidade de gordura, notadamente para as populações de menor poder aquisitivo.

Devido às suas características de rusticidade e variabilidade genética, é uma espécie de grande valor estratégico, principalmente em áreas que apresentam escassez hídrica. Tendo como habitat as regiões de clima quente (úmida ou semiárida), o feijão caupi é cultivado nas regiões Norte e Nordeste do país (BARROS et al., 2012).

De acordo com Barros et al. (2012), no Nordeste a melhor época de semeadura do feijão caupi, para as variedades de ciclo médio (80 a 90 dias), é o início do período chuvoso de cada região. Para as variedades precoces (70 a 80 dias) o ideal é semear nos dois meses antes do término do período chuvoso. Com isso a colheita pode ser realizada em períodos secos, com melhor qualidade do produto final.

Conforme EMBRAPA (2003), a cultura do feijão caupi exige em torno de 400 a 500 mm de precipitação pluviométrica, distribuídos regularmente durante o ciclo vegetativo da cultura, para se alcançar maiores produtividades e sem a necessidade de irrigação suplementar. Dependendo do cultivar utilizada, a cultura tolera ocorrências de déficit hídrico apenas no início de seu desenvolvimento, sendo considerada resistente à seca.

De acordo com Barros et al. (2012), Leite et al. (1997) e Bastos (2012), médias mensais de temperatura do ar entre 21 e 30°C, durante o ciclo vegetativo da cultura, constituem a faixa térmica ideal para um bom desenvolvimento da planta. Temperaturas muito elevadas podem causar o abortamento de flores. Temperaturas baixas, inferiores a 19°C, influenciam negativamente na produtividade do feijão caupi, retardando o aparecimento de flores e aumentando o ciclo da cultura.

Conforme Doorenbos e Pruit (1976), o período de florescimento e formação das vagens são mais críticos à falta de água, sendo importante, nesse período, adequada umidade do solo para se alcançar boa produção. De acordo com Heinemann (2009), independente da magnitude do estresse hídrico, cultivares de feijoeiro responde diferente durante a floração. Assim, a produção de grãos pode diminuir na medida em que os números de dias de estresse aumentam. A cultura do feijão caupi também é sensível à umidade do solo excessiva, principalmente na fase de desenvolvimento da cultura.

O estudo do comportamento espacial de um determinado elemento climático, como é o caso da precipitação, é fundamental para o mapeamento de áreas de aptidão para agricultura, bem como para o planejamento das atividades agrícolas (SILVA et al., 2010). A incorporação de cenários pluviométricos (anos secos, regulares e chuvosos) a estudos dessa natureza é desejável, pois permite torná-los

ajustados e adequados à variabilidade natural das precipitações e às expectativas pluviométricas dos modelos numéricos de previsão climatológica em uso no Brasil (VAREJÃO-SILVA & BARROS, 2001).

De acordo com Vieira et al. (2010) a precipitação pluvial de determinado local pode ser estimada, dentre outras formas, em termos probabilísticos, mediante modelos teóricos de distribuição ajustados a uma série de dados. Conforme Jakob (2012), a krigagem é considerada uma boa metodologia de interpolação de dados. Ela utiliza o dado tabular e sua posição geográfica para calcular as interpolações.

Portanto este trabalho objetiva elaborar o mapeamento da aptidão climática para a cultura agrícola do feijão caupi, considerando a variabilidade natural do regime pluviométrico, estabelecida em três cenários pluviométricos utilizando interpolação estatística.

Material e Métodos

O Estado da Paraíba localizado na região Nordeste do Brasil, apresenta uma área de 56.372 km², que corresponde a 0,662% do território nacional. Seu posicionamento encontra-se entre os paralelos 6°02'12" e 8°19'18"S, e entre os meridianos de 34°45'54" e 38°45'45"W (FRANCISCO, 2010).

O relevo do Estado da Paraíba apresenta-se de forma geral bastante diversificado, constituindo-se por formas de relevo diferentes trabalhadas por diferentes processos, atuando sob climas distintos e sobre rochas pouco ou muito diferenciadas. No tocante à geomorfologia, existem dois grupos formados pelos tipos climáticos mais significativos do Estado: úmido, subúmido e semiárido. O uso atual e a cobertura vegetal caracterizam-se por formações florestais definidas como caatinga arbustiva arbórea aberta, caatinga arbustiva arbórea fechada, caatinga arbórea fechada, tabuleiro costeiro, mangues, mata-úmida, mata semidecidual, mata atlântica e restinga (PARAÍBA, 2006).

De acordo com Francisco (2010) relacionando clima e altitude, é possível individualizar, de maneira geral, três macrorregiões no Estado da Paraíba (Figura 1):

a) Planície Atlântica, englobando a encosta oriental do Planalto da Borborema – o terço leste do Estado, com o clima, segundo a classificação de Köppen, do tipo As' - Tropical Quente e Úmido com chuvas de outono-inverno. Nesta região, as chuvas são formadas pelas massas Atlânticas trazidas pelos ventos alísios de sudeste, e a altitude, na planície, inferior a 200 m, pode ultrapassar a 600m, nos pontos mais elevados dos contrafortes do Planalto. A precipitação decresce do litoral (1.800 mm.ano⁻¹) para o interior da região (600 mm.ano⁻¹) devido, principalmente, a depressão do relevo, e torna a subir nos contrafortes do Planalto para 1.000 mm.ano⁻¹.

b) Planalto da Borborema – porção central do Estado, com clima do tipo Bsh-Semiárido quente, precipitação predominantemente abaixo de 600 mm.ano⁻¹, e temperatura mais baixa, devido ao efeito da altitude (400 a 700m). As chuvas da região sofrem influência das massas Atlânticas de sudeste e do Norte;

c) Sertão – região que ocupa o terço oeste do Estado com clima do tipo As – Tropical Quente e Úmido com chuvas de verão-outono, nas áreas de contribuição do rio Piranhas e nas mais altas da depressão e em todos os contrafortes e topo do Planalto de Princesa ao sul, divisa com Pernambuco, e na área a oeste, com o estado do Ceará.

O clima caracteriza-se por temperaturas médias elevadas (22 a 30°C) e uma amplitude térmica anual muito pequena, em função da baixa latitude e elevações (<700m) (VAREJÃO-SILVA et al., 1984). De acordo com Francisco et al. (2015) os meses com temperaturas mais baixas são os meses de junho, julho e agosto, enquanto os meses mais quentes são outubro, novembro e dezembro no estado como um todo, sendo esses os meses com os menores índices de precipitação pluviométrica, pois é o período mais seco da região (Figura 2).

A precipitação varia de 400 a 800mm anuais, nas regiões interiores semiáridos, e no Litoral, mais úmido, pode ultrapassar aos 1.600mm (VAREJÃO-SILVA et al., 1984). De acordo com Francisco et al. (2015) a distribuição da precipitação pluviométrica ocorre de forma irregular e com grande variação durante todo o ano e sua distribuição anual demonstra a alta variabilidade espacial de precipitação no setor central do Estado com menores valores em torno de 300 a 500mm; no Sertão e Alto Sertão em torno de 700 a 900mm; no Brejo e Agreste de 700 a 1.200mm; e no Litoral em média de 1.200 a 1.600mm (Figura 3).

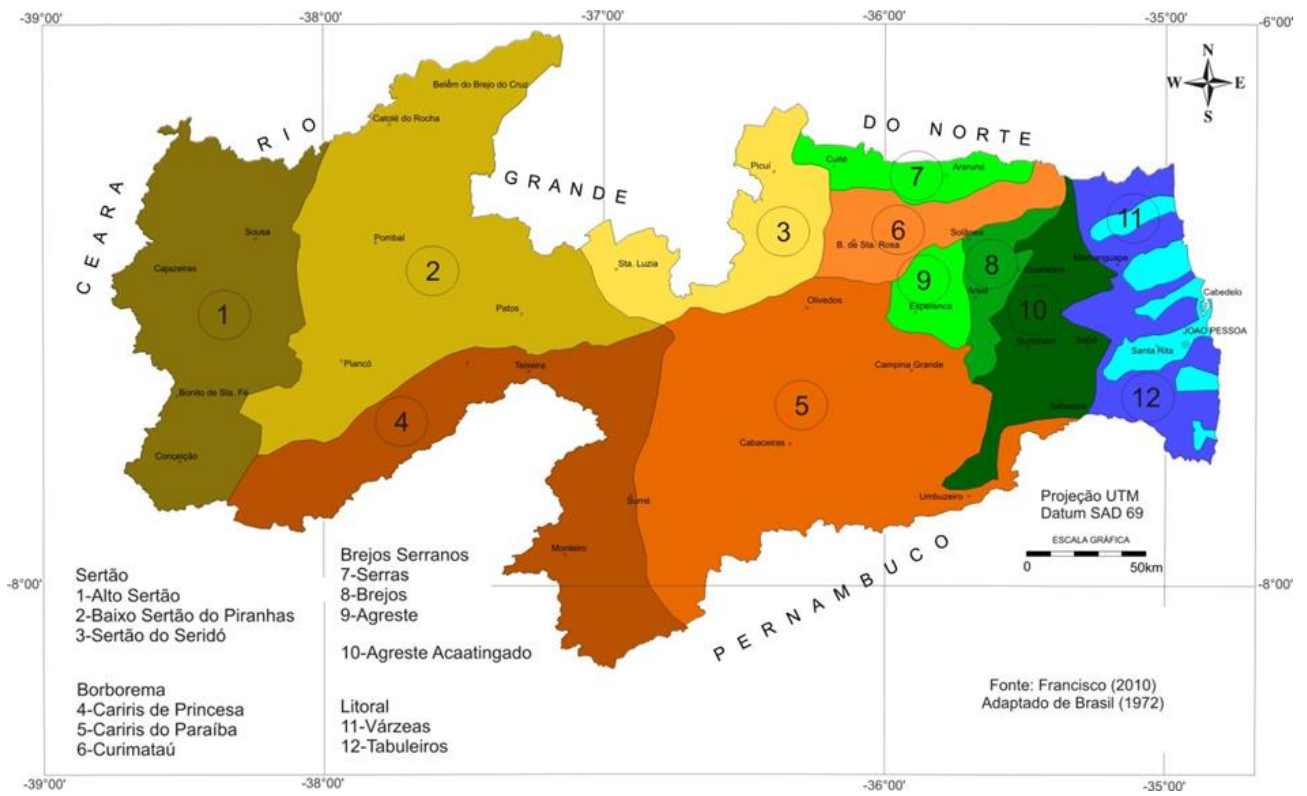


Figura 1. Regiões geográficas conforme os limites naturais. Fonte: Francisco et al. (2012).

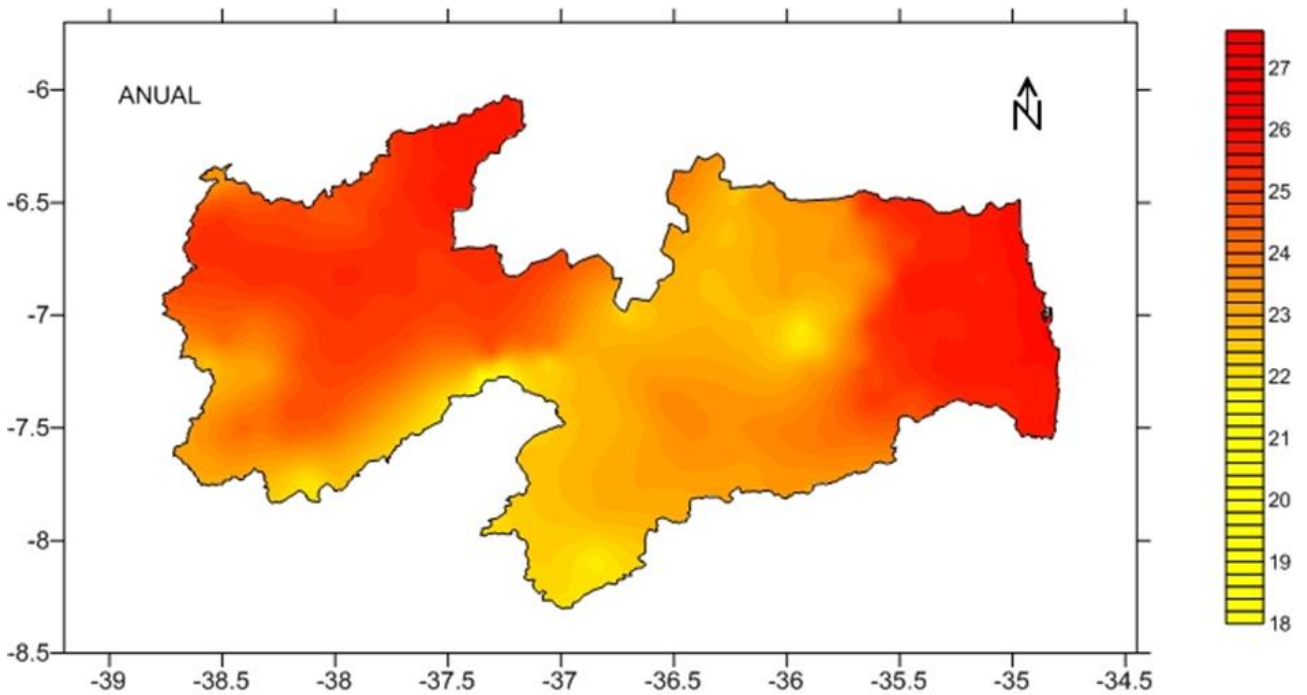


Figura 2. Temperatura (°C) média anual do Estado da Paraíba dos últimos 30 anos. Fonte: Francisco et al. (2015).

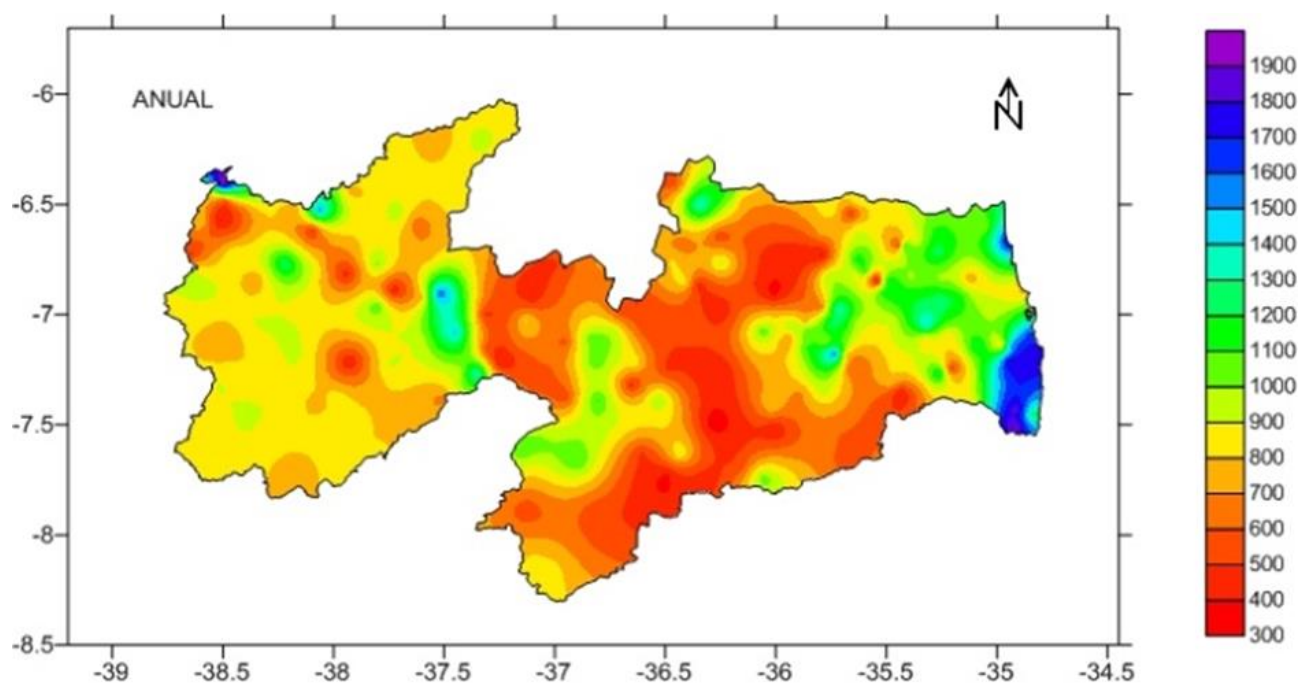


Figura 3. Pluviosidade anual média dos últimos 102 anos (mm). Fonte: Francisco et al. (2015).

Na metodologia de trabalho utilizaram-se os totais mensais de precipitações obtidos nos postos pluviométricos da Rede Básica do Nordeste, implantados inicialmente pela Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE), posteriormente em 1992 a Rede Pluviométrica foi repassada ao Estado da Paraíba para a Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba (AESAPB).

Os postos selecionados foram aqueles que possuem vinte ou mais anos de observações, tal fato da escolha foi para unificação de intervalos entre os postos, vistos que os espaçamentos dos postos são amplos.

A utilização dos dados foi procedida de uma análise no tocante à sua consistência, homogeneização e no preenchimento de falhas em cada série, além das séries já publicadas pela SUDENE até o ano de 1985. Não foi possível adotar, neste trabalho, um período de observação comum a todas as localidades, haja vista a diferença do número de anos e/ou mesmo do número de postos que tal procedimento acarretaria, devido a diferença de início da operação desses postos. Assim, para cada localidade com série de observação igual ou superior a vinte anos, foi considerado para o período disponível, independente do início.

Após foi elaborada uma planilha eletrônica com os dados obtidos e após calculada as médias mensais e anuais.

A discriminação dos cenários pluviométricos seguiu a metodologia proposta por Varejão e Barros (2002). Para cada posto pluviométrico, foi estabelecido o total de precipitação pluviométrica registrado nos três meses consecutivos mais chuvosos de cada ano hidrológico completo. Em seguida, a distribuição gama incompleta (ASSIS et al., 1996), seguindo a conceituação de Thom (1958), foi ajustada à série desses totais em cada posto, seguindo a metodologia indicada por Mielke (1976) e utilizada por Barros et al. (2012). A qualidade do ajustamento da curva teórica aos valores observados foi verificada pelo teste de Kolmogorov-Smirnov (MASSEY, 1980) ao nível de significância de 95%.

Esses mesmos critérios foram aplicados em todas as séries pluviométricas. Como a curva de distribuição da chuva acumulada nos três meses consecutivos mais chuvosos é específica para cada posto, os valores correspondentes às probabilidades de 25, 50 e 75% também são específicos de cada posto (VAREJÃO-SILVA, 2001). Os conjuntos dos anos secos, regulares e chuvosos de cada posto foram utilizados para obter as correspondentes médias mensais dos totais pluviométricos, necessárias para caracterizar os respectivos cenários.

Os critérios para discriminar os anos hidrológicos de cada posto pluviométrico foram enquadrados nas seguintes categorias (VAREJÃO-SILVA, 2000):

a) Anos secos - aqueles em que o total de precipitação, acumulado nos três meses consecutivos mais chuvosos, for igual ou menor que o valor correspondente à probabilidade de 25%;

b) Anos chuvosos - aqueles cujo total de precipitação, acumulado nos três meses consecutivos mais chuvosos, é superior ao valor correspondente à probabilidade de 75%;

c) Anos regulares - todos aqueles anos não classificados nas duas categorias anteriores.

De acordo com Barros et al. (2012) considerado j como um mês do período vegetativo ($j = 1, 2, 3$), os critérios discriminantes utilizados para aptidão do feijão caupi foram os seguintes:

a) Moderado por excesso hídrico, quando o excedente hídrico acumulado nos três meses iniciais do ciclo ultrapassa 180mm ($\sum EXC_j > 180\text{mm}$) ou ocorrerem dois meses consecutivos com excedente superior a 70mm em cada um deles;

b) Aptidão plena, mas com pequeno excesso hídrico na época da colheita ($P_4/EP_4 \geq 0,75$), sendo possível o cultivo nas áreas com drenagem adequada;

c) Aptidão plena, sem limitações hídricas para o cultivo com excedente hídrico no mês de plantio nulo ou positivo ($EXC_1 \geq 0$), deficiência hídrica igual ou inferior a 5mm nos demais meses do período vegetativo ($DEF_{2,3} \leq 5\text{mm}$), seguindo-se um mês seco ($P_4/EP_4 < 0,75$);

d) Aptidão moderada por deficiência hídrica ($EXC_1 \geq 0\text{mm}$; $DEF_{2,3} < 25\text{mm}$ e $P_4/EP_4 < 0,75$) e/ou ($EXC_1 \geq 0\text{mm}$; $25 \leq DEF_{2,3} < 40\text{mm}$ e $P_4/EP_4 < 0,75$);

e) Inaptidão climática, por deficiência hídrica acentuada ($DEF_1 > 0\text{mm}$ e/ou DEF_2 ou $DEF_3 \geq 40\text{mm}$).

As classes foram classificadas conforme Barros et al. (2012) de acordo com a Tabela 1.

Tabela 1. Classes de aptidão climática

| Legenda | Aptidão Climática |
|---------|--|
| C1 | Plena |
| C2 | Plena com período chuvoso prolongado |
| C3 | Moderada por excesso hídrico |
| C4 | Moderada por deficiência hídrica |
| C5 | Inapta por deficiência hídrica acentuada |

Fonte: Barros et al. (2012).

Para a espacialização dos dados foi utilizado o programa Surfer 9.0 e recortado utilizando os limites do Estado de utilizando arquivo digital de IBGE (2009).

Resultados e Discussão

No mapa de aptidão climática para cultura do feijão caupi para o cenário seco (Figura 4), observa-se que 1,85% da área do Estado (Tabela 1) com 1.045,58 km² apresenta aptidão climática moderada por excesso hídrico (C3). Essas áreas estão localizadas na região do Litoral do Estado concentradas ao norte e ao sul próximo ao município de Alhandra.

Em áreas com aptidão plena com período chuvoso prolongado (C2), observa-se que o total é de 11.641,17 km² representando 20,66% de acordo com a Tabela 1. Essas áreas estão localizadas no lado oriental do planalto da Borborema nas regiões do Agreste Acatingado, Agreste e Brejo, e ao lado ocidental do planalto nas regiões do Cariri, entre os municípios de Conceição, Teixeira e na região do Sertão, Santa Luzia; na região do Sertão, entre Pombal e Belém do Brejo do Cruz, na divisa com o Rio Grande do Norte.

Na classe Plena (C1) do cenário seco (Figura 4), observa-se uma faixa de área na região do Agreste Acatingado, e na região do Brejo, de mais altitude; e na região do Sertão entre os municípios de Patos e Cajazeiras, Piancó e Pombal, observam-se áreas com aptidão plena que climaticamente foram classificadas como aptas com 8.278,79km² representando 14,68% do total.

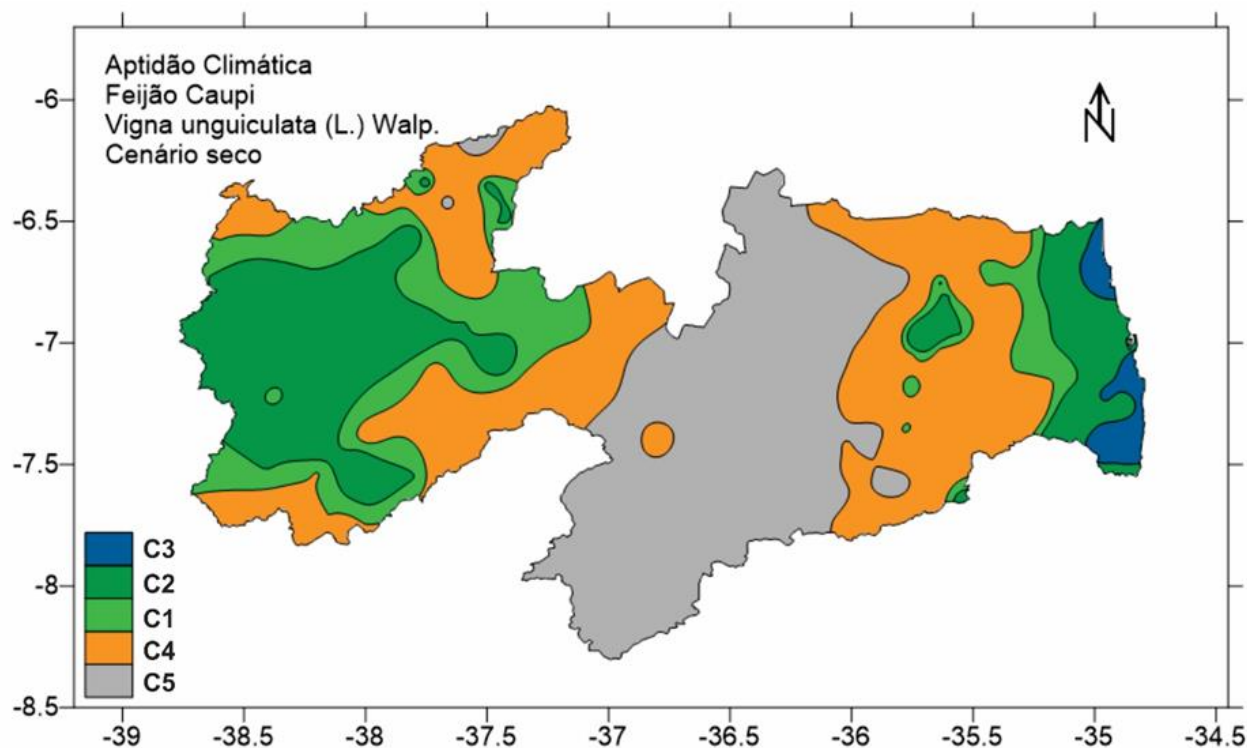


Figura 4. Mapa de aptidão climática para cultura do feijão caupi para o cenário seco.

Tabela 1. Classes de aptidão climática para cultura do feijão caupi nos 3 cenários pluviométricos

| Legenda | Aptidão climática | Cenário pluviométrico | | | | | |
|---------|--|-----------------------|-------|-----------------|-------|-----------------|-------|
| | | Seco | | Regular | | Chuvoso | |
| | | km ² | % | km ² | % | km ² | % |
| C1 | Plena | 8.278,79 | 14,68 | 2.498,26 | 4,43 | 1713,97 | 3,04 |
| C2 | Plena com período chuvoso prolongado | 11.641,17 | 20,66 | 25.748,64 | 45,68 | 10.375,51 | 18,40 |
| C3 | Moderada por excesso hídrico | 1.045,58 | 1,85 | 3.602,67 | 6,39 | 25.310,72 | 44,91 |
| C4 | Moderada por deficiência hídrica | 17.374,31 | 30,82 | 10.543,42 | 18,70 | 15.210,50 | 26,98 |
| C5 | Inapta por deficiência hídrica acentuada | 18.032,15 | 31,99 | 13.979,01 | 24,80 | 3.761,30 | 6,67 |

Para a classe Moderada por deficiência hídrica (C4) observa-se que para o cenário seco de 25% de probabilidade de ocorrência de chuvas, com aumento gradativo da escassez hídrica, limitando o plantio, localizadas na região do Agreste Acatingado, Agreste, Brejo e parte do Cariri, na região Sertão na serra de Teixeira até Santa Luzia, e nos limites extremos, próximo ao município de Conceição, e ao norte, em áreas próximas a calha do rio Piranhas. Estas áreas apresentam 17.374,31 km² representando 30,82% do Estado. A classe Inapta por escassez hídrica (C5) nos anos secos, onde o cultivo torna-se impróprio, devido à acentuada deficiência hídrica, onde praticamente restringe o cultivo do feijão caupi, observam-se 18.032,15 km² representando 31,99% do total. Localizada em áreas sobre a Borborema na região do Cariri/Curimataú e na região do Seridó.

No mapa de aptidão climática para cultura do feijão caupi para o cenário regular (Figura 5), observa-se que 3.602,67 km² representando 6,39% da área do Estado (Tabela 1), apresenta aptidão climática moderada por excesso hídrico (C3). Estas áreas abrangem toda a faixa Litorânea do Estado.

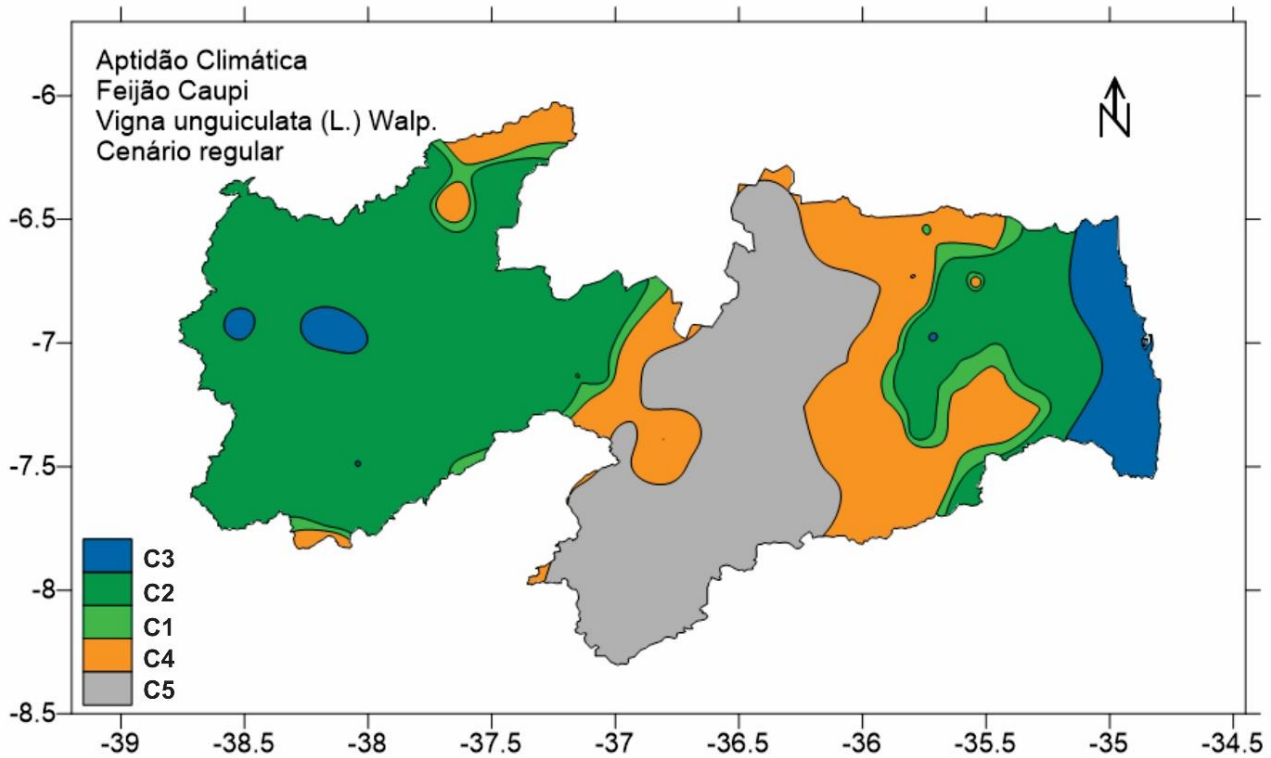


Figura 5. Mapa de aptidão climática para cultura do feijão caupi para o cenário regular.

Em áreas com aptidão plena com período chuvoso prolongado (C2), observa-se que o total é de 25.748,64 km² representando 45,68% (Tabela 1). Essas áreas estão localizadas na região do Agreste Acatingado, Agreste e Brejo e em quase todo o Sertão onde podem apresentar problemas com o excesso de umidade, e com probabilidade de ocorrer um período chuvoso prolongado.

Na classe Plena (C1) do cenário regular (Figura 5), com 2.498,26 km² representando 4,43% do total, observa-se que ocorre numa pequena faixa estreita entre as classes Plena com período chuvoso prolongado e a Moderada por deficiência hídrica.

Para a classe Moderada por deficiência hídrica (C4) observa-se que para o cenário regular de 50% de probabilidade de ocorrência de chuvas, com aumento gradativo da escassez hídrica, limitando o plantio, com 10.543,42 km² representando 18,7% do total, ocorrem nas regiões de Serras próximo a Cuité, e no Curimataú e em partes do Cariris da Paraíba próximo ao município de Umbuzeiro. A oeste ocorrem nas divisas entre as regiões do Cariri, Sertão, Borborema e Seridó.

As áreas inaptas por deficiência hídrica acentuada (C5) nos anos regulares são de 13.979,01 km² representado 24,8% (Tabela 1). Estas áreas ocorrem sobre o Planalto da Borborema nas regiões do Cariri/Curimataú.

No mapa de aptidão climática para cultura do feijão caupi para o cenário chuvoso, com probabilidade de chuvas de 75% de ocorrência de chuvas (Figura 6), observa-se 25,310,72 km² representado 44,91% da área do Estado (Tabela 1), apresenta aptidão climática moderada por excesso hídrico (C3). Estas áreas localizam-se em toda a faixa Litorânea do Estado, na região do Brejo e em boa parte do interior do Sertão Paraibano.

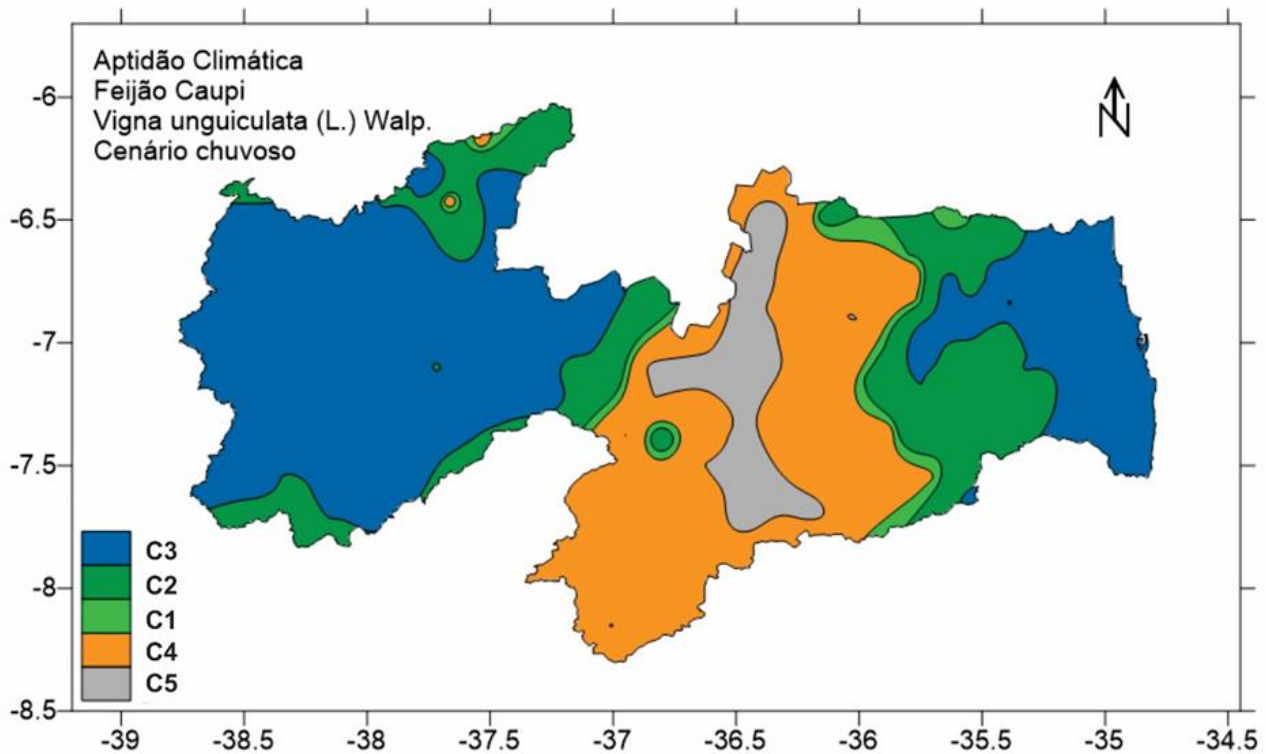


Figura 6. Mapa de aptidão climática para cultura do feijão caupi para o cenário chuvoso.

Em áreas com aptidão plena com período chuvoso prolongado (C2), observadas, totalizam 10.375,51 km² representando 18,4% do total. As áreas se localizam na região do Curimataú, Serras e na região sul do Agreste Acatingado.

Na classe Plena (C1) do cenário chuvoso (Figura 6), observam-se áreas com aptidão plena, que climaticamente foram classificadas como aptas, com 1.713,97 km² representando 3,04% do total. Essas áreas são faixas estreitas, de transição para a classe moderada por deficiência hídrica.

Para a classe Moderada por deficiência hídrica (C4) observa-se que para o cenário chuvoso, as áreas mapeadas totalizam em 15.210,5 km² representando 26,98% do total e ocorrem no Planalto da Borborema. As áreas inaptas por escassez hídrica (C5) nos anos regulares e chuvosos perfazem 3.761,3 km² e corresponde a 6,67% e ocorrem sobre o Planalto da Borborema adentrando na região do Seridó.

Observa-se por este trabalho que as faixas de transição entre as classes de aptidão não são estáticas, pois representam valores médios de cada cenário e, portanto, não são limites rígidos podendo haver uma variação devido a escala de trabalho utilizado na metodologia não podendo ser detectadas. Resultados similares encontrados por Barros et al. (2012) em Alagoas.

Conclusão

Pode-se constatar que o uso da interpolação se pode espacializar os cenários pluviométricos.

A classe de aptidão climática Moderada por excesso hídrico ocorre no Litoral nos três cenários, com predominância na região do Sertão somente no cenário chuvoso.

A classe de aptidão climática Plena, com período chuvoso prolongado, tanto no cenário seco, regular e chuvoso se relaciona com padrões de ocorrência da pluviosidade no Estado.

A classe Plena de aptidão climática ocorre nos três cenários em pequenas faixas de transição entre as classes.

A classe de aptidão climática Moderada por deficiência hídrica ocorre principalmente nos contrafortes oriental e ocidental do Planalto da Borborema.

A classe Inapta ocorre nos três cenários sobre o Planalto da Borborema decrescendo em área no cenário chuvoso.

Agradecimentos

Ao CNPq/Fapesq pela concessão de bolsa de pesquisa ao primeiro autor.

Referencias

- ASSIS, F. N.; ARRUDA, H. V. DE; PEREIRA, A. R. Aplicações de estatística à climatologia: teoria e prática. Pelotas: UFPel, 1996. 161p.
- BARROS, A. H. C.; VAREJÃO-SILVA, M. A.; TABOSA, J. N. Aptidão climática do Estado de Alagoas para culturas agrícolas. Relatório Técnico. Convênios SEAGRI-AL/Embrapa Solos n.10200.04/0126-6 e 10200.09/0134-5. Recife: Embrapa Solos, 2012. 86p.
- BASTOS, E. A. Embrapa Meio Norte. Agencia Embrapa de Informação Tecnológica. Arvore do conhecimento. Feijão Caupi. Clima. 2012. Disponível em: http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/feijao-caupi/arvore/CONTAG01_33_510200683536.html. Acesso em: 28/12/2015.
- CARDOSO, M. J.; FREIRE FILHO, F. R.; RIBEIRO, V. Q.; FROTA, A. B.; MELO, D. DE B. Arranjo populacional no consórcio milho x feijão macassar (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) em regime de sequeiro. Revista Ceres, v.41, n.233, p.19-27,1994.
- DOORENBOS, J. Agro-meteorological field stations. Rome: FAO. Irrigation and Drainage Paper, 27, 1976. 94p.
- EMBRAPA. Embrapa Meio-Norte. Sistemas de Produção, 2. Versão eletrônica, 2003. Cultivo de Feijão-Caupi. Disponível em: <http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Feijao/FeijaoCaupi/clima1.htm>. Acesso em: 12/10/2015.
- FRANCISCO, P. R. M. Classificação e mapeamento das terras para mecanização do Estado da Paraíba utilizando sistemas de informações geográficas. 122f. Dissertação (Mestrado em Manejo de Solo e Água). Centro de Ciências Agrárias. Universidade Federal da Paraíba. Areia, 2010.
- FRANCISCO; P. R. M.; MEDEIROS; R. M. DE; MATOS, R. M. DE; MARIA MARLE BANDEIRA, M. M.; SANTOS; D. Análise e Mapeamento dos Índices de Umidade, Hídrico e Aridez através do BHC para o Estado da Paraíba. Revista Brasileira de Geografia Física, v.8, n.4, p.1093-1108, 2015.
- FREIRE FILHO, F. R.; RIBEIRO, V. Q.; SANTOS, A. A. DOS. Cultivares de caupi para a região Meio-Norte do Brasil. In: CARDOSO, M. J. (Org.). A cultura do feijão caupi no Meio-Norte do Brasil. (Embrapa Meio-Norte. Circular Técnica, 28). Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2000. 264p.
- GRANJEIRO, T. B.; CASTELLÓN, R. E. R.; ARAÚJO, F. M. M. C.; SILVA, S. M. S; FREIRE, E. A.; CAJAZEIRAS, J. B.; ANDRADE NETO, M.; GRANJEIRO, M. B.; CAVADA, B. S. Composição bioquímica da semente. In: FREIRE FILHO, F. R.; LIMA, J. A. DE A.; RIBEIRO, V. Q. (Eds.). Feijão-caupi: avanços tecnológicos. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2005. p.338-365.
- HEINEMANN, A. B.; STONE, L. F.; SILVA, S. C. Feijão. In: MONEIRO, J. E. B. A. (Ed.). Agrometeorologia dos cultivos: o fator meteorológico na produção agrícola. Brasília, INMET, 2009. p.183-201.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2009. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br>. Acesso em: 12 de março de 2011.
- JAKOB, A. A. E. A krigagem como método de análise de dados demográficos. In: Encontro da Associação Brasileira de Estudos Populacionais, 13. Anais...Ouro Preto, 2002.
- LEITE, M. L.; RODRIGUES, J. D.; VIRGENS FILHO, J. S. Avaliação de cultivares de caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) quanto à produtividade e componentes de produtividade, sob condições de estufa plástica. Revista de Agricultura, v.72, n.3, p.375-385, 1997.
- MASSEY JR, F. J. The Kolmogorov-Smirnov test of goodness of fit. Journal of American Statistical Association, v.46, p.68-78. 1980.
- MIELKE, P. W. Simple iterative procedures for two-parameter gamma distribution maximum likelihood estimates. Journal of App. Meteorology, v.15, n.12, p.181-183. 1976.
- PARAÍBA. Secretaria de Estado da Ciência e Tecnologia e do Meio Ambiente. Agência Executiva de Gestão de Águas do Estado da Paraíba, AESA. PERH-PB: Plano Estadual de Recursos Hídricos: Resumo Executivo e Atlas. Brasília, DF, 2006. 112p.
- SILVA, R. M. DA; SILVA, L. P. E; MONTENEGRO, S. M. G. L.; SANTOS, C. A. G. Análise da variabilidade espaço-temporal e identificação do padrão da precipitação na Bacia do Rio Tapacurá, Pernambuco. Sociedade & Natureza, n.22, v.2, p.357-372. 2010.
- THOM, H. C. S. A note on the gama distribution. Monthly Weather Review, v.86, p.117-122. 1958.
- VAREJÃO-SILVA M. A.; BRAGA, C. C.; AGUIAR M. J. N.; NIETZCHE M. H.; SILVA, B. B. Atlas Climatológico do Estado da Paraíba. UFPB, Campina Grande, 1984.

VAREJÃO-SILVA, M. A.; BARROS, A. H. C. Zoneamento de aptidão climática do Estado de Pernambuco para três distintos cenários pluviométricos. (Relatório Técnico). Recife: COTEC/DATA AGROS/SPRRA-PE, 2001. 38p.

VAREJÃO-SILVA, M. A.; BARROS, A. H. C. Zoneamento de aptidão climática do Estado de Pernambuco para três distintos cenários pluviométricos. Secretaria de Produção Rural e Reforma Agrária de Pernambuco, Recife, 2002. 51p.

VIEIRA, J. P. G.; SOUZA, M. J. H. DE; TEIXEIRA, J. M.; CARVALHO, F. P. DE. Estudo da precipitação mensal durante a estação chuvosa em Diamantina, Minas Gerais. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.14, n.7. 2010.

Capítulo 6**CARACTERIZAÇÃO DOS SISTEMAS DE PRODUÇÃO E DAS PROPRIEDADES RURAIS NO EXTREMO SUL DA BAHIA****¹Luanna Chácara Pires****²Amanda Carvalho Augusto Vilas Boas****³Patrick Gomes Moreira****⁴João Batista Lopes da Silva****⁵Jeilly Vivianne R. da Silva B. de Carvalho**

¹ Professora Adjunta III, UFSB/IHAC/CPF/Campus Teixeira de Freitas-BA, luanna.ufsb@gmail.com

^{2,3} Acadêmicos em Bacharelado Interdisciplinar em Ciências, UFSB/IHAC/CPF/ Campus Teixeira de Freitas – BA, amandaaugustovilasboas@gmail.com; patrickinho123@gmail.com

⁴ Professor Adjunto III, UFSB/IHAC/CPF/Campus Teixeira de Freitas-BA, silvajbl@ufsb.edu.br

⁵ Engenheira Agrônoma, Polímata Soluções Agrícolas e Ambientais, Teixeira de Freitas – BA, jeilly@polimataambiental.com.br

Introdução

O Estado da Bahia possui a maior população rural do Brasil, e 77% dos alimentos consumidos pelos baianos vêm da agricultura familiar, de acordo com a Secretaria de Desenvolvimento Rural do Estado da Bahia (SDR-BA, 2017), e esse tipo de produção tem sido uma das principais atividades para o desenvolvimento da região.

A agricultura familiar é definida como a categoria que baseia sua produção no uso preferencial da mão de obra familiar e que exerce a gestão do empreendimento de forma direta, presencial, por meio de algum dos familiares envolvidos na produção. Gasson e Errington (1993, apud ABRAMOVAY, 1997) destacam seis características básicas que definem a agricultura familiar:

1. A gestão é feita pelos proprietários;
2. Os responsáveis pelo empreendimento estão ligados entre si por laços de parentesco;
3. O trabalho é fundamentalmente familiar;
4. O capital pertence à família;
5. O patrimônio e os ativos são objeto de transferência intergeracional no interior da família;
6. Os membros da família vivem na unidade produtiva.

Portanto, os agricultores que são intitulados como não familiares utilizam o trabalho assalariado, o que é positivo porque gera emprego, mas fazem a gestão do empreendimento por meio de administradores.

O destaque da agricultura da região é a cultura do eucalipto (ALMEIDA et al., 2008). Porém, além da cultura do eucalipto, esta região apresenta grande concentração de propriedades com agricultura irrigada, principalmente culturas como melancia, mamão, maracujá, abóbora e café, assim como a pecuária voltada para gado de corte. Todas essas culturas mencionadas apresentam grande importância social e econômica para a região, porém muitas delas encontram-se em processo de agricultura de subsistência.

Para caprinos e ovinos, são raros os estudos para identificação de fatores que influenciam características de interesse econômico, no Brasil. Porém, a crescente demanda por carne ovina e caprina, aliada à importância destas espécies em regiões como o Nordeste brasileiro, tenderá a modificar esse panorama em breve. Portanto, também existem poucos estudos com pequenos produtores e conhecimentos dos sistemas de produções da agropecuária no extremo sul da Bahia, em que se observa que a atividade de produção de pequenos ruminantes encontra-se em franco declínio (PIRES, 2011). A geração de tecnologias adequadas à produção de carne e diversos produtos agrícolas, através das instituições de pesquisa regionais, assegura aos produtores e técnicos extensionista, alternativas viáveis para o fortalecimento de diferentes atividades na região. Faz-se necessária, portanto, a adoção de um programa reprodutivo para os rebanhos acompanhados, evidentemente, de ações que possam estabelecer condições que fortaleçam e melhorem a capacidade orgânica e produtiva dos animais, através de atividades voltadas para a alimentação, genética e a sanidade do rebanho.

A utilização de técnicas de geoprocessamento e dos sistemas de informações geográficas, em conjunto com as imagens obtidas por sensoriamento remoto, facilitam o trabalho de manejo de recursos

naturais e obtenção de mais informações em regiões brasileiras de grandes extensões (FRANÇA et al., 2016).

O levantamento e a caracterização dos diferentes sistemas de produção, de forma convencional, têm-se limitado à escala da propriedade rural sem levar em consideração as informações espaciais, tais como, a localização das propriedades, tipo de solo, relevo, dentre outros, como forma de garantir melhor confiabilidade dos dados coletados, por meio de checagens das informações numéricas com as espaciais (cartográficas). Em geral, este tipo de levantamento tem alto custo financeiro e envolve muito tempo (MANGABEIRA, 2002).

As geotecnologias espaciais de alguns tempos à atualidade, tornaram-se aliadas a trabalhos de âmbito urbano, agrícola e de conservação da natureza. O termo Geotecnologia, de acordo com Filho e Crósta (2003), reúne o conjunto de ciências e tecnologias relacionadas à aquisição, armazenamento em bancos de dados, processamento e desenvolvimento de aplicações utilizando informações georreferenciadas ou geoinformações. Para Burrough (1986), os Sistemas de Informações Geográficas (SIG) são sistemas capazes de armazenar, manipular, transformar, analisar e exibir informações georreferenciadas, contidas em mapas e/ou bancos de dados, gerando novas informações, que, por sua vez, auxiliam o processo de tomada de decisões. Segundo Rocha (2007), o uso de imagens obtidas por técnicas de sensoriamento remoto tem-se multiplicado devido à evolução dos sensores, com resoluções cada vez melhores, associadas às técnicas de extração das informações advindas do processamento dessas imagens.

Com esse advento dos sistemas de informações geográficas, em conjunto com as imagens obtidas por sensoriamento remoto, facilitou-se o trabalho de manejo de recursos naturais e obtenção de mais informações em regiões brasileiras de grandes extensões. Objetiva-se, portanto, com este trabalho, caracterizar as propriedades e seus sistemas de produção de pequenos proprietários na região do Extremo Sul da Bahia, por meio de inquéritos e de imagens do satélite Geoeye da base ArcGIS Mapbase.

Material e Métodos

A pesquisa foi realizada na região do Extremo Sul Baiano, abrangendo dois municípios: Alcobaça e Caravelas. Em pequenas propriedades destes municípios, fizeram-se a aplicação de questionários que objetivaram coletar informações sobre os proprietários, as propriedades, características técnicas e econômicas da pecuária e/ou lavoura, e informações sobre os sistemas de exploração e de produção animal.

Foram aplicados 23 questionários no período entre outubro de 2016 a maio de 2017, os quais geraram os dados utilizados neste trabalho. Em todas as propriedades visitadas, foram realizados levantamentos de campo acerca de: perfil de cada criador; principais atividades agropecuárias; raças e populações de animais domésticos; características das propriedades; fisionomia vegetal; e dados técnicos e econômicos da propriedade.

Descrição da Área Amostrada

O município de Alcobaça, situado ao sul do Estado da Bahia na microrregião da Costa das Baleias, possui uma população estimada de 23.331 habitantes (IBGE, 2016). Sua área territorial volta é de 1.480,69 km². Apresenta um clima tropical. Sua temperatura média é de 24,50°C e sua pluviosidade média anual é 1.110,00mm (CLIMATE DATA, 2017). Neste município, há produção de banana, café, laranja, cana-de-açúcar, feijão, milho, e mandioca sendo presente em 334 estabelecimentos agropecuários. Quanto à pecuária, há presença de rebanhos asininos, galináceos, bovinos, bubalinos, equinos, suínos, muares, ovinos e apenas 02 estabelecimentos com rebanhos caprinos (IBGE, 2006).

O município de Caravelas, situado ao sul do Estado da Bahia na microrregião da Costa das Baleias, possui uma população estimada de 22.646 habitantes (IBGE, 2016). Sua área territorial é de 2.396,60 km². Apresenta um clima tropical e sua temperatura média de 24,30°C. Possui chuvas distribuídas ao longo do ano no município de Caravelas, com média anual é 1.519mm (CLIMATE DATA, 2017). Neste município, há produção de banana, café, laranja, cana-de-açúcar, feijão, milho, e mandioca sendo presente em 203 estabelecimentos agropecuários. Quanto à pecuária, há presença de rebanhos asininos, galináceos, bovinos, bubalinos, equinos, suínos, muares, ovinos e caprinos (IBGE, 2006).

Segundo dados da Superintendência de Estudos Econômicos e Sociais da Bahia (SEI, 2008), 55,87% das terras da região Extremo Sul são ocupadas por pastagens, 21,54% com plantios de eucalipto e 14,24% com remanescentes de Mata Atlântica, Floresta Ombrófila Densa, sendo estes uma mescla de matas secundárias degradadas e matas primárias, localizadas principalmente em Unidades de

Conservação de diferentes categorias, topos de morros e reservas legais. Em seu conjunto, a região tem se convertido em uma das mais importantes economicamente para o Estado da Bahia, por ser sede de grandes projetos industriais e de investimento nas áreas da silvicultura e celulose, pecuária e turismo, projetos que se integram a economia nacional e internacional.

Amostragem e Coleta dos Dados

As informações quantitativas primárias foram obtidas a partir de questionários resultantes de entrevistas conduzidas em 23 propriedades, escolhidas de forma aleatória nos dois municípios estudados. Embora priorizassem as pecuárias caprina, ovina e bovina, o questionário, com 87 questões fechadas e abertas, contém informações sobre outras atividades agropecuárias desenvolvidas nas propriedades (Tabela 1). A identificação dos entrevistados foi preservada nos questionários.

Tabela 1. Estrutura do questionário aplicado à campo

| Tipos de Perguntas | Respostas | | |
|---|-----------|----------|---------|
| | Nº | Fechadas | Abertas |
| Identificação do proprietário | 13 | 08 | 05 |
| Características da propriedade | 18 | 13 | 05 |
| Características técnicas e econômicas da pecuária | 56 | 40 | 16 |

Entre as 23 propriedades nas quais foram aplicados os questionários, fez-se o levantamento em cinco destas propriedades e, posteriormente, a classificação dos sistemas de produção. O levantamento foi realizado com auxílio de pontos de controle obtidos por equipamento de sistema GNSS (Sistema de Navegação por Satélite) em campo (Garmin Map 64S). Assim, a partir da localização dos pontos, obtiveram-se as imagens do satélite Geoeye da base ArcGIS Mapbase, assim como as imagens da plataforma de mapas do Google Earth para auxiliar na interpretação e análise, tendo em vista a dificuldade na fotointerpretação de algumas propriedades, devido à resolução espacial de algumas imagens.

Inicialmente, fez-se a análise visual das imagens, na finalidade de identificar as características visíveis da área dos sistemas de produção, em que consistiram em analisar a localização, classes de vegetação e regime de pastagem, em que se buscou classificá-los de acordo com os níveis tecnológicos. Os sistemas de produção foram classificados de acordo com dois grupos: (a) nível tecnológico; e (b) forma de produção.

No grupo nível tecnológico, os sistemas de produção foram classificados em duas classes distintas: (i) tecnificado; e (ii) não tecnificado. No grupo forma de produção os sistemas de produção foram classificados em três classes distintas: (1) extensivo; (2) semi-intensivo; e (3) intensivo.

O processamento dos pontos de GNSS, das imagens e a confecção dos mapas das propriedades foram realizados com auxílio do software ArcGIS 10. Os dados coletados durante os dez meses de pesquisa foram tabulados em planilha Excel®, pós-processados em valores percentuais de forma a facilitar a análise. Para as variáveis quantitativas foram calculadas medidas estatísticas: média e desvio-padrão.

Resultados e Discussão

O primeiro resultado refere-se ao fato de que 96% dos entrevistados são do sexo masculino. Isto reflete a frequência com que a classe masculina se torna mais “adaptável” ao trabalho no campo, o que pode ser devido às condições insalubres às quais, muitas vezes, os trabalhadores são submetidos durante o processo de produção agropecuária. Este, possivelmente, constitui um dos motivos da utilização de obra masculina em detrimento da feminina. Pacheco (1996, apud ALMEIDA et al., 2014) afirma que o trabalho produtivo realizado pelas mulheres no âmbito da agricultura familiar é muito subestimado pelas fontes estatísticas oficiais, pois parte-se da premissa que a mulher ocupa o espaço da casa e que sua ocupação principal é a atividade doméstica. Estas mulheres contribuem diretamente ou indiretamente no fortalecimento da produção rural familiar, garantindo uma segurança alimentar e nutricional para família, e conseqüentemente geração de renda e qualidade de vida das famílias, participando assim do aspecto socioeconômico (ALMEIDA, 2014).

De acordo com as Tabelas 2 e 3, verificou-se que as atividades eram conduzidas predominantemente por homens, com idade variando entre 29 a 66 anos, com média de idade de 49,36 ± 12,06 anos. Verificou-se que o processo de envelhecimento da população local é acompanhado pela

migração dos jovens para a cidade em busca de estudo, emprego, salário e melhoria de vida. São poucos os jovens que permanecem na zona rural dos municípios em estudo. Esse processo migratório acarreta uma redução no tamanho das famílias e do número de membros familiares para mão-de-obra.

Outro parâmetro abordado foi o número de membros que estes proprietários têm em sua família. Os dados demonstram que possuem $6,13 \pm 2,83$ pessoas, portanto pode ser que os pequenos proprietários, que possuem três a cinco membros na família, podem ter dificuldades de obter todos os recursos necessários ao bem-estar social dos mesmos.

O tamanho das propriedades dos entrevistados possui média de $13,00 \pm 15,72$ ha. Essa heterogeneidade referente à extensão de terras, deve-se ao fato de que muitas das propriedades amostradas estão inseridas em sistema de comodatos e associações. Das 23 propriedades visitadas, 12 não ultrapassam 10 ha de área, 06 se localizam entre os limites de 10 a 20 ha. Essas estratificações fundiárias demonstram que o Extremo Sul Baiano é uma região formada por pequenas e médias propriedades rurais, voltadas mais para a agricultura de subsistência e para comercialização, em baixa escala, e também para a criação de gado. Não há grande concentração de terras e nem predomínio de monoculturas, assim como não há criações intensivas de gado de leite e corte.

Verificou-se que, a maior parte da mão-de-obra destinada ao trabalho local era da família de seus proprietários, contabilizando aproximadamente 60% do total. As demais propriedades possuíam auxílio de diaristas e/ou assalariados. Atualmente as famílias cultivam a terra com uma produção agrícola composta por lavouras temporárias.

Tabela 2. Características quantitativas dos proprietários e das propriedades

| Variável | Média | Desvio-Padrão |
|--|-------|---------------|
| Idade | 49,39 | 12,06 |
| Nº de membros da família | 6,13 | 2,83 |
| Área Total da Propriedade (ha) | 11,61 | 15,92 |
| Mão-de-obra Familiar | 5,21 | 3,33 |
| Mão-de-obra Familiar/Assalariada | 7,50 | 4,80 |
| Mão-de-obra Familiar/Diarista | 7,21 | 4,24 |
| Mão-de-obra Familiar/ Diarista/Assalariada | 7,00 | 1,41 |

O nível de escolaridade identificado foi baixo entre os proprietários, pois 65% possuíam ensino primário e 17%, o ensino secundário. Estes dados contribuem para justificar os valores relativos aos salários.

Aproximadamente 83% dos proprietários se dedicam exclusivamente às suas propriedades e 17%, possuem outra atividade além de ruralista. A maior atividade desenvolvida é a agropecuária (70%), com destaque para a bovinocultura, e a agricultura, com destaque a mandioca, que foi predominante entre as culturas agrícolas.

Como estratégia de sobrevivência, esses proprietários cultivam na pouca terra que possuem, uma diversidade de culturas agrícolas, além da mandioca, o café, milho, feijão e fruticultura. Verificou-se a diversidade pecuária com foco na criação de gado de corte mestiço (principalmente com a raça Nelore) é de forma extensiva. Porém, essa diversificação agropecuária nas propriedades nem sempre garante um aumento no orçamento familiar. O destino da produção agropecuária precisa ser investigado, porém grande parte é para subsistência e venda em feiras livres, e a venda de porta em porta.

A textura de solo mais encontrada nas propriedades foi a arenosa, com 47% do total e a topografia predominante foi a semi-acidentada, com 51% do total. A topografia pouco acidentada, com aproximadamente 96% de suas terras com declividade pouco acentuada a plana, favorece o seu uso em atividades agrícolas intensivamente manejadas. A pecuária utiliza pastagens naturais e cultivadas ocupando grande parte das terras. Grande parte das propriedades tem pasto com Braquiária e Braquiarão. As áreas ocupadas com pastagem se encontram altamente degradadas em razão de seu uso intensivo, promovido pelo superpastejo e a baixa adoção de técnicas conservacionistas.

Observou-se que, em aproximadamente 61% das propriedades, o fornecimento de água é via subsolo. E em 73,91%, há fornecimento de energia elétrica. Porém, em cinco propriedades, não há alguma forma de fornecimento de energia.

Tabela 3. Características dos 23 proprietários entrevistados

| Características | Classes | N | % |
|---------------------------|-----------------------|----|-------|
| Outra profissão | Sim | 04 | 17,39 |
| | Não | 19 | 82,61 |
| Grau de instrução | Não alfabetizado | 03 | 13,04 |
| | Primário | 15 | 65,22 |
| | Secundário | 04 | 17,39 |
| | Universitário ou mais | 01 | 4,35 |
| Este grau de instrução é: | Completo | 10 | 43,48 |
| | Incompleto | 12 | 52,17 |
| | Sem resposta | 01 | 4,35 |
| Formação Agropecuária | Sim | 03 | 13,04 |
| | Não | 20 | 86,96 |
| Moradia | Propriedade | 19 | 82,61 |
| | Sede do município | 04 | 17,39 |

Tabela 4. Características das atividades agropecuárias, caracterização e perfil das 23 propriedades localizadas nos municípios de Alcobaça e Caravelas

| Características | Classes | N | % |
|--|--|----|-------|
| Atividade desenvolvida | Agropecuária | 16 | 69,57 |
| | Agropecuária/rede pública | 02 | 8,70 |
| | Agropecuária/rede privada | 02 | 8,70 |
| | Agropecuária/comércio | 03 | 13,04 |
| Administração da Propriedade | Próprio produtor | 21 | 91,30 |
| | Gerente | 01 | 4,35 |
| | Outro | 01 | 4,35 |
| Participa de associações ou cooperativas | Sim | 20 | 86,96 |
| | Não | 03 | 13,04 |
| Município | Alcobaça | 20 | 86,96 |
| | Caravelas | 03 | 13,04 |
| Tipo de Solo | Argiloso | 06 | 26,09 |
| | Arenoso | 11 | 47,83 |
| | Franco Arenoso | 01 | 4,35 |
| | Arenoso argiloso | 05 | 21,74 |
| Atividades agropecuárias da propriedade | Bovinocultura | 01 | 4,35 |
| | Lavoura | 05 | 21,74 |
| | Lavoura - Bovinocultura | 04 | 17,39 |
| | Lavoura - Avicultura | 07 | 30,43 |
| | Bovinocultura - Lavoura - Avicultura | 04 | 17,39 |
| | Lavoura - Bovinocultura - Suinocultura | 01 | 4,35 |
| | Lavoura - Bovinocultura - Suinocultura - Ovinocultura - Avicultura | 01 | 4,35 |
| Topografia Predominante | Acidentada | 01 | 4,35 |
| | Plana | 10 | 43,48 |
| | Semi-Acidentada | 12 | 52,17 |
| Energia | Elétrica | 17 | 73,91 |
| | Nenhuma | 05 | 21,74 |
| | Outra | 01 | 4,35 |
| Água para abastecimento da propriedade | Subsolo | 14 | 60,87 |
| | Superfície | 03 | 13,04 |
| | Água encanada | 02 | 8,70 |
| | Cisterna | 02 | 8,70 |
| | Subsolo/Superfície | 02 | 8,70 |
| Mão de obra da Propriedade - Tipo | Familiar | 14 | 60,87 |

| Características | Classes | N | % |
|---|--|----------|----------|
| | Familiar/Assalariada | 02 | 8,70 |
| | Familiar/Diarista | 05 | 21,74 |
| | Familiar/Diarista/Assalariada | 02 | 8,70 |
| Mão de obra da Propriedade – Números | Familiar | 73 | 65,47 |
| | Assalariada | 07 | 6,28 |
| | Diarista | 31 | 28,25 |
| Fisionomia Vegetal Predominante | Mata (remanescente de Floresta Ombrófila) | 07 | 41,18 |
| | Mata ciliar | 03 | 17,65 |
| | Mata (remanescente de Floresta Ombrófila) - Mata ciliar | 04 | 23,53 |
| | Outros | 03 | 17,65 |
| Cactáceas forrageiras | Palma forrageira | 02 | 8,70 |
| Pastagem exótica cultivada | Braquiária Decumbens | 11 | 47,83 |
| | Braquiarão | 02 | 8,70 |
| | Braquiária | 10 | 43,48 |
| | Braquiária com capim elefante ou Mombaça | 05 | 21,74 |
| | Braquiária com outra forrageira | 02 | 8,70 |
| Forrageiras cultivadas | Cana-de-açúcar | 12 | 52,17 |
| | Feijão guandu | 10 | 43,48 |
| | Amendoim forrageiro | 08 | 34,78 |
| | Palma forrageira | 03 | 13,04 |
| Lavoura | Somente mandioca | 02 | 9,09 |
| | Mandioca com outras culturas | 17 | 77,27 |
| | Café | 01 | 4,55 |
| | Fruticultura com outra cultura | 14 | 63,64 |
| Composição racial do rebanho bovino | Nelore | 02 | 15,38 |
| | Tabapuã | 01 | 7,69 |
| | Mestiço Nelore | 01 | 7,69 |
| | Nelore e Gir de corte | 01 | 7,69 |
| | Nelore e Girolando | 01 | 7,69 |
| | Girolando e Mestiço Holandês | 01 | 7,69 |
| | Outros | 06 | 46,15 |

De acordo com a Tabela 5 e as Figuras 1, 2, 3, 4 e 5, foram pesquisadas aproximadamente 165 ha, com média 32,90 ha, distribuídos em 4,57 ha de reserva legal, 19,07 ha de pastagem, 9,08 ha de lavouras e 0,75 ha da sede da propriedade. Verificou-se que as paisagens das propriedades amostradas são predominantemente de pastagem degradada e pouco manejada, com pouca ocorrência de gado. Geralmente, as áreas do entorno das propriedades são plantios de eucalipto e fazendas de criação de gado.

Tabela 5. Características das cinco propriedades georreferenciada

| Propriedades | Média da Área (ha) | Desvio-Padrão (ha) |
|---------------------|---------------------------|---------------------------|
| Limite | 32,90 | 24,94 |
| Reserva Legal | 4,57 | 1,60 |
| Pastagem | 19,07 | 25,96 |
| Mandioca | 5,00 | 1,77 |
| Cultura Agrícola | 4,08 | 2,35 |
| Sede | 0,75 | 0,44 |

A primeira fazenda consultada foi a Fazenda Bela Vista (Figura 1), localizada no município de Alcobaça-BA, é limitada com uma área de 31,93 hectares. Esta possui como árvores e arbustos forrageiros, a aroeira, sapucaia, umbaúba, cajueiro, ingá, pau-brasil, palmitero e o ipê. Possui a palma forrageira como cactácea nativa forrageira e o mata pasto, malva, vassourinha e maria preta como herbáceas nativas forrageiras. Entre as forrageiras cultivadas estão: cana-de-açúcar, feijão guandu, gliricídia, capim elefante, palma forrageira e o amendoim forrageiro.

A pastagem da Fazenda Bela Vista ocupa grande parte da propriedade, com 21,50 hectares, equivalente a 67% da área total. A reserva legal ocupa 3,42 hectares equivalente a aproximadamente 11% da área total. De acordo com o novo Código Florestal (Lei nº 12.651/2012), a propriedade deverá ter 20% da sua área total destinada a reserva legal. Esperava-se que a fazenda Bela Vista dedicasse 6,39 hectares, porém isto não ocorreu. O plantio de mandioca ocupa 3,15 hectares (10% da área total); o de limão Taiti, 0,72 hectare (2% da área total); a sede, onde a família do proprietário reside, ocupa 1,40 hectares (4% da área total); e por fim, a área aberta, 2,05 hectares (6% da área total). O tipo de solo desta fazenda é o argiloso, com uma topografia predominante semi-acidentada. A água para abastecimento da propriedade é retirada a partir do subsolo. A fisionomia vegetal predominante é a mata (remanescente de Floresta Ombrófila) com a presença da mata ciliar.

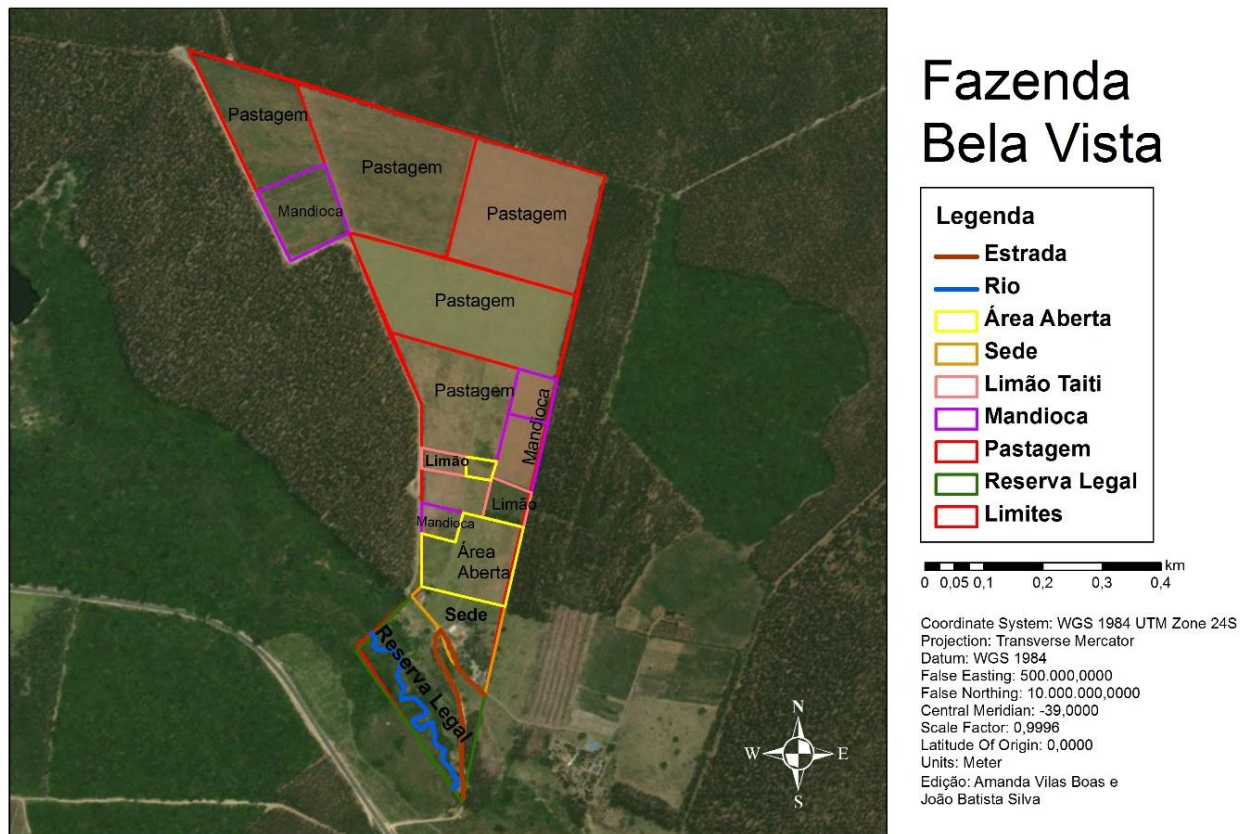


Figura 1. Propriedade - Fazenda Bela Vista, Alcobaça-BA.

A Fazenda Oliveiras está situada no município de Alcobaça-BA, no distrito Pouso Alegre (Figura 2). A fazenda é limitada com 32,83 hectares. A reserva legal ocupa 6,55 hectares, sendo aproximadamente 20% da área total. De acordo com o novo Código Florestal (Lei nº 12.651/2012), a propriedade deverá ter 20% da sua área total destinada a reserva legal. Esperava-se que a fazenda Oliveiras dedicasse 6,57 hectares e esta possui uma área semelhante à cobrada de acordo com o Código Florestal. A cultura de eucalipto é predominante, com 13,84 hectares (42% da área total); a cultura de Mandioca, com 5,17 hectares (16% da área total); a cultura de laranja, 0,21 hectare (1% da área total); e a nova área reservada para o plantio de mandioca, contém 1,95 hectares (6% da área total). A área destinada à pastagem, com árvores e arbustos forrageiros como a Aroeira, Jacarandá, Umbaúba, Cajueiro, Ingá, Pau-Brasil, Palmiteiro, Ipê, e o Tapicuru; a Coroa-de-frade e a Palma forrageira, como cactácea nativa forrageira; e o Orelhão de onça, Feijãozinho, Erva de ovelha, Mata pasto, Feijão bravo e a Vassourinha como herbáceas nativas forrageiras, contém 4,50 hectares (14% da área total).

A sede, residência do proprietário, contém 0,61 hectare (2% da área total). O tipo de solo desta fazenda é o argiloso, com uma topografia predominante semi-acidentada. A água para abastecimento da propriedade é retirada a partir do subsolo. A fisionomia vegetal predominante é a Mata (remanescente de Floresta Ombrófila) com a presença da Mata ciliar. Entre as forrageiras cultivadas estão: Cana-de-açúcar, Feijão guandu, Capim elefante e a Palma forrageira.

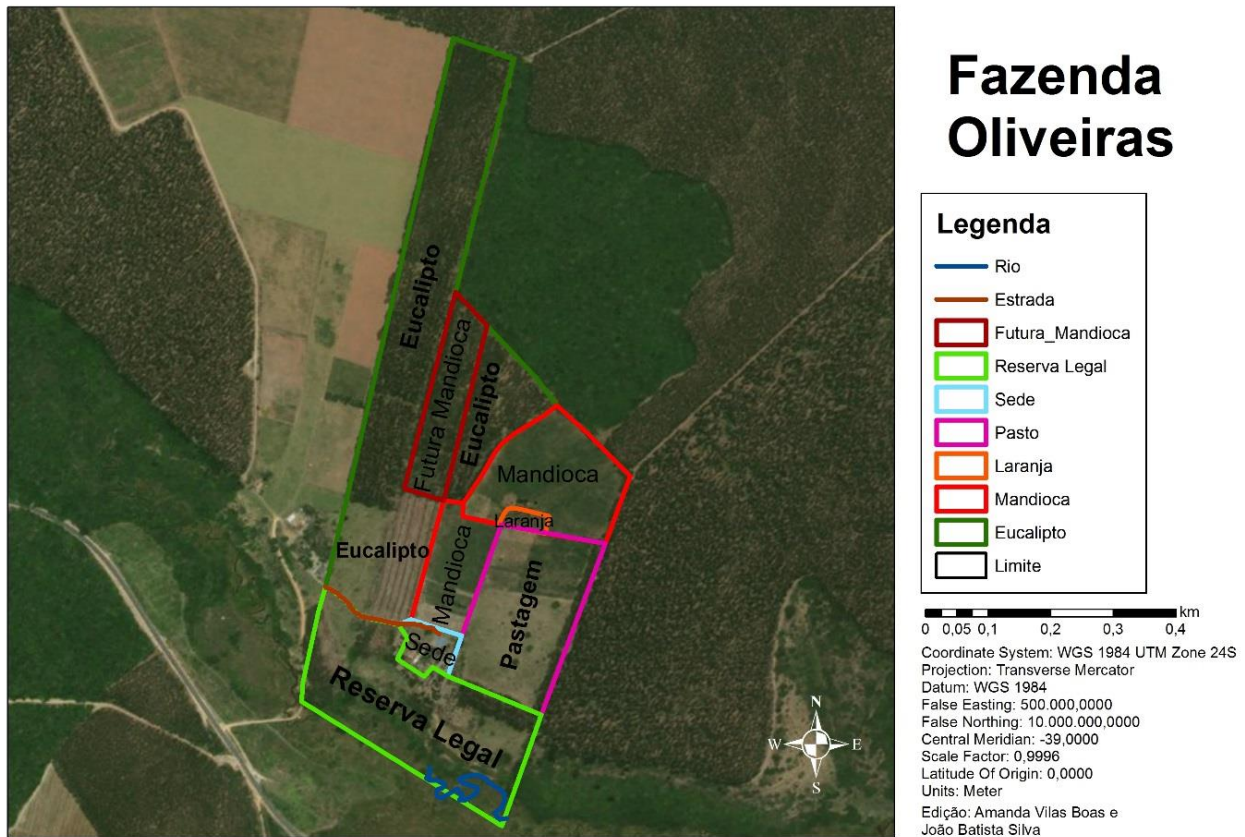


Figura 2. Propriedade - Fazenda Oliveiras, Alcobaça-BA.

A fazenda Nova Venécia é localizada em Itaitinga I, no município de Alcobaça-BA (Figura 3). A fazenda é limitada com 74,51 hectares. A reserva legal, representada na imagem como APP (Área de Preservação Permanente), possui 3,75 hectares, correspondendo a 5% da área total. De acordo com o novo Código Florestal, esperava-se que a fazenda Nova Venécia dedicasse 14,9 hectares, e esta possui uma área inferior à cobrada. A área predominante é a área de pastagem, com árvores e arbustos forrageiros como a aroeira, umbaúba, cajueiro, ingá, palmitero e o ipê; além da malva e pimentão como herbáceas nativa forrageira, possui 63,34 hectares (85% da área total). O curral para manejo possui 0,05 hectare e equivale a menos de 1% da área total e o piquete, 3,34. O plantio de café está contido numa área de 3,38 hectares (5% da área total). A sede, residência do proprietário, contém 0,53 hectare (1% da área total). O tipo de solo desta fazenda é o Franco Arenoso, com uma topografia predominante plana. A água para abastecimento da propriedade é retirada a partir da superfície. A fisionomia vegetal predominante é a mata ciliar.

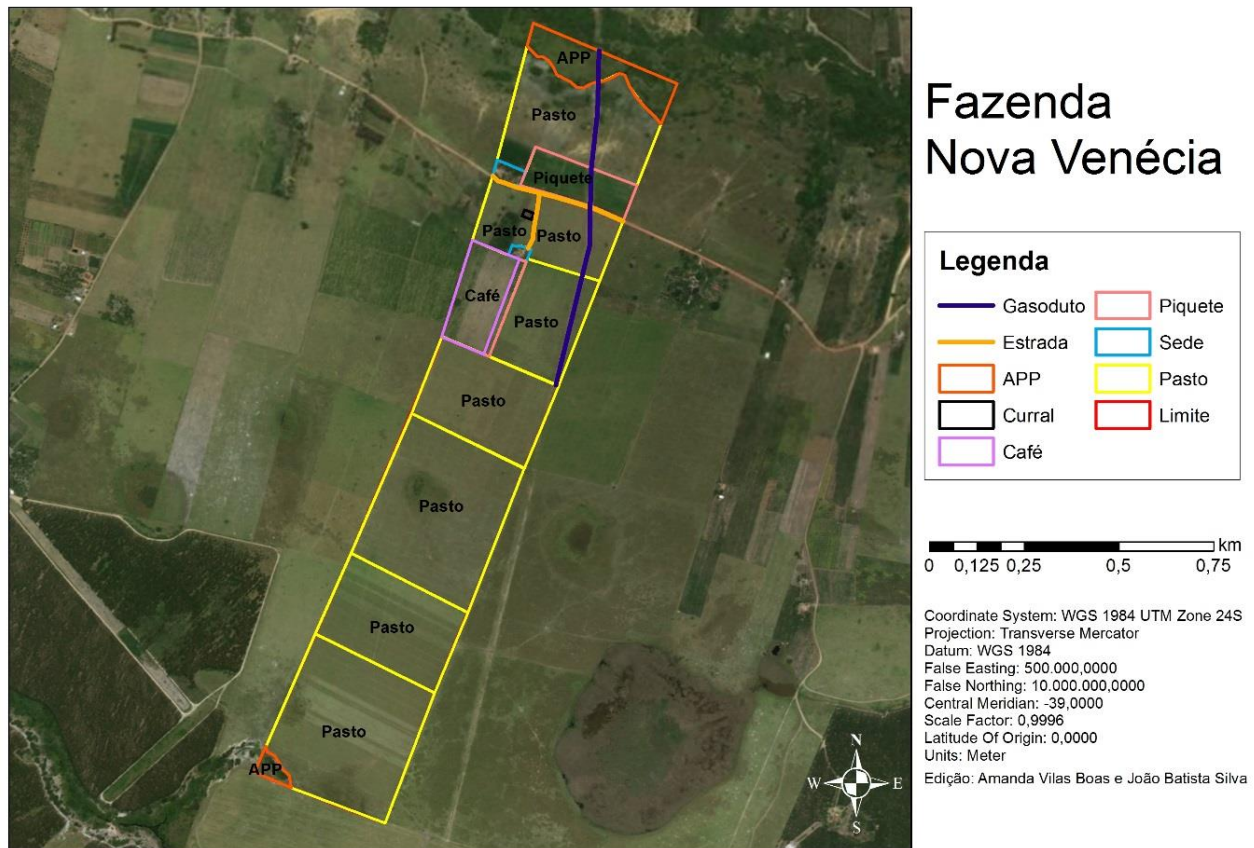


Figura 3. Propriedade - Fazenda Nova Venécia, Alcobaça-BA.

A fazenda Alto Boa Vista é localizada no município de Alcobaça-BA (Figura 4). A fazenda é limitada com 14,82 hectares. A reserva legal possui 3,09 hectares, correspondendo a 21% da área total em conformidade ao Código Florestal. A área predominante é a plantação de mandioca com 6,68 hectares (45% da área total). A pastagem, com árvores e arbustos forrageiros como a umbaúba, cajueiro, beriba, jaca e coqueiro, possui 1,93 hectare e equivale a 13% da área total. O plantio de pimenta está contido numa área de 0,18 hectare (1% da área total). A sede, residência do proprietário, contém 0,27 hectare (2% da área total); a capela, contida numa área de 0,04 hectare, corresponde a menos de 1% da área total, assim como a casa, que contém 0,05 hectare. A propriedade possui uma área aberta com 2,14 hectares (14% da área total) e um campo de futebol com 0,32 hectare, (2% da área total). O tipo de solo desta fazenda é o arenoso, com uma topografia predominante semi-acidentada. A água para abastecimento da propriedade é retirada a partir do subsolo. A fisionomia vegetal predominante é a Mata (remanescente de Floresta Ombrófila) com a presença da mata ciliar.

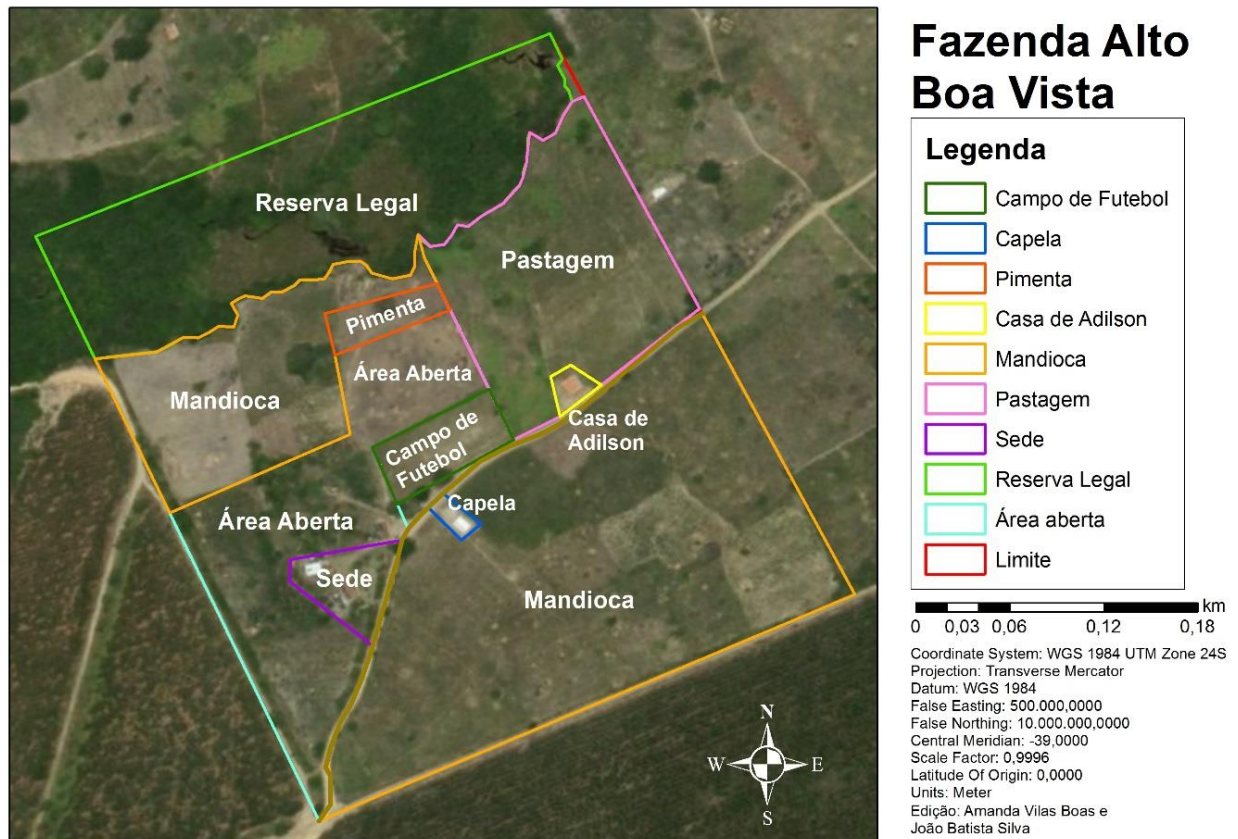


Figura 4. Propriedade - Fazenda Alto Boa Vista, Alcobça-BA.

O sítio Córrego Braço do Sul está localizado no município de Caravelas-BA (Figura 5). O sítio é limitado com 12,28 hectares. A reserva legal possui 6,03 hectares, correspondendo a 49% da área total, ou seja, possui uma área superior à cobrada de acordo com o Código Florestal. A área de pastagem, com árvores e arbustos forrageiros como a aroeira, sapucaia, umbaúba, ingá, palmitero, beriba, urucum e arará; e o mata pasto, malva e vassourinha como herbáceas nativas forrageiras, possui 4,07 hectares equivale a 33% da área total. O cultivo agrícola está contido numa área de 1,74 hectare (14% da área total). A sede, residência do proprietário, contém 0,44 hectare (4% da área total). O tipo de solo desta fazenda é o arenoso, com uma topografia predominante semi-acidentada. A água para abastecimento da propriedade é retirada a partir do subsolo. A fisionomia vegetal predominante é a Mata (remanescente de Floresta Ombrófila) com a presença da mata ciliar.

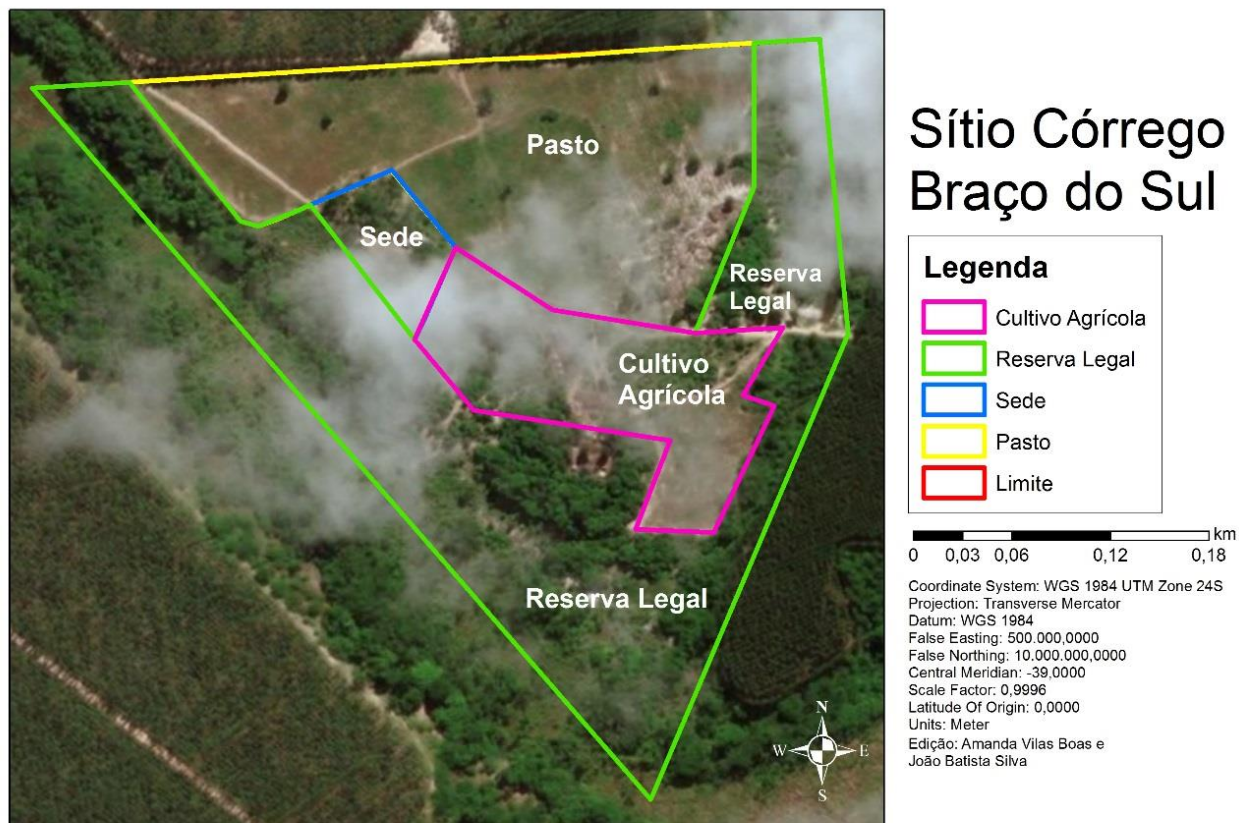


Figura 5. Propriedade - Sítio Córrego Braço do Sul, Caravelas-BA.

Conclusão

As propriedades estudadas neste trabalho apresentaram nível tecnológico pouco tecnificado a não tecnificado, e a criação dos ruminantes (principalmente gado de corte) foi em pasto de maneira extensiva.

O uso geotecnologias permitiu dar maior suporte aos proprietários para organização e planejamento de suas atividades agrícolas.

Com os resultados deste trabalho, pretende-se gerar ações com as famílias que estão nas pequenas propriedades localizadas no extremo Sul Baiano voltadas às práticas de recuperação e manejo do solo para melhoria da produtividade.

Referências

- ABRAMOVAY, R. Agricultura familiar e uso do solo. São Paulo em Perspectiva, v.11, n. 2, p.73-78, 1997.
- ALMEIDA, J. A. T.; NORONHA, C. R. B.; BRITO, E. R. P.; FARIAS, A. R. B., ANDRADE, H. M. L. S. A invisibilidade parcial do trabalho feminino no campo das atividades produtivas. In: 18º REDOR Anais... UFRPE. 2014.
- ALMEIDA, T. M.; MOREAU, A. M. S. S.; MOREAU, M. S.; PIRES, M. M. FONTES, E. O.; GÓES, L. M. Reorganização socioeconômica no extremo sul da Bahia decorrente da introdução da cultura do eucalipto. Sociedade & Natureza, v.20, n.2, p.5-18, 2008.
- BRASIL. Lei Nº 12651/2012. Código Florestal Brasileiro. Brasília, DF, 2017. Disponível em: <<http://www.planalto.gov.br>>. Acesso em: 22 de junho de 2017.
- BUAINAIN, A. M.; ROMEIRO, A. R.; GUANZIROLI, C. Agricultura familiar e o novo mundo rural. Sociologias, v.5, n.10, p.312-347, 2003.
- BURROUGH, P. A. Principles of geographical information systems for land resources assessment. Clarendon Press. Oxford, 1986.
- CLIMATE DATA. Município de Alcobaça. Disponível em: <<https://pt.climate-data.org/location/43473/>>. Acesso em: 22 de junho de 2017.
- CLIMATE DATA. Município de Caravelas. Disponível em: <<https://pt.climate-data.org/location/43470/>>. Acesso em: 22 de junho de 2017.

- FILHO, C. R. S. F.; CRÓSTA, A. P. C. Geotecnologias Aplicadas à Geologia. Revista Brasileira de Geociências. v.33, n.2, p.1-4, 2003.
- FRANÇA, L. C. J.; SILVA, J. B. L.; LISBOA, G. S.; LIMA, T. P.; FERRAZ, F. T. Elaboração de Carta de Risco de Contaminação por Agrotóxicos para a Bacia do Riacho da Estiva, Brasil. Floresta e Ambiente, v.23, n.4, p.463-474, 2016.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Censo agropecuário do município de Alcobaça, 2006. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br>> Acesso em: 20 de junho de 2017.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Censo agropecuário do município de Caravelas, 2006. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br>> Acesso em: 20 de junho de 2017.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Município de Alcobaça. Disponível em: <<http://cidades.ibge.gov.br>>. Acesso em: 20 de junho de 2017.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Município de Caravelas. Disponível em: <<http://cidades.ibge.gov.br>>. Acesso em: 20 de junho de 2017.
- MANGABEIRA, J. A. C. Tipificação de produtores rurais apoiada em imagens de alta resolução espacial, geoprocessamento e estatística multivariada: uma proposta metodológica. 134p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). UNICAMP. Campinas, 2002.
- ROCHA, C. H. B. Geoprocessamento: Tecnologia Transdisciplinar. Juiz de Fora: Ed. do Autor, 2007.
- SDR. Secretaria de Desenvolvimento Rural. 2017. Disponível em: <<http://www.sdr.ba.gov.br>>. Acesso em: 31 de julho de 2017.
- SEI. Superintendência de Estudos Econômicos e Sociais da Bahia. Uso atual das terras: Bacias do Extremo Sul e do Rio Jequitinhonha. (Série estudos e pesquisas, 81), Salvador, 2008. 176p.
- PIRES, L. C. Diversidade genética de caprinos nas Repúblicas de Cabo Verde e do Brasil. Viçosa: UFV, 2011. 123p. Tese (Doutorado). Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, 2011.

Capítulo 7

CARACTERIZAÇÃO GEOGRÁFICA E MAPEAMENTO DA COBERTURA DO SOLO DO ASSENTAMENTO RURAL PATATIVA DO ASSARÉ

Paulo Roberto Megna Francisco

Pós-Doutor em Ciência do Solo, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande-PB, paulomegna@gmail.com

Introdução

O Instituto de Colonização e Reforma Agrária (INCRA) foi criado para viabilizar a ocupação do território e tem a missão de implementar a política de reforma agrária e realizar o ordenamento fundiário nacional contribuindo para o desenvolvimento rural sustentável (FONTENELE & SANTOS, 2010). Desde a década 70 o INCRA adquiriu um papel de grande destaque entre as políticas públicas direcionadas pelo Estado brasileiro aos assentamentos promovendo uma nova forma de inclusão social através de programas (PAIM & DALL'IGNA, 2009).

Ainda conforme Paim e Dall'Igna (2009), os assentamentos rurais são alternativas de desenvolvimento social, econômico, cultural e ambiental, pois proporcionam ao pequeno agricultor possibilidades de desenvolvimento, refletindo em um desenvolvimento local, regional e nacional, e aliado aos movimentos sociais, instituições privadas pode se transformar numa política democrática de acesso a terra.

Esquerdo (2011), relata que no contexto da reforma agrária brasileira, o termo assentamento está relacionado a um espaço preciso em que uma população será instalada, é, portanto, uma transformação do espaço físico, cujo objetivo é a sua exploração agrícola. Como o seu significado remete à fixação do trabalhador na agricultura, envolve também a disponibilidade de condições adequadas para o uso da terra e o incentivo à organização social e à vida comunitária.

Com isso a implantação de um assentamento baseado na viabilidade econômica, na sustentabilidade ambiental e no desenvolvimento territorial busca cumprir com os objetivos da reforma agrária (AGUILAR et al., 2011). Neste caso, torna-se necessário a caracterização do assentamento, que é um trabalho técnico descritivo que reúne e espacializa através de mapas as informações georreferenciadas, e tem por finalidade subsidiar a discussão para formulação das propostas para elaboração do Plano de Desenvolvimento dos Assentamentos (FRANCISCO et al., 2012).

Apresentar uma proposta de preservação e convivência harmoniosa com o ambiente existente no assentamento é um desafio para as equipes de ATES, que devem apresentar sugestões no sentido de encontrar métodos que agridam o mínimo possível o meio ambiente, desenvolvendo atividades de capacitação que tenham com base os princípios agroecológicos, agrossilvopastoril, manejo da caatinga, entre outros, apresentando alternativas de sobrevivência e produção sustentável.

Várias técnicas já foram utilizadas com o objetivo de se avaliar quantitativamente e qualitativamente o estado da vegetação a partir de imagens de satélites e índices de vegetação foram desenvolvidos. Tais índices têm sido usados na estimativa de vários parâmetros da vegetação e o mais usado e conhecido atualmente é o Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI) (COSTA FILHO et al., 2007).

Portanto este trabalho tem como objetivo mapear a cobertura do solo utilizando o NDVI gerado a partir de imagens de satélite de média resolução espacial procurando auxiliar na caracterização do Assentamento Patativa do Assaré.

Caracterização da região de estudo

A área de estudo compreende o Assentamento Rural Patativa do Assaré, com uma extensão territorial de 2.343,9 ha, localizado entre os municípios de Patos e São José de Espinharas no Sertão do Estado da Paraíba. Seu ponto central é cortado pela coordenada de 6°55'30" de latitude sul e pela coordenada 37°23'00" de longitude oeste. Está inserido na bacia hidrográfica do rio Espinharas (Figura 1), que drena para o Rio Grande do Norte, e limita-se ao norte com o estado do Rio Grande do Norte, ao sul com Pernambuco, ao leste com a bacia do rio Seridó, e a oeste com as bacias do rio Piancó e Médio Piranhas.

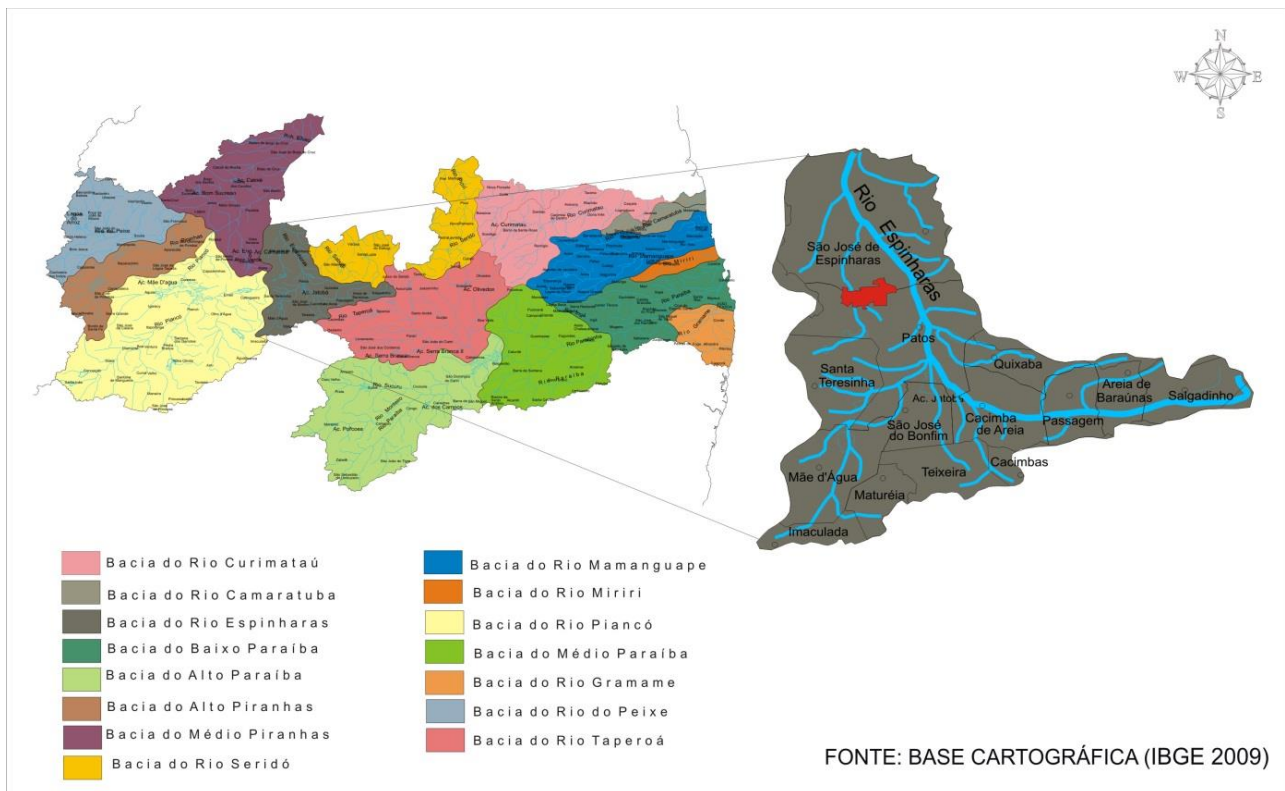


Figura 1. Localização da área de estudo. Fonte: Adaptado de IBGE (2009); AESA (2011).

Francisco (2010), relacionando clima e altitude da Paraíba afirma que o Sertão é uma região que ocupa o terço oeste do Estado, com clima do tipo Bsh - Semiárido quente, nas áreas mais baixas (<300 m).

As regiões geográficas do Estado guardam uma estreita relação com a ocorrência dos solos e a ocupação e uso das terras, e a área de estudo localizada no Baixo Sertão do Piranhas é polarizada pelas cidades de Patos, Piancó, Pombal e a margem esquerda do rio Piranhas, ao norte, Catolé do Rocha. A altitude quase sempre é inferior a 350m (Figura 2), os solos predominantes é o Luvissole Crômico fase pedregosa relevo suave ondulado associado ao Neossolo Litólico Eutrófico fase pedregosa e rochosa relevo ondulado; ocorrendo a presença de Luvissole Crômico vértico à medida que a altitude decresce para nordeste, ao longo da drenagem, decrescendo também a precipitação. Na região de Catolé do Rocha, predomina a mesma associação de solos da região do Alto Sertão, o Argissolo Vermelho Amarelo Eutrófico associado à Neossolo Litólico Eutrófico fase pedregosa rochosa caatinga hiperxerófila (Figura 3). Área tradicional de cultivo de algodão, hoje com pecuária e agricultura de subsistência. (FRANCISCO, 2010).

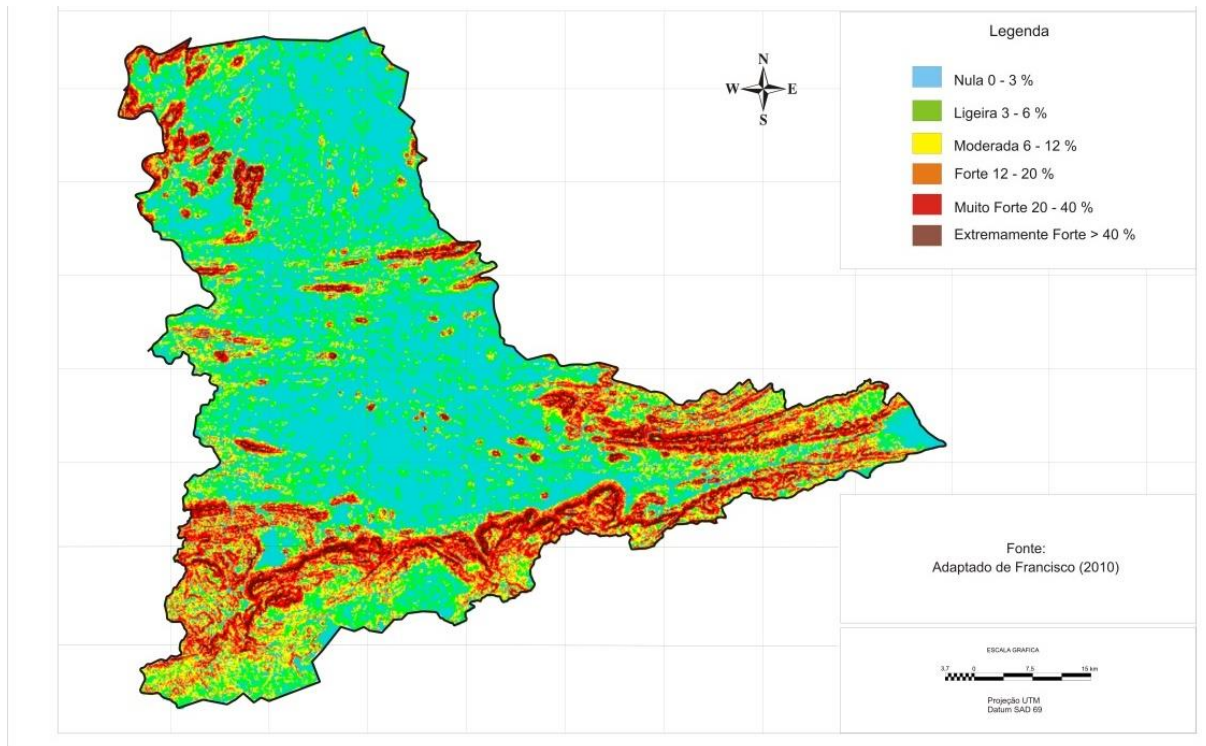


Figura 2. Mapa de declividade da bacia hidrográfica do rio Espinharas.
Fonte: Adaptado de Francisco (2010).

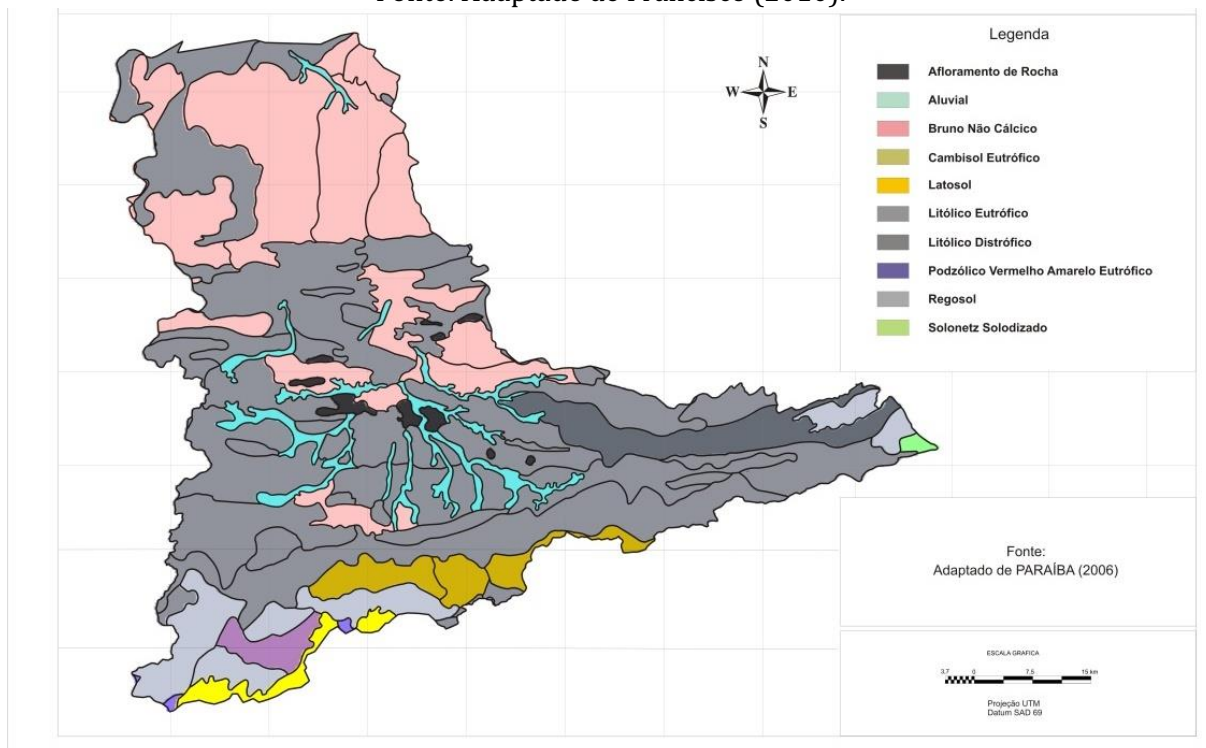


Figura 3. Mapa de solos da bacia hidrográfica do rio Espinharas.
Fonte: Adaptado de PARAÍBA (2006); AESA (2011).

As características do solo da Caatinga estão controladas pelas condições de clima, geomorfologia, quantidade e intensidade da chuva, radiação solar, temperatura, umidade e declividade do terreno bem como pelas comunidades de plantas que nele se desenvolvem (MALDONADO, 2005).

Em toda a área de estudo a vegetação é do tipo Caatinga hiperxerófila. De acordo com Barbosa et al. (2007) e Paes-Silva et al. (2003), as espécies mais encontradas na Caatinga são: a Malva (*Sida galheirensis* Ulbr.), Macambira (*Bromelia laciniosa* Mart. ex Schult. f.), Imburana (*Commiphora leptophloeos* (Mart.) J.B.Gillett), Mandacaru (*Cereus jamacaru* DC.), Xique-xique (*Pilosocereus gounellei*

(F.A.C.Weber) Byles & G.D.Rowley), Facheiro (*Pilosocereus pachycladus* F.Ritter), Palmatória (*Tacinga palmadora* (Britton & Rose) N.P.Taylor & Stuppy), Mofumbo (*Combretum leprosum* Mart.), Marmeleiro (*Croton sonderianus* Müll.Arg.), Pinhão (*Jatropha mollissima* (Pohl) Baill.), Pinhão (*Jatropha ribifolia* (Pohl) Baill.), Jureminha (*Desmanthus virgatus* (L.) Willd.), Jurema-preta (*Mimosa tenuiflora* (Willd.) Poir.), Catingueira (*Caesalpinia pyramidalis* Tul), Pereiro (*Aspidosperma pyrifolium* Engl.), Marmeleiro (*Croton sonderianus* Muell. Arg.), Pinhão bravo (*Jatropha molíssima* (Pohl.) Mull Arg.) e outras espécies nativas da região, como o Angico (*Anadenathera macrocarpa* (Benth.) Brenan) a Aroeira (*Myracrodruon urundeuva* Allemão) e o Umbu (*Spondias tuberosa*, L.) (FRANCISCO, 2013).

Material e Métodos

Processamento dos dados

Para a caracterização do Assentamento em estudo foi utilizado dados bibliográficos, dados e informações de campo, mapas em formato Dxf fornecido pelo INCRA, e a base de dados do SPRING 5.2.2 elaborado por Francisco (2010) que contempla informações digitais do estado da Paraíba.

Realizou-se a importação do perímetro da área de estudo ao banco de dados e realizou o recorte dos planos de informação de declividade, solos, geomorfologia, geologia e capacidade de uso das terras, onde foram manipulados e elaborados seus respectivos mapas e realizado as descrições dos resultados encontrados utilizando a metodologia descrita em Francisco et al. (2012a) que foi desenvolvida para o INCRA SR-18 para elaboração de planos de desenvolvimento e após editados no programa CorelDraw 13.

Na elaboração do mapa de vegetação e uso da terra foi utilizada a metodologia desenvolvida por Francisco (2013). Neste procedimento foi adquirido imagens do satélite LANDSAT 5 TM órbita 215, ponto 65, da data de 23/08/2008 disponibilizada pelo INPE. Em seguida foi realizada a correção geométrica e o recorte das imagens tomando-se como base os limites da área do assentamento.

Utilizando o software ERDAS 8.5 as imagens foram empilhadas e utilizou-se do algoritmo para obtenção da correção radiométrica nas diferentes bandas espectrais das imagens de satélite, selecionadas de acordo com o método utilizado por Silva et al. (2005). Para obtenção do Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI) foi utilizada a Equação 1, que está bem descrita em Allen et al. (2002).

$$NDVI = \frac{(rp4 - rp3)}{(rp4 + rp3)} \quad (\text{Eq. 1})$$

Em que: rp4 e rp3 correspondem às reflectâncias das bandas 4 e 3 do TM-LANDSAT 5.

Mapeamento

Para o mapeamento da imagem de NDVI foi utilizada a metodologia de Francisco (2013) e Francisco et al. (2012b; 2012c; 2012d), de fácil aplicação auxiliando na interpretação de imagens de satélites no mapeamento da vegetação de Caatinga onde é classificada tomando como base o índice de biomassa da vegetação lenhosa (IBVL) e valores de reflectância (Tabela 1).

Tabela 1. Classes de NDVI correspondentes ao IBVL da vegetação de Caatinga

| Classes | IBVL | NDVI |
|-----------------------------------|-------------|-------------|
| Arbórea Subarbórea densa | > 0,60 | >0,300 |
| Subarbórea Arbustiva densa | 0,50 a 0,60 | 0,285-0,300 |
| Arbustiva Subarbórea densa | 0,40 a 0,50 | 0,265-0,285 |
| Arbustiva Subarbórea aberta | 0,30 a 0,40 | 0,250-0,265 |
| Arbustiva Subarbustiva aberta | 0,20 a 0,30 | 0,225-0,250 |
| Subarbustiva Arbustiva rala | 0,10 a 0,20 | 0,180-0,225 |
| Subarbustiva Arbustiva muito rala | 0,05 a 0,10 | 0,150-0,180 |
| Solo exposto | < 0,05 | 0-0,150 |
| Corpos d'água | | <0 |

Fonte: Francisco (2013).

Em seguida foi utilizada a Linguagem Algébrica do SPRING definindo as classes para gerar o mapa de vegetação, que após foi editado sendo manipulados aspectos como título, tamanho, texto, escala, legenda e localização.

Resultados e Discussão

Caracterização da área do assentamento

De acordo com os dados da Atlas do Plano Estadual de Recursos Hídricos da Paraíba (PARAÍBA, 2006), a geologia predominante no assentamento em estudo está representada pelo: Ortognaisse granodiorítico granítico (Apy) cuja constituição litológica é composta por: Ortognaisse de composição granodiorítica granítica, eventualmente tonalítica trondhjemitica, com níveis de rochas metamáficas; relacionado ao período Arqueano/Paleoproterozóico; e Complexo Caicó (Pca) cuja constituição litológica é composta por: Ortognaisse granodiorítico granítico e tonalítico graniodorítico migmatizado incluindo anfíbolitos calcissilicática; quartzo feldspato biotita gnaiss, às vezes migmatizado incluindo calcário cristalino e anfíbolito; relacionado ao período Paleoproterozóico.

A área do assentamento ocupa a porção norte do município que se encontra inserido no Sertão Paraibano na zona fisiográfica do Sertão de Piranhas, nas unidades geomorfológicas denominadas Planície Fluvial e Depressão Sertaneja de formas tabulares.

Conforme se pode observar na Figura 4, o relevo apresenta-se distribuído com declividade Nula em 1.450,789170 ha, Ligeira em 603,939040 ha, Moderada em 208,562432 ha, Forte em 51,107537 ha, Muito Forte em 24,690814 ha e Extremamente Forte em 4,814306 ha.

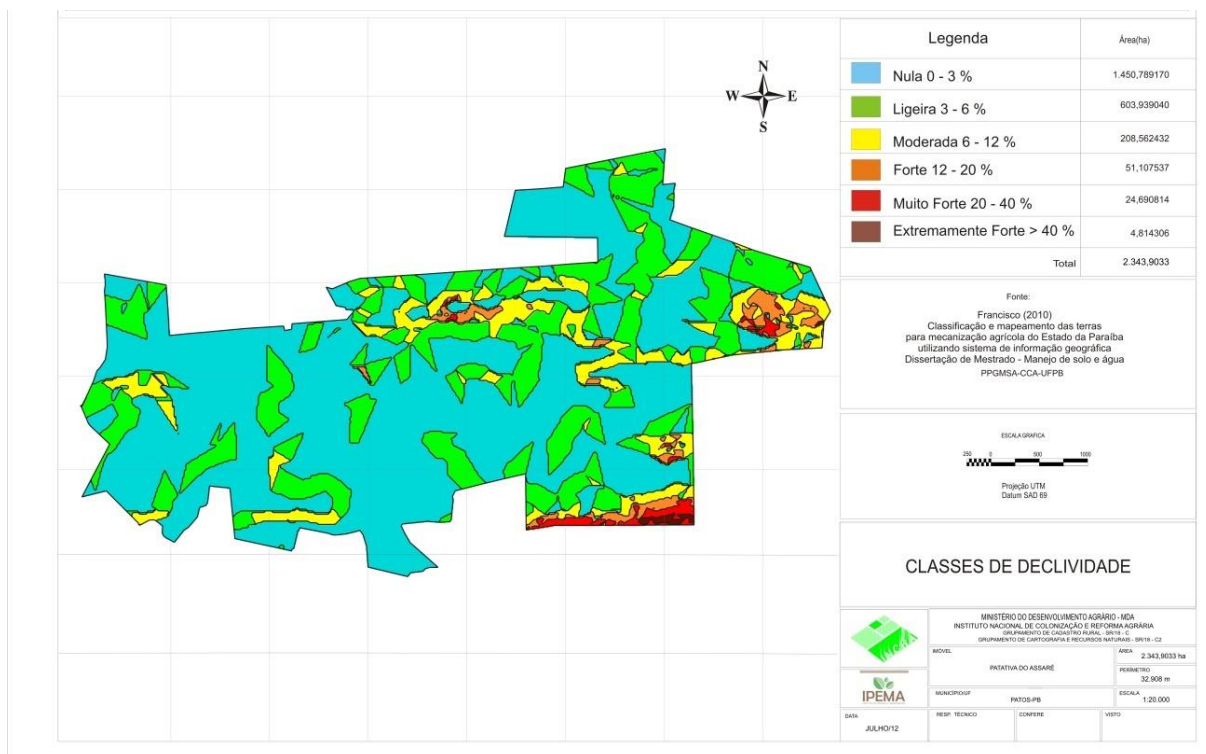


Figura 4. Mapa de declividade do assentamento. Fonte: Adaptado de Francisco (2010).

Os tipos de solos encontrados conforme o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 1999) são os Neossolos Litólicos Eutróficos, que são solos jovens com pouco desenvolvimento dos perfis devido a diversas causas. Solos com horizonte A ou O hístico com menos de 40 cm de espessura, assente diretamente sobre rocha ou sobre um horizonte C ou Cr ou sobre material com 90% (por volume) ou mais de sua massa constituída por fragmentos de rocha com diâmetro maior que 2 mm (cascalhos, calhaus e matacões) e que apresentam um contato lítico dentro de 50 cm da superfície do solo. Admite um horizonte B, em início de formação, cuja espessura não satisfaz a qualquer tipo de horizonte B diagnóstico; e uma pequena área de Luvisolo Crômico órtico típico, que são solos constituídos por material mineral, apresentando horizonte B textural com argila de atividade alta e alta saturação de bases, imediatamente abaixo de qualquer tipo de horizonte A. São solos intermediários para o Vertissolo, ou seja, com horizonte vértico em posição não diagnóstica para o Vertissolo ou com caráter vértico em um ou mais horizontes, dentro de 50 cm da superfície do solo. Sua evolução, segundo atuação de processo de bissetilização, conjugada a produção de óxidos de ferro e mobilização de argila da parte mais superficial, com acumulações em horizonte subsuperficial.

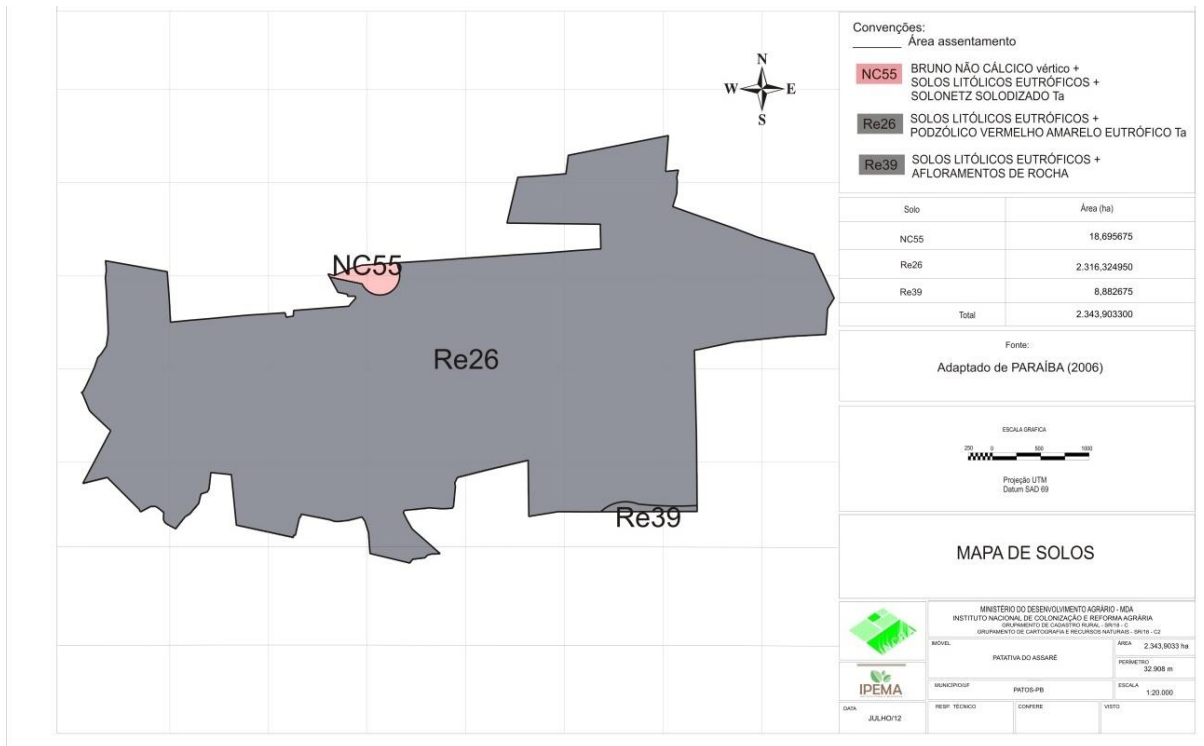


Figura 5. Mapa de solos do assentamento. Fonte: Adaptado de Francisco (2010).

Na Figura 6 observam-se as Classes de Capacidade de Uso das Terras encontradas na área que conforme PARAÍBA (1978) são:

Terras próprias para lavouras: Terras profundas e isentas de pedras. Compreende as classes I, II, III e IV, distintas com base no conjunto de práticas e medidas necessárias para uma agricultura racional permanente. A classe encontrada na área foi:

Classe IV: define terras que se prestam somente para uma lavoura esporádica ou limitada. São áreas mais íngremes, mais susceptíveis à erosão, difíceis de drenar ou de outra forma qualquer menos apropriada para cultivos contínuos. As áreas de relevo mais acidentado são mais indicadas para culturas permanentes ou silvicultura. As áreas mais planas e mal drenadas são propícias para o cultivo de arroz e/ou capineiras. As principais restrições relacionam-se com problemas de topografia, pedregosidade, erosão, profundidade efetiva e mecanização. Desta classe foram encontrados 18,695675 ha.

Terras Impróprias para Lavouras, mas apropriadas para Vegetação Permanente, em geral para Pastagem e Reflorestamento: nessa categoria está incluída a classes V, VI e VII. As classes encontradas na área foram:

Classe VI: compreende terras apropriadas para vegetação permanente em particular para pastagem ou reflorestamento. Devido aos aspectos físicos e morfológicos, são susceptíveis de danificação pela erosão, apresentando, portanto, restrições moderadas e severas no seu uso, seja com ou sem práticas conservacionistas. São, por via de regra, mais íngremes ou mais susceptíveis à erosão e mais rasas. Desta classe foram encontrados 2.316,324950 ha.

Classe VII: compreende terras que além de não serem cultiváveis com culturas anuais, apresentam severas limitações mesmo para certas culturas permanentes protetoras do solo, ou para reflorestamento, sendo altamente susceptíveis à erosão, exigindo cuidados especiais. São terras acidentadas, rasas, erodidas, pedregosas e ou rochosas e com problemas de salinidade e/ou sodificação moderada e algumas com problemas de fertilidade muito baixa e drenagem imperfeita. Desta classe foram encontrados 8,882675 ha.

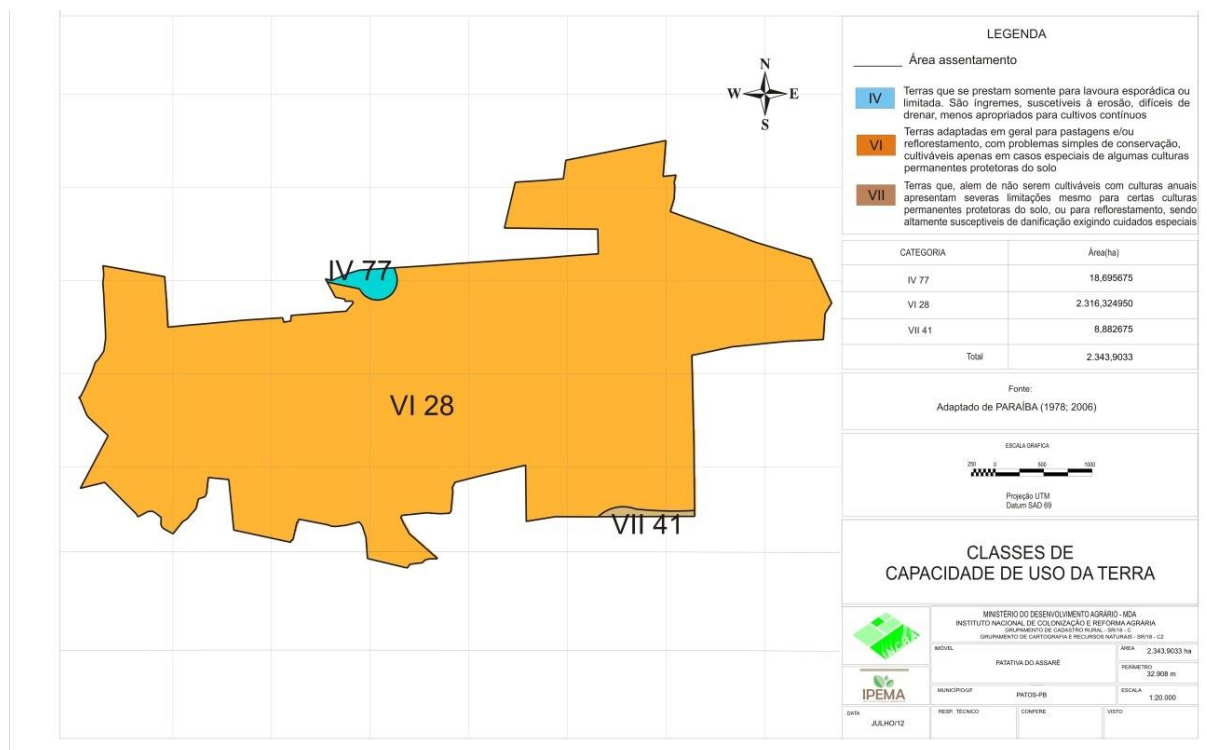


Figura 8. Mapa de classes de capacidade de uso das terras do assentamento.
Fonte: Adaptado de Francisco (2010).

Mapeamento da vegetação

Na Tabela 2 observam-se as áreas correspondentes às classes mapeadas e na Figura 9 o mapa com a espacialização das tipologias de vegetação.

Tabela 2. Áreas de ocupação em km² e porcentagem das classes de vegetação de Caatinga

| Classes | Área | |
|-----------------------------------|----------------|------------|
| | ha | % |
| Arbórea Subarbórea densa | 501,84 | 24,11 |
| Subarbórea Arbustiva densa | 255,78 | 10,46 |
| Arbustiva Subarbórea densa | 441,18 | 18,05 |
| Arbustiva Subarbórea aberta | 512,82 | 20,98 |
| Arbustiva Subarbustiva aberta | 393,12 | 16,09 |
| Subarbustiva Arbustiva rala | 121,77 | 4,98 |
| Subarbustiva Arbustiva muito rala | 11,25 | 0,46 |
| Solo exposto | 23,94 | 0,98 |
| Corpo d'água | 94,77 | 3,88 |
| Área Total | 2.343,9 | 100 |

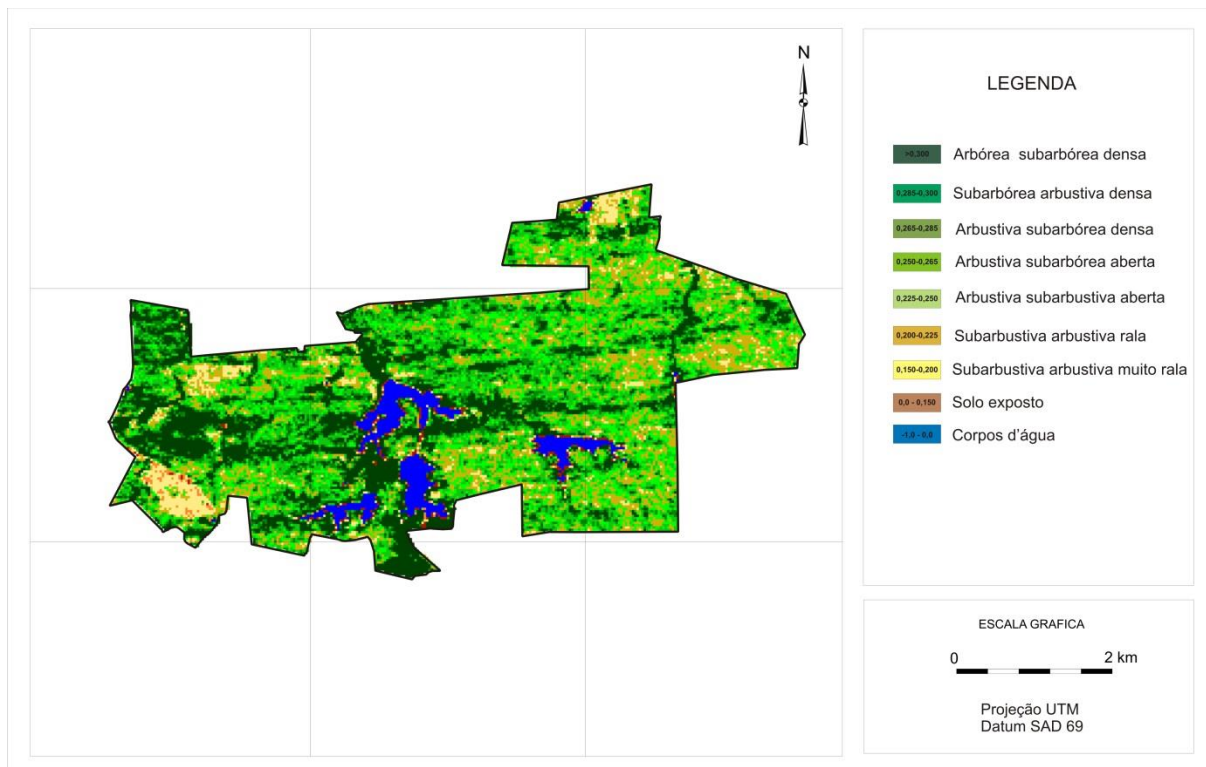


Figura 9. Mapa de tipologias de vegetação de caatinga do assentamento.

Observa-se que a ocorrência da classe Arbórea subarbórea densa em uma área de 501,84 ha, representando 24,11%, se dá em áreas próximas a drenagem e corpos d'água ao longo da área, como também em áreas planas. O mesmo ocorre com a classe Subarbórea arbustiva densa com 255,78 ha representando 10,46% da área. Conforme Francisco et al. (2013) este comportamento pode estar relacionado com a ocorrência de maior umidade nestas áreas.

As classes, solo exposto e Subarbustiva arbustiva muito rala, ocorrem em 11,25 ha e 23,94 ha respectivamente, que corresponde a 1,44% da área total. A classe de solo exposto ocorre ao longo dos corpos d'água e em áreas isoladas. Enquanto que a classe Subarbustiva arbustiva muito rala ocorre ao nordeste e ao sudeste da área.

A classe Subarbustiva arbustiva rala ocupa 121,77 ha e corresponde a 4,98% da área total, se distribui em grande parte por toda a área.

As áreas abertas com vegetação das classes Arbustiva subarbustiva aberta, com 393,12 ha e Arbustiva subarbórea aberta, com 512,82 ha, correspondem a 37,07% da área e se distribuem de forma difusa nas áreas de transição da vegetação.

Observa-se pela metodologia empregada neste trabalho que a mesma apoiaria o INCRA na tomada de decisões no processo de assentamento das famílias na definição da quantidade de famílias e nos Planos de Desenvolvimento dos Assentamentos, possibilitando facilitar o investimento no mesmo, evitando-se utilizar áreas impróprias.

Conclusão

Com o uso de geotecnologias, imagens de satélite de média resolução espacial e do NDVI foi possível classificar e mapear as tipologias de vegetação de Caatinga na área de estudo com boa precisão e agilidade, obtendo-se resultados satisfatórios.

A vegetação densa se encontra na sua maioria nas áreas de APP e observa-se a necessidade de recuperação da área de Reserva Legal.

Através deste material e da metodologia desenvolvida pode-se descrever e caracterizar o assentamento cumprindo com os objetivos propostos pelo INCRA e podendo subsidiar na elaboração de relatórios e projetos.

Agradecimentos

Ao INCRA SR-18 pela disponibilização dos dados e ao Instituto Penha e Margarida pela colaboração.

Referencias

- AGUILAR, J. M. R. E.; BITENCURTI, D. P.; GOMES, L. J. Uso do sistema de informações geográficas para análise da sobreposição entre unidades de conservação e assentamentos de reforma agrária em Sergipe. In: Simpósio Regional de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto, 5, Feira de Santana, BH. Anais...Feira de Santana, p.418-421, 2011.
- AESA. Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba. Disponível em: <http://www.aesa.pb.gov.br>. Acesso em: 25 de março de 2011.
- ALLEN, R.; BASTIAANSEN, W.; WATERS, R.; TASUMI, M.; TREZZA, R. Surface energy balance algorithms for land (SEBAL). Idaho implementation – Advanced Training and User’s Manual, 97p. 2002.
- BARBOSA, M. R. V.; LIMA, I. B. DE; LIMA, J. R.; CUNHA, J. P. DA; AGRA, M. DE F.; THOMAS, W. W. Vegetação e flora no Cariri paraibano. Oecol. Bras. v.11, n.3, p.313-322, 2007.
- COSTA FILHO, J. F. DA; FRANCISCO, P. R. M.; ANDRADE, M. V. DE; SILVA L. DA; DANTAS, R. L. Estimativa do índice de vegetação da diferença normalizada (NDVI) na microrregião de Sousa-PB utilizando imagens do CBERS-2. In: Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, 15, Aracaju-SE. Anais...Aracaju, 2007.
- ESQUERDO, V. F. DE S. Reforma agrária e assentamentos rurais: Perspectivas e desafios. Projeto Consolidação do Desenvolvimento Rural - NEAD. Instituto Interamericano de Cooperação para a Agricultura – IICA, Brasília, 2011. 25p.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. Brasília, Embrapa Produção de Informação; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1999. 412p.
- FONTENELE, A. C. F.; SANTOS, J. L. Reflexões sobre áreas protegidas nos assentamentos de reforma agrária no território da grande Aracaju. Universidade Federal de Sergipe. 21p. 2010.
- FRANCISCO, P. R. M. Classificação e mapeamento das terras para mecanização do Estado da Paraíba utilizando sistemas de informações geográficas. 122f. Dissertação (Manejo de Solo e Água). Centro de Ciências Agrárias. Universidade Federal da Paraíba. Areia, 2010.
- FRANCISCO, P. R. M.; SILVA, V. DO N.; LIMA JÚNIOR, R. M. DE; QUEIROZ, E. L. B. DE; SILVA, V. DO N. Uso da geotecnologia como ferramenta para a caracterização de assentamentos rurais. Simpósio Regional de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto - Geonordeste, 6, 2012, Aracaju. Anais...Aracaju, 2012a.
- FRANCISCO, P. R. M.; CHAVES, I. DE B.; CHAVES, L. H. G.; LIMA, E. R. V. DE. Detecção de mudança de vegetação de caatinga. Revista Brasileira de Geografia Física, v.5, n.6, p. 1473-1487. 2012b.
- FRANCISCO, P. R. M.; CHAVES, I. B.; LIMA, E. R. V.; BANDEIRA, M. M.; SILVA, B. B. Mapeamento da caatinga com uso de geotecnologia e análise da umidade antecedente em bacia hidrográfica. Revista Brasileira de Geografia Física, v.5, n.3, p.676-693. 2012c.
- FRANCISCO, P. R. M.; CHAVES, I. DE B.; CHAVES, L. H. G.; LIMA, E. R. V. DE; BRANDÃO, Z. N.; SILVA, B. B. Análise espectral e avaliação de índices de vegetação para o mapeamento da caatinga. Simpósio Regional de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto - Geonordeste, 6, 2012, Aracaju. Anais...Aracaju, 2012d.
- FRANCISCO, P. R. M. Modelo de mapeamento da deterioração do Bioma Caatinga da bacia hidrográfica do Rio Taperoá, PB. 97f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola). Centro de Tecnologia e Recursos Naturais. Universidade Federal de Campina Grande, 2013.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2009. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br>. Acesso em: 12 março de 2011.
- MALDONADO, F. D. Desenvolvimento e avaliação de uma metodologia de detecção de mudanças na cobertura vegetal do semiárido. 311p. Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto). São José dos Campos: INPE, 2005.
- PAES-SILVA, A. P.; CHAVES, I. B.; SAMPAIO, E. V. S. B. Cobertura vegetal da bacia hidrográfica do Açude Namorado no cariri oriental paraibano. Agropecuária Técnica, v.24, n.1, p.47-59, 2003.
- PAIM, R. O.; DALL’IGNA, S. F. A importância da reforma agrária: diagnóstico do assentamento Congonhas - Abelardo Luz - SC/Brasil na perspectiva do desenvolvimento socioeconômico. In: Simpósio Internacional de Geografia Agrária, 4, UFF. Niterói, RJ, 2009. Anais...Niterói, 2009.
- PARAÍBA. Secretaria de Estado da Ciência e Tecnologia e do Meio Ambiente. Agência Executiva de Gestão de Águas do Estado da Paraíba, AESA. PERH-PB: Plano Estadual de Recursos Hídricos: Resumo Executivo e Atlas. Brasília, 2006. 112p.
- PARAÍBA. Governo do Estado - Secretaria de Agricultura e Abastecimento – CEPA – PB. Zoneamento Agropecuário do Estado da Paraíba. Relatório ZAP-B-D-2146/1. UFPB-EletoConsult Ltda. Dez, 1978. 448p.

SILVA, B. B.; LOPES, G. M.; AZEVEDO, P. V. Determinação do albedo de áreas irrigadas com base em imagens LANDSAT 5-TM. Revista Brasileira de Agrometeorologia, v.13, n.2, p.11-21, 2005.

Capítulo 8**CARACTERIZAÇÃO MORFOMÉTRICA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO PARNAÍBA, PIAUÍ, BRASIL****¹Luciano Cavalcante de Jesus França****²Gerson dos Santos Lisboa****³João Batista Lopes da Silva**¹ Doutorando em Engenharia Florestal, UFLA, Lavras-MG, lucianodejesus@florestal.eng.br² Professor Adjunto II, UFSB/IHAC/CJA/Campus Jorge Amado, Itabuna-BA, gerson.lisboa@gmail.com³ Professor Adjunto III, UFSB/IHAC/CPF/Campus Teixeira de Freitas-BA, silvajbl@ufsb.edu.br**Introdução**

Os temas relacionados ao meio ambiente quando analisados do ponto de vista dos impactos, efeitos, modificações e transformações na superfície terrestre e ambiente, vem se consolidando como pressuposto de estudos e interpretações a partir das Geotecnologias espaciais, as quais propiciam processos de análise, processamento e manipulação de dados e informações acerca de pequenas e grandes áreas. Nesta perspectiva, apresentam-se os estudos de relevo, que provêm à compreensão de informações e características morfométricas.

A importância dos estudos e análises das bacias hidrográficas, sendo a caracterização morfométrica de fundamental importância para o reconhecimento da espacialidade do sistema, no que diz respeito aos seus limites externos, área, hierarquia da rede de drenagem, densidade de drenagem, gradiente de canais, comprimento da bacia, etc. (RODRIGUES & ADAMI, 2005). A caracterização morfométrica de bacias hidrográficas tem recebido grande contribuição na automatização, agilização e maior precisão na extração de informações a partir de Sistemas de Informações Geográficas (SIG), valorando a geração de Modelos Digitais de Elevação (MDE).

O MDE é uma representação digital de uma variação contínua do relevo no espaço, constituído por uma matriz de pixels e um valor de intensidade do pixel correspondente à elevação (SILVA et al., 2007). Valeriano (2003) aponta que o MDE é um exemplo prático da utilização dos Modelos Numéricos de Terreno (MNT), termo que designa a representação matemática e computacional da distribuição de um fenômeno espacial em uma dada região da superfície terrestre.

A partir de um MDE, é possível processá-lo para obter maior precisão na sua interpretação, que é a geração dos Modelos Digitais de Elevação Hidrologicamente Consistentes (MDEHC), que são representações do relevo que reproduzem com exatidão o caminho preferencial de escoamento da água superficial observado no mundo real (ELESBON et al., 2011).

O conhecimento da declividade de determinada área, é fundamental para fornecimento de subsídios informativos para o manejo adequado das atividades que ocorrem dentro da bacia hidrográfica. Segundo Saito et al. (2011), a influência está relacionada com a distribuição de água entre o escoamento superficial e subterrâneo que, por sua vez estarão diretamente relacionados com a cobertura vegetal, classe de solo e intensidade de chuvas. Estas características associadas a maior declividade, aumentam a velocidade de escoamento, reduzem a quantidade de água armazenada no solo e provocam enchentes mais pronunciadas, sujeitando a Bacia Hidrográfica à degradação. A declividade média da Bacia Hidrográfica controla, em parte, a velocidade do escoamento superficial, afetando assim, o tempo que leva para a água da chuva concentrar-se nos leitos fluviais da rede de drenagem. Com o auxílio do geoprocessamento pode-se automatizar o processo de obtenção da declividade média quando se possui um modelo digital de elevação do terreno, no qual se tem para cada célula um determinado valor de declividade (BAENA, 2002). Romanovski (2001) enfatiza que a declividade, dentre outros fatores, é relevante no planejamento, tanto para o cumprimento da legislação quanto para garantir a eficiência das intervenções do homem no meio.

Em estudos de delimitação de áreas de preservação permanente, é importante a obtenção da correta indicação da declividade, uma vez que áreas acima de 45º ou 100% de inclinação, estão protegidas por lei. (Lei 12.651/ de 25 de maio de 2012). O MDE obtido inadequadamente poderá indicar valores incorretos, e como consequência poderão ocasionar erros na aplicação da lei. Assim, a intensificação no uso dos Sistemas de Informações Geográficas (SIG) tem possibilitado o processamento, automatização e obtenção das variáveis explicativas de um relevo, a partir dos Modelos Digitais de Elevação Hidrologicamente Consistentes. Dentre as Bacias Hidrográficas existentes no Brasil, a Região

Hidrográfica do Parnaíba, localizada entre os estados do Piauí, Maranhão e Ceará, apresenta uma vasta rede hidrológica, com área de drenagem de 344.112 km², logo, com grande potencial econômico, desde a geração de energia às rendas de subsistência familiar, bem como importante papel ecológico sobre o ecossistema dos biomas cerrado e caatinga, tendo sua conformação estrutural ainda como requerente de estudos e análises espaciais, a fim de compreender relevo, altimetria, declividade, escoamento superficial, etc., bem como sanar a carência de respostas sobre a disposição e organização dos fatores hidrológicos da Região do Parnaíba. O que pode ser conhecimento e informação de fundamental importância a interferências, manejo de solo, água e floresta, ou modificações do poder público ou privado em áreas que façam parte desta região hidrográfica.

Desta forma, o presente trabalho objetiva ajustar o modelo digital de elevação e realizar a extração de características morfométricas da bacia hidrográfica do rio Parnaíba.

Material e Métodos

O trabalho foi realizado na bacia do rio Parnaíba, que se encontra na Região Hidrológica da Bacia do Atlântico Norte/Nordeste, sendo a maior bacia desta região hidrológica (Figura 1). Localizada entre os estados do Piauí, Maranhão e Ceará, a bacia do rio Parnaíba apresenta uma vasta rede hidrológica, com área de drenagem de 344.112 km². A bacia hidrográfica abrange importantes rios do estado do Piauí, tais como rio Poti, rio Parnaíba (Principal), rio Gurguéia, rio Uruçuí-Preto, rio Balsas, rio Canindé, dentre outros. O rio Gurgueia constitui um dos mais importantes afluentes do rio Parnaíba, apresentando extensa planície aluvial, formando o vale do rio Gurguéia, geralmente denominada de terras de 'baixão', em um ambiente de transição entre Cerrado e Caatinga (MORAES, 2000; PEREIRA, 2004; PFALTZGRAFF & BRANDÃO, 2010).

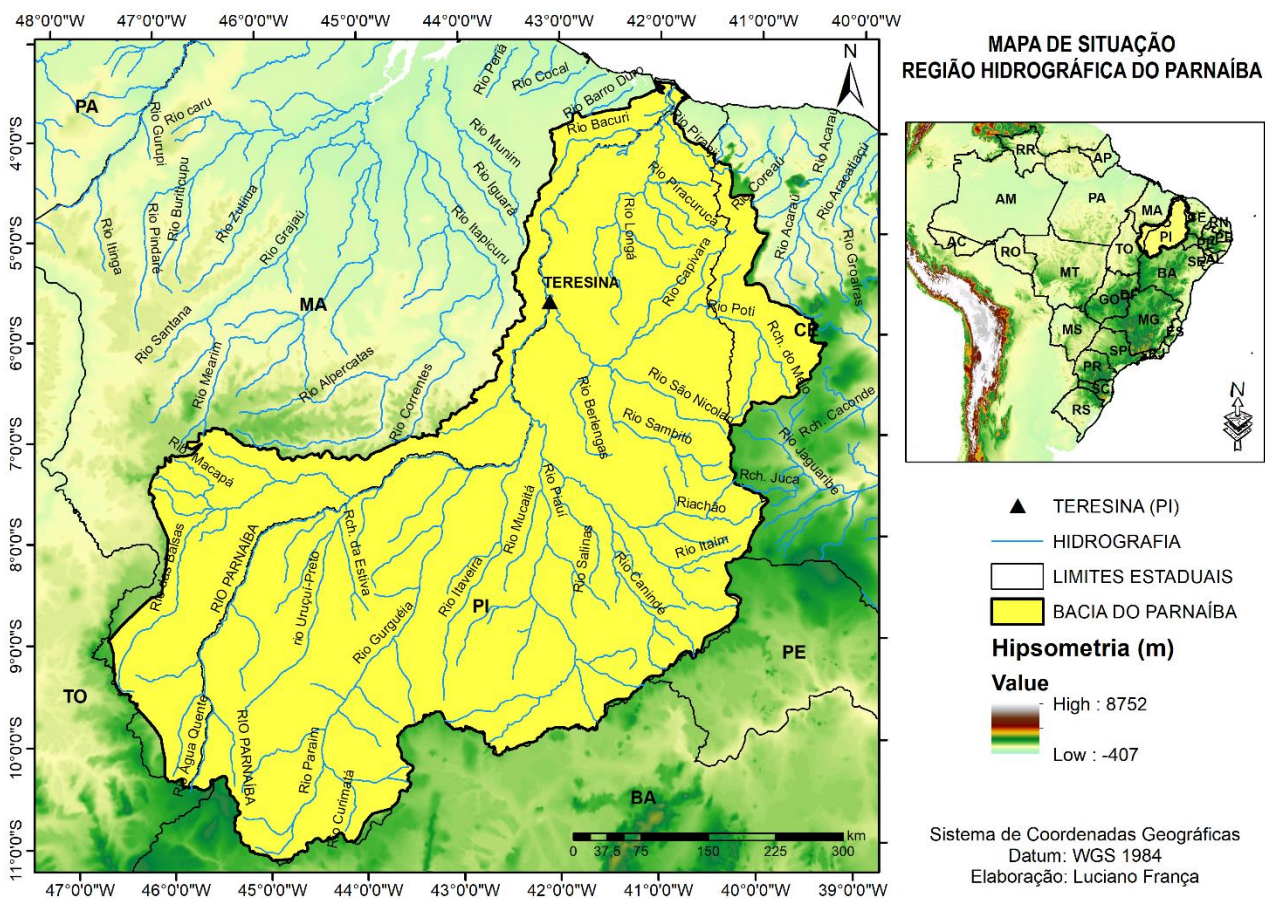


Figura 1. Mapa de localização da Bacia do Parnaíba, Piauí, com hidrografia ocorrente.

As áreas de 'baixão' apresentam grande importância econômica, devido à fertilidade de seus solos e da disponibilidade hídrica, com ocupação predominante de atividades agropecuárias, em pequenas e médias propriedades (PFALTZGRAFF & BRANDÃO, 2010).

O vale do rio Gurgueia posiciona-se, portanto, em uma alongada depressão interplanáltica, na faixa de transição do Domínio do Bioma Caatinga, com clima tropical semiárido para o Domínio do

Bioma Cerrado, com clima tropical semiúmido. A precipitação anual apresenta valores acima de 1000 mm anual no norte e sudoeste e valores inferiores a 900 mm na região central e sudeste da bacia (ANA, 2012).

A geologia da bacia hidrográfica do rio Gurguéia é composta no seu alto curso, pela formação basal da bacia sedimentar do Parnaíba, denominada de Serra Grande, da idade Siluriano, atravessa uma faixa estreita das formações devonianas Picos e Cabeças, ainda no alto curso, percorre todo o médio curso na formação Longá, do Devoniano, já o baixo curso é representado pelas formações carboníferas Poti e Piauí (COSTA et al., 1990).

Obtenção das características físicas da bacia hidrográfica

Para esta etapa foram utilizadas imagens *raster* da base SRTM (MIRANDA, 2005) contendo as informações de elevação do MDE, com resolução espacial de 90 m adquirida no sítio eletrônico da EMBRAPA – Monitoramento por Satélite.

A base topográfica, para obter as características físicas, foi o MDE. Porém, para que o MDE represente de forma ideal os processos superficiais do escoamento superficial foram realizadas diversas etapas para obtenção do MDEHC (Figura 2). Foi realizado o mosaico da área de estudo, para união das cenas do SRTM, após, foi realizada a remoção das depressões espúrias, as quais são imperfeições do modelo que não permitem o escoamento superficial progressivo, oriundas de falhas no levantamento dos dados das imagens SRTM. Após a remoção destas falhas, a partir do comando “fill”, da barra de ferramentas “*Spatial Analyst*”, de acordo com técnica utilizada por Ferreira et al. (2010) obteve-se como resultado o MDEHC (Figura 4). Quanto maior o número de depressões, maior a dificuldade do interpolador em realizar os procedimentos necessários para gerar o MDE consistente (PIRES et al., 2005). As presenças dessas depressões podem acarretar sério comprometimento do estudo hidrológico, gerando descontinuidade do escoamento. Desta forma, justifica-se o uso de um modelo digital de elevação que seja hidrológicamente consistente (MDEHC), caso contrário, terá pouca utilidade em estudos desta natureza (VERDIN & JENSON, 1996).

Após foram gerados os modelos de direção do escoamento e escoamento acumulado. Com todas as etapas realizadas obteve-se o MDHEC. Todas os procedimentos foram realizados no *Software* QGIS 2.18®.

A metodologia utilizada subdividiu-se em três etapas, sendo: a) preenchimento de depressões (“fill sinks”), b) direção de fluxo (“flow direction”), e c) fluxo acumulado (“flow accumulation”) (DIAS et al., 2004), além da obtenção da declividade e altimetria do terreno da bacia hidrográfica em estudo.



Figura 2. Etapas para geração do Modelo Digital de Elevação Hidrológicamente Consistente (MDEHC).

Direção de fluxo

A direção de fluxo define as relações hidrológicas entre pontos diferentes dentro de uma bacia hidrográfica. A continuidade topológica para as direções de fluxo é, conseqüentemente, necessária para que uma drenagem funcional possa existir. As conexões hidrológicas de direção de fluxo entre dois pontos em uma superfície não são as mesmas que aquelas baseadas em distância Euclidiana (RENNÓ et al., 2008).

A execução da função “*flow direction*” com o MDE já corrigido na etapa anterior forneceu o mapa de direção de fluxo. A direção do escoamento permite delimitar as áreas de drenagem, pois a partir de qualquer ponto pode-se obter a drenagem a montante. A partir da direção de fluxo, o fluxo acumulado é obtido somando-se a área das células (quantidade de células) na direção do fluxo (ou escoamento) (SOBRINHO, et al., 2010).

A direção de fluxo de água na rede de drenagem foi obtida pela função “*flow direction*”, que gera uma grade regular definindo as direções de fluxo, tomando-se por base a linha de maior declividade do terreno.

A nova grade numérica gerada determina a direção de maior declividade de um “pixel” em relação a seus oito “pixels” vizinhos. Assim, ocorre a descrição numérica da direção que a água irá percorrer após atingir cada “pixel”, que pode ser representada graficamente por meio da aplicação do código de direção (SOBRINHO et al., 2010), conforme exemplificado na Figura 3.

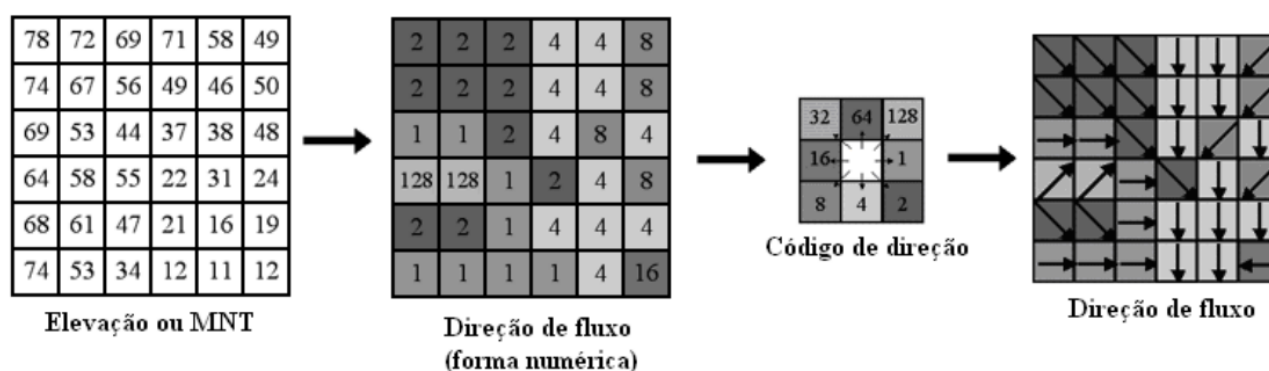


Figura 3. Modelo de execução da função “*flow direction*”. Fonte: ESRI (2008).

Fluxo de escoamento acumulado

O fluxo acumulado representa a rede hidrográfica, sendo possível montar nova grade contendo os valores de acúmulo de água em cada “pixel”. Desse modo, cada “pixel” recebe um valor correspondente ao número de “pixels” que contribuem para que a água chegue até ele (MENDES & CIRILO, 2001). A partir da direção de fluxo, o fluxo acumulado é obtido somando-se a área das células (quantidade de células) na direção do fluxo (ou escoamento).

Características morfométricas

A partir do MDEHC foram calculadas as seguintes características morfométricas da bacia: área de drenagem da bacia hidrográfica a partir da direção do escoamento; perímetro; altitude máxima, mínima e média da bacia; declividade máxima, mínima e média; mapa de declividades da bacia; densidade de drenagem; fator de forma; hierarquia fluvial; comprimento total da drenagem. As declividades foram classificadas de acordo com EMBRAPA (1979) (Tabela 1).

Tabela 1. Cotas de declividade indicadas pela Embrapa (1979)

| Declividade | Porcentagem |
|------------------|--------------|
| Plano | 0 a 3 % |
| Suave ondulado | 3 a 8 % |
| Ondulado | 8 a 25 % |
| Forte ondulado | 20 a 45 % |
| Montanhoso | 45 a 75% |
| Forte-montanhoso | Acima de 75% |

Resultados e Discussão

Modelo digital de elevação e declividade do terreno

Após aquisição de dados e processamentos para obtenção do Mosaico, foi executada a geração do MDE, a partir do interpolador “Topo to Raster”, observou-se o surgimento das depressões espúrias, sendo encontradas, 1.445.807 em toda área de estudo (Figura 4).

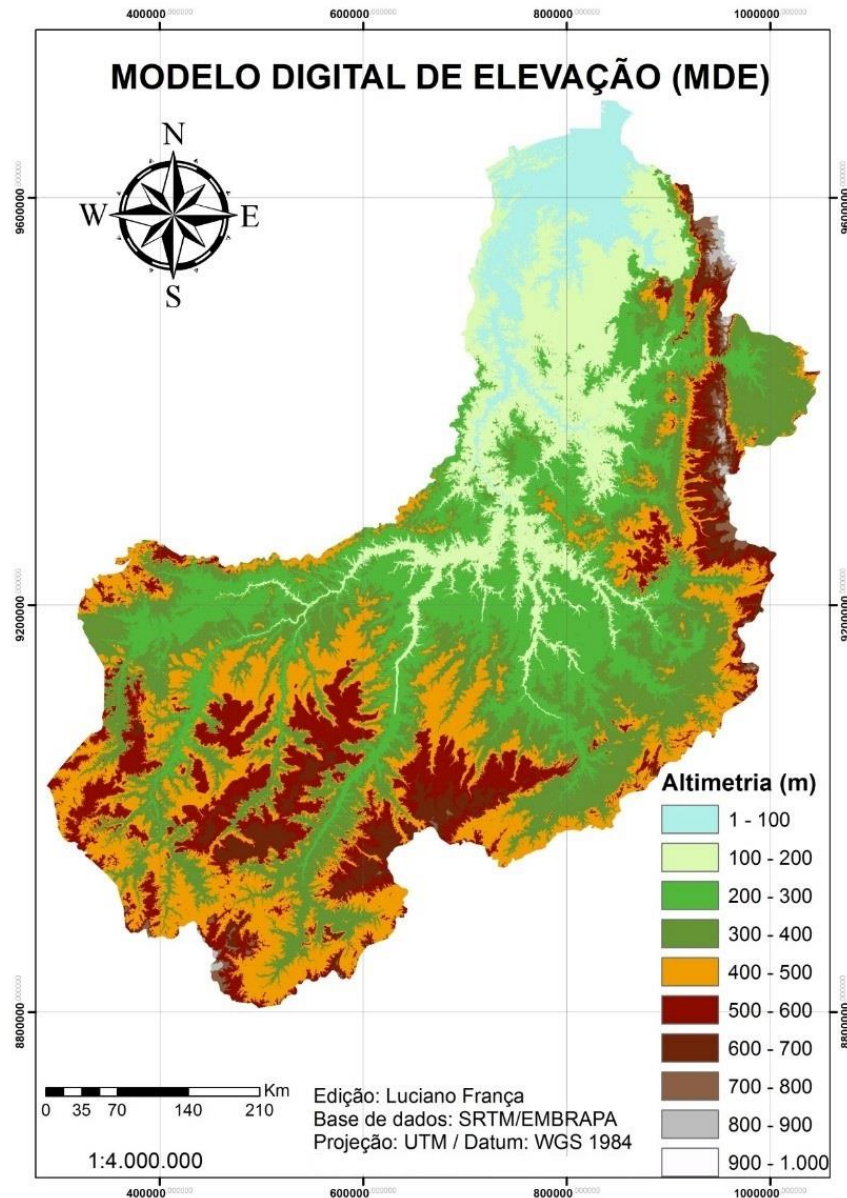


Figura 4. Modelo Digital de Elevação Hidrologicamente Consistente (MDEHC) para a área de Estudo.

Após a geração e análise do MDEHC foram obtidas as cotas de declividade (Figura 5 e Tabela 2). De acordo com as definições da EMBRAPA, as cotas de declividades foram organizadas de acordo com as informações apresentadas na Tabela 1.

Na bacia do Parnaíba observou-se de forma geral em sua composição, um relevo suave ondulado, sobretudo, na região Sul da bacia hidrográfica compreendida entre Maranhão e Piauí, com a maior parte em território piauiense, observa-se o relevo variando com gradiente entre regiões Planas, que fazem referência aos Cerrados com cultivos agrícolas, forte atividade no Sul do estado, e a presença de pequenas áreas variando entre Forte Ondulado à Forte montanhoso, que corroboram com as declividades íngremes entre o Cerrado plano, apto ao monocultivo agrícola mecanizado, e as áreas conhecidas por ‘baixões’, regiões abaixo das áreas de declividade plana. Na Tabela 2 são apresentadas as áreas em km² referente a cada classificação de declividade, observando-se que a maior quantidade da área da bacia hidrográfica variou entre plano à ondulado.

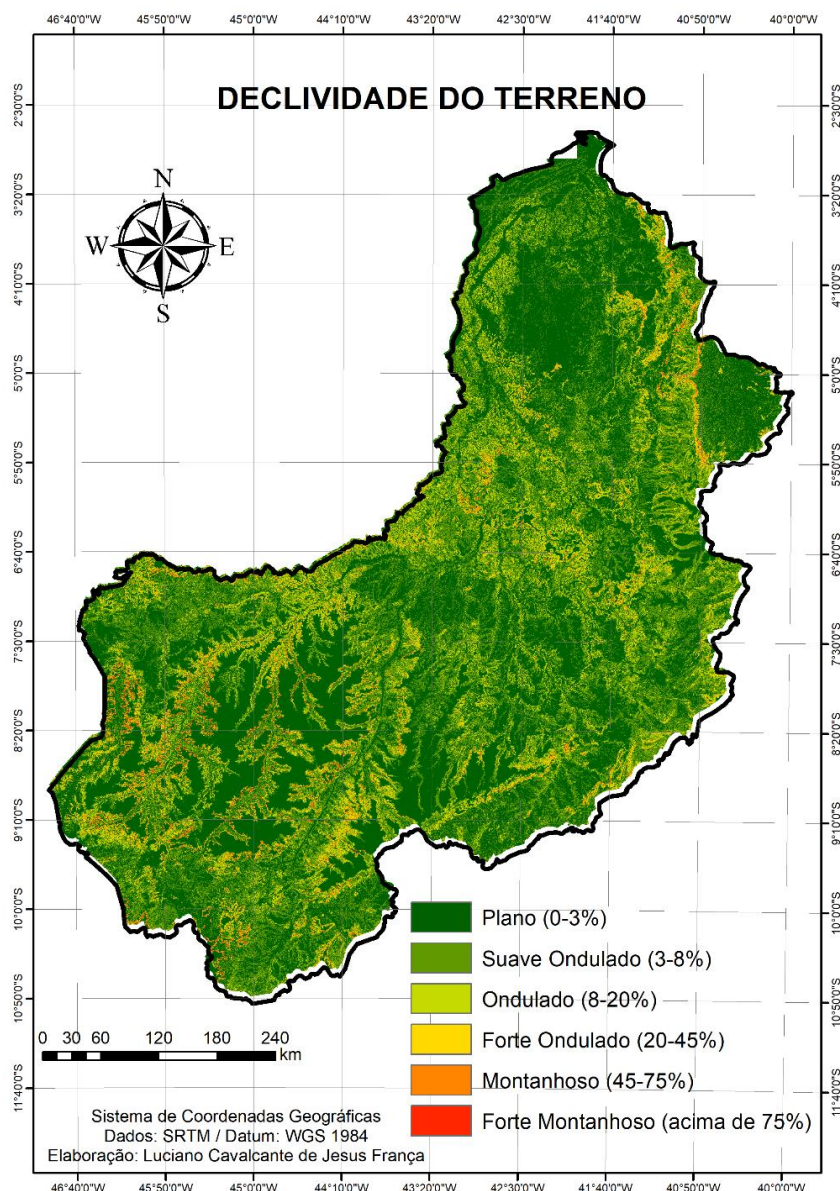


Figura 5. Mapa de declividade da Bacia Hidrográfica do Parnaíba, obtido por meio do Modelo Digital de Elevação Hidrologicamente Consistente (MDEHC).

Tabela 2. Declividade média do terreno na bacia do Parnaíba

| Declividade | Declividade (%) | Área (km ²) | Área (%) |
|------------------|-----------------|-------------------------|----------|
| Plano | 0 a 3 % | 96.351,36 | 28,00% |
| Suave ondulado | 3 a 8 % | 65.381,28 | 19,00% |
| Ondulado | 8 a 25 % | 113.556,96 | 33,00% |
| Forte ondulado | 20 a 45 % | 35.852,32 | 10,42% |
| Montanhoso | 45 a 75% | 6.882,24 | 2,00% |
| Forte-montanhoso | Acima de 75% | 20.646,72 | 6,00% |

Mapa de direção de fluxo e fluxo acumulado

A partir do MDEHC, foi possível a obtenção do mapa de Direção do Fluxo de escoamento da água nas vertentes, assim como da visualização do relevo e direções das vertentes na paisagem, conforme apresentado na Figura 6. Como resultado é gerado um arquivo *raster* onde cada pixel é identificado por um código que indica seu sentido de drenagem (BUARQUE et al., 2008). Obteve-se ainda o mapa de Fluxo Acumulado, aonde observa-se a confluência do escoamento e pode ser associado ao fator comprimento de rampa aplicado em duas dimensões.

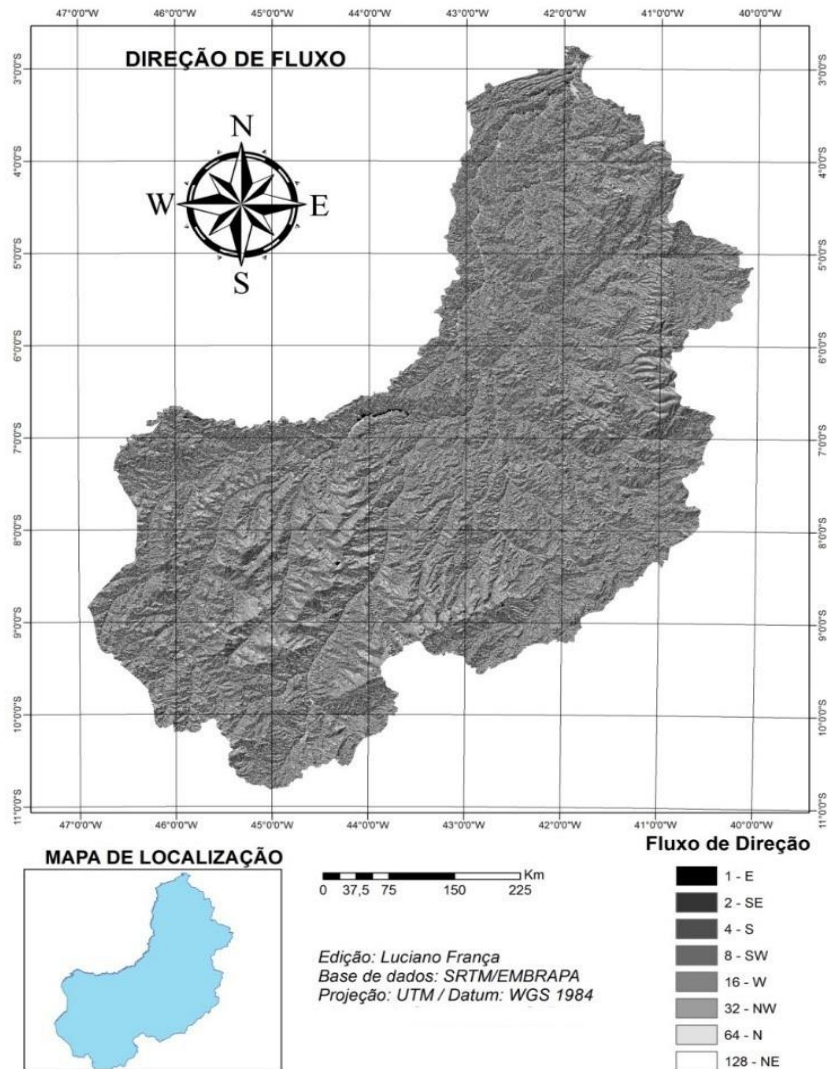


Figura 6. Mapa de direção de fluxo da bacia do Parnaíba, Piauí.

A Figura 7 apresenta o fluxo acumulado da bacia hidrográfica do Parnaíba, sendo possível observar a formação dos caminhos preferenciais de fluxo que originam a rede hidrográfica. A visualização dos principais rios da bacia é possível a partir do escoamento acumulado, pois estes acumulam maior quantidade de escoamento contribuinte dos rios menores, analogamente o MDEHC faz isto com as células, indicando os principais rios da bacia.



Figura 7. Mapa do fluxo acumulado na bacia do Rio Parnaíba.

Na Tabela 3, apresenta-se os resultados da caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do rio Parnaíba. A área de drenagem encontrada foi de 327.130 km², e perímetro de 3.567,13 km. As declividades mínima, média e máxima foram 0, 72,05 e 143,53%, respectivamente. A altitude máxima da bacia é de 1.000 metros.

Tabela 3. Atributos morfométricos e fisiográficos caracterizados na Bacia Hidrográfica do Parnaíba

| Atributos | Valores |
|------------------------------------|--------------------------|
| Área da Bacia (A) | 327.130 km ² |
| Perímetro (P) | 3.567,13 km |
| Comprimento Total da Drenagem (Lt) | 61.479,83 km |
| Densidade de Drenagem (Dd) | 1,879 km/km ² |
| Fator de Forma (F) | 0,35 |
| Ordem da Bacia | 7 ^a |
| Declividade mínima | 0,00% |
| Declividade média | 72,05% |
| Declividade máxima | 143,53% |
| Altitude mínima (h) | 1 m |
| Altitude média (Hm) | 495 m |
| Altitude máxima (H) | 1.000 m |

A densidade de drenagem encontrada na bacia do Parnaíba, foi de $1,879 \text{ km/km}^2$. O que segundo Villela e Mattos (1975), esse índice pode variar de $0,5 \text{ km/km}^2$ em bacias com drenagem pobre, a $3,5 \text{ km/km}^2$, ou mais, em bacias bem drenadas, indicando assim que a bacia do Parnaíba, possui de razoável a boa capacidade de drenagem.

A forma da bacia hidrográfica, é determinada por índices que relacionam com formas geométricas conhecidas (TONELLO et al., 2006), dentre elas, o Fator de Forma (F). A forma superficial de uma bacia hidrográfica é importante na determinação do tempo de concentração, nomeadamente o tempo necessário para que toda a bacia contribua para a sua saída após uma precipitação. (VILLELA & MATTOS, 1975). O Fator de Forma da área de estudo foi de 0,35, indicando que a bacia não possui formato ao de uma circunferência, correspondendo a uma bacia relativamente alongada, conforme encontrado por estudos desenvolvidos por Filho et al. (2013) e Tonello et al. (2006).

Hierarquia de Drenagens

Em relação a caracterização da rede de drenagem da bacia do Parnaíba, constatou-se uma hierarquia fluvial de 7ª ordem (Figura 8; Tabela 4).

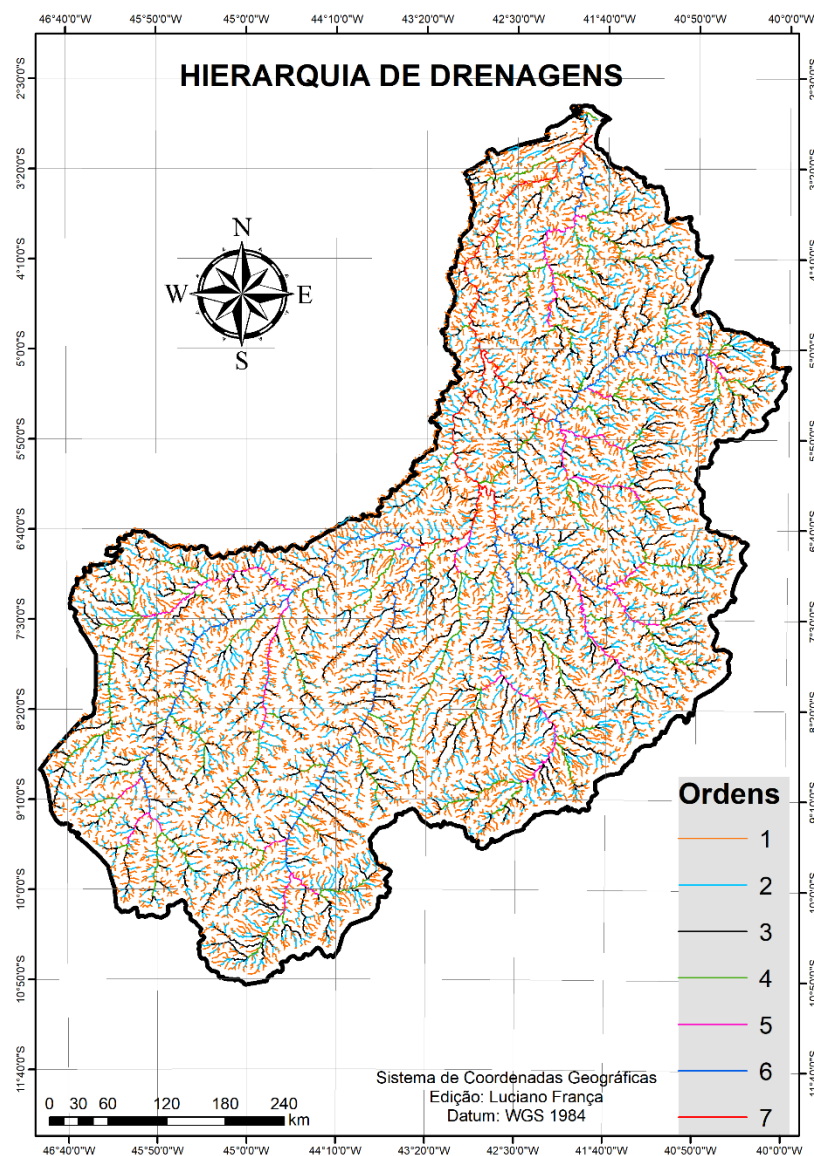


Figura 8. Mapa da Hierarquia de Drenagens (Fluvial) da bacia do Rio Parnaíba.

Tabela 4. Comprimento dos segmentos de drenagem (rios) de acordo com a ordem de drenagem de acordo com a metodologia Strahler (1952)

| Hierarquia de Drenagens da Bacia do Parnaíba | |
|--|------------------|
| Ordens de Drenagens | Comprimento (km) |
| 1 | 33.882,84 |
| 2 | 16.383,78 |
| 3 | 8.758,89 |
| 4 | 4.076,28 |
| 5 | 1.533,96 |
| 6 | 1.420,47 |
| 7 | 337,32 |

A hierarquia de drenagens ou hierarquia fluvial, consiste no processo de se estabelecer a classificação de determinado curso d'água. Conforme desenvolvido por Strahler (1952), onde os rios são classificados da seguinte forma: são considerados de 1ª ordem os pequenos canais que não tenham tributários; quando dois canais de 1ª ordem se unem é formado o de 2ª ordem. A junção de dois rios de 2 a ordem forma o de 3ª ordem, e assim sucessivamente. Deste modo, a ordem do rio principal mostra a extensão da ramificação da bacia, destaca Santiago *et al*, (2015).

Vitte e Villela Filho (2006), pautados pelos conceitos de Christofolletti (1980), destacam que quanto maior a participação percentual de canais de primeira ordem, maior deverá ser a fragilidade potencial do relevo, pois a drenagem de primeira ordem indica uma maior instabilidade do ambiente, uma vez que a mesma representa os setores de desenvolvimento das bacias de drenagem e onde os processos morfodinâmicos associados à dissecação são mais intensos.

Na área de estudo em questão, os canais de primeira ordem configuram-se associados principalmente às zonas de maiores altitudes, uma vez que correspondem as nascentes cujo volume de água ainda é baixo. Vitte e Mello (2013) observaram para a bacia hidrografia do rio Verde (SP), as maiores cotas altimétricas e o maior número de canais de primeira ordem, que conseqüentemente configuram uma maior susceptibilidade e/ou vulnerabilidade a processos morfogenéticos.

A bacia apresentou maior distribuição espacial para leitos fluviais de 1ª ordem, aqueles que se estendem desde a nascente até à confluência, com somatória do comprimento total de 33.822,84 km, e os menores comprimentos de canais para as hierarquias de 6ª e 7ª ordens, com 1.420,47 km e 337,32 km, respectivamente.

Conclusão

A partir do MDEHC foi possível extrair as informações das características morfométricas da bacia com maior rapidez.

O SIG possibilitou ainda a obtenção direta das variáveis morfométricas referentes a região em estudo, contribuindo adequadamente para geração do Modelo Digital de Elevação da Bacia Hidrográfica do Parnaíba, próximo à realidade da área de estudo.

A partir das considerações levantadas neste trabalho, espera-se o desenvolvimento de novas investigações mais detalhadas e quantitativas, considerando novas variáveis da organização estrutural da paisagem, de modo a ampliar o entendimento dos processos geomorfológicos presentes na paisagem da bacia do Parnaíba.

Referências

- ANA. Agência Nacional de Águas. Hidroweb - Sistemas de Informações Hidrológicas. 2012. Disponível em: <<http://hidroweb.ana.gov.br>>. Acesso em: 02 de maio de 2014.
- BAENA, L. G. N. Regionalização de vazões para a bacia do rio Paraíba do Sul, a montante de Volta Redonda, a partir de modelo digital de elevação hidrológicamente consistente. 136p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2002.
- BUARQUE, D. C.; PAZ, A. R.; COLLISCHONN, W. Extração automática de parâmetros físicos de bacias hidrográficas a partir do MNT para utilização em modelos hidrológicos. Anais do II Simpósio de Recursos Hídricos do Sul-Sudeste. Rio de Janeiro, 21p. 2008.
- CHRISTOFOLETTI, A. Geomorfologia. São Paulo: Edgard Blücher, 1980.

- COSTA, W. D.; FEITOSA, F. A. C.; COSTA FILHO, W. D. Exploração do aquífero cabeças para irrigação no vale do Gurguéia - PI. Revista Águas Subterrâneas, n.13, 1990.
- ELESBON, A. A. A.; GUEDES, H. A. S.; SILVA, D. D.; OLIVEIRA, I. de C. Uso de dados SRTM e plataforma SIG na caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do Braço Norte do Rio São Mateus – Brasil. Revista Escola de Minas, Ouro Preto, v.64, n.3, p.281-288, 2011.
- FERREIRA, G. M.; ALMEIDA, M. M.; SILVA, P. A. B.; MENDONÇA, A. S. F. Utilização de modelo digital de elevação hidrologicamente consistente na obtenção de características morfológicas de bacias hidrográficas. In: XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Maceió, 2010.
- FILHO, G. M. M.; MACIEL, G. F.; DIAS, R. R. FILHO, L. N. L. M.; REZENDE, C. S. A.; FIGUEROA, F. E. V.; OLIVEIRA, L. M. Avaliação de características morfométricas da bacia hidrográfica do Rio Formoso – TO. Revista de Ciências Ambientais, v.7, n.1, 2013.
- MIRANDA, E. E.; (Coord.). Brasil em Relevo. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2005. Disponível em: <<http://www.relevobr.cnpem.embrapa.br>>. Acesso em: 23 fev. 2016.
- MOREAS, M. D. C. Memórias de um sertão desencantado: Modernização agrícola, narrativas e atores sociais nos cerrados do sudoeste piauiense. 481p. Tese (Doutorado em Ciências Sociais), Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2000.
- PEREIRA, F. C. A sustentabilidade da agricultura familiar no vale do Gurguéia-PI: Construção de Novas identidades socioprofissionais. 262p. Tese (Doutorado em Sociologia), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.
- PFALTZGRAFF, F. S. M. T.; BRANDÃO, R. L. Geodiversidade do estado do Piauí. Recife: CPRM, 2010. 260p.
- PIRES, J. M.; NASCIMENTO, M. C.; SANTANA, R. M.; RIBEIRO, C. A. A. S. Análise da exatidão de diferentes métodos de interpolação para geração de modelos digitais de elevação e obtenção de características morfométricas em bacias hidrográficas. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre, v. 10, n. 2, p.39-47, 2005.
- RENNÓ, C. D.; NOBRE, A. D.; CUARTAS, L. A.; SOARES, J. V.; HODNETT, M. G.; RODRIGUES, C.; ADAMI, S. Técnicas fundamentais para o estudo de Bacias Hidrográficas. In: VENTURI, L. A. B. (org.). Praticando Geografia: técnicas de campo e laboratório em Geografia e análise ambiental. São Paulo: Oficina de Textos, 2005. Cap. 9, p.147-166.
- ROMANOVSKI, Z. Morfologia e aspectos hidrológicos para fins de manejo de microbacia da Rua Nova, Viçosa-MG, para fins de manejo. 99p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal). Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal. Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, 2001.
- SAITO, N. S. Modelos digitais de elevação na sub-bacia hidrográfica do córrego Horizonte Alegre – Espírito Santo. Dissertação. Pós-Graduação em Ciência Florestal. Universidade Federal do Piauí – UFPI, 2011.
- SANTIAGO, C. M. C.; GOMES, L. C. F.; SALES, M. C.L.; PAULA, J. E. A. Arranjo Espacial da Bacia Hidrográfica do Rio São Nicolau-Piauí a partir da análise morfométrica e dos aspectos ambientais. Revista Brasileira de Geografia Física. V.8, n.2, p. 402-421, 2015.
- SILVA, M. P.; MOREIRA, M. C.; LATUF, M. O.; ANJO, C. S. Geração de modelo digital de elevação e obtenção automática hidrografia da bacia do Rio Grande. Universidade Federal da Bahia. Instituto de Ciências Ambientais e Desenvolvimento Sustentável, 2007.
- STRAHLER, A. N. Quantitative analysis of watershed geomorphology. New Haven: Transactions: American Geophysical Union 38, 913-920, 1957.
- TEODORICO, A. S.; OLIVEIRA, P. T. S.; RODRIGUES, D. B.B.; AYRES, F. M. Delimitação automática de bacias hidrográficas utilizando dados SRTM. Engenharia Agrícola, v. 30, n. 1, p.46-57, 2010.
- TOMASELLA, J.; WATERLOO, M. J. HAND, a new terrain descriptor using SRTM-DEM: Mapping terra-firme rainforest environments in Amazonia. Remote Sensing of Environment, v.112, n.9, p.3469-3481, 2008.
- TONELLO, K. C.; DIAS, H.C.T.; SOUZA, A. L.; RIBEIRO, C. A.S.; LEITE F. P. Morfometria da bacia hidrográfica da cachoeira das pombas, Guanhães – MG. R. Árvore, v.30, n.5, p.849-857, 2006.
- VALERIANO, M. de M. Dados topográficos. In: FLORENZANO, T. G. Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais. São Paulo: Oficina de Textos, 2008. Cap.3, p.72-104.
- VERDIN, K. L.; JENSON, S. K. Development of continental scale digital elevation models and extraction of hydrographic features. In: International Conference. Workshop on integrating GIS and environmental modeling, Santa Fé, 1996.
- VILLELA, S. M.; MATTOS, A. Hidrologia aplicada. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 245p. 1975.

- VITTE, A. C.; MELLO, J. P. Mapeamento da fragilidade ambiental na bacia do rio Verde, Região Nordeste do estado de São Paulo, Brasil. GEOUSP – Espaço e Tempo, n.35, p. 192-222, 2013.
- VITTE, A. C.; VILELA FILHO, L. R. A urbanização, a fragilidade potencial do relevo e a produção do risco na bacia hidrográfica do Córrego Proença, município de Campinas, Brasil. Territorium: Rev. Portuguesa de riscos, prevenção e segurança. n. 13, p. 105-114, 2006.

Capítulo 9**EVOLUÇÃO ESPAÇO-TEMPORAL DA VEGETAÇÃO EM REGIÃO SEMIÁRIDA****¹Douglas Alberto Oliveira Silva****²Jhon Lennon Bezerra da Silva****³José Diorgenes Alves Oliveira****⁴Pedro Henrique Dias Batista****⁵Pabrcio Marcos Oliveira Lopes****⁶Geber Barbosa de Albuquerque Moura**

¹Ms. em Engenharia Agrícola, Universidade Federal Rural de Pernambuco - UFRPE, Recife, Pernambuco, douglasalbertosilva@hotmail.com

^{2,3,4}Doutorando em Engenharia Agrícola, Universidade Federal Rural de Pernambuco - UFRPE, Recife, Pernambuco, jhonlennoigt@hotmail.com; josediorgenes@gmail.com; giga_pedro@hotmail.com

⁵Dr. em Sensoriamento Remoto, Professor da Universidade Federal Rural de Pernambuco, Departamento de Agronomia - DEPA/UFRPE, Recife, Pernambuco, pabrciope@gmail.com

⁶Dr. em Oceanografia, Prof. da Universidade Federal Rural de Pernambuco, Departamento de Agronomia - DEPA/UFRPE, Recife, Pernambuco, geber@depa.ufrpe.br

Introdução

O Semiárido é uma das regiões mais afetadas pela ação antrópica, o uso do solo e as mudanças na cobertura da superfície afetam direta ou indiretamente a dinâmica do solo-atmosfera. As alterações na cobertura do solo por uso antrópico não implicam necessariamente na degradação do solo, no entanto, muitos padrões dessas mudanças podem afetar negativamente a biodiversidade, recursos hídricos e o balanço de energia à superfície (RIEBSAME et al., 1994).

A detecção de mudanças no uso do solo é crucial para uma melhor compreensão da dinâmica das alterações na cobertura do solo (TURNER & RUSCHER, 2004). Atualmente, as técnicas de sensoriamento remoto a partir dos dados de satélites sobre os recursos naturais são aplicáveis para estudos nesse sentido (YUAN et al., 2005). Nos últimos anos, com o avanço das geotecnologias, tornou-se possível o monitoramento de grandes áreas dos diversos biomas existentes no mundo (SILVA, 2016). Contudo, a aplicação de dados orbitais possibilita estudar as mudanças na cobertura da terra em escala espacial e temporal, a baixo custo e com melhor precisão (KACHHWALA, 1985).

As imagens de índices de vegetação e de albedo da superfície são influenciadas pela precipitação antes da passagem do satélite, que pode mascarar a variabilidade espacial destes parâmetros e na interpretação da mudança do uso e cobertura da terra em datas distintas. Os dados de precipitação das estações meteorológicas podem ser utilizados para analisar a interferência desta nos produtos de satélite: índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI), albedo e temperatura da superfície. Com isso, é possível entender o grau de influência da água acumulada nas imagens de refletância espectral, antes da passagem do satélite, para melhorar a descrição dos parâmetros físicos e biofísicos na detecção e classificação de mudanças do uso e cobertura da terra (SANTOS, 2005).

O sistema agropastoril exerce uma grande pressão sobre a cobertura vegetal na Caatinga e essa pressão varia de intensidade em função da localização, estrutura e tamanho das áreas utilizadas. Essas atividades antrópicas vêm potencializando a intensificação das mudanças na cobertura e uso da terra na região *semiárida do Brasil*. Atualmente, o bioma apresenta 1% de área protegida por Unidade de Conservação de Proteção Integral (UCs) e 6,4% de área protegida por Unidade de Conservação de Uso Sustentável. Para minimizar o problema, os órgãos federais e estaduais vêm desenvolvendo ações para criação de novas UCs de forma a obter representação significativa de todas as tipologias vegetais da caatinga. Dentre as áreas prioritárias sugeridas para a criação de UCs, o município de Petrolina está inserido, pois o mesmo apresenta pressão antrópica elevada, devido as áreas de irrigação e de agricultura de sequeiro (PESSOA, 2008).

O monitoramento das áreas de UCs pode ser feito utilizando imagens de satélite que proporcionam uma visão geral, além de possibilitar um monitoramento temporal, propiciando um fortalecimento da proteção desse bioma (PESSOA, 2008). A identificação de áreas antrópicas, como também na fiscalização e combate a desmatamentos ilegais nesse bioma, permite uma maior eficiência das políticas públicas voltadas à conservação e uso sustentável do bioma no município de Petrolina-PE.

Assim sendo, objetiva-se com o presente estudo avaliar e detectar mudanças na cobertura do solo ocorridas em região semiárida por sensoriamento remoto utilizando imagens orbitais do satélite Landsat.

Material e Métodos

A área de estudo selecionada foi o município de Petrolina-PE ($7^{\circ}37'35''\text{S}$ a $9^{\circ}43'56''\text{S}$; $41^{\circ}12'11''\text{O}$ a $39^{\circ}7'27''\text{O}$; altitude média de 370m), a região em estudo abrange o retângulo envolvente pertencente a Mesorregião do São Francisco Pernambucano, estando à aproximadamente 714 km da capital Recife. De acordo com a classificação de Köppen, o município encontra-se em uma região climática do tipo BSwH – semiárido (quente e seco), com a ocorrência de duas estações bem definidas: estação seca entre os meses de maio a outubro e estação chuvosa entre os meses de novembro a abril. Apresenta uma precipitação pluviométrica média de 431,8 mm/ano, concentradas em um único período do ano e com uma distribuição espacial irregular, temperatura média anual de $26,4^{\circ}\text{C}$ e umidade relativa do ar de 58% (SILVA et al., 2005). A Figura 1 apresenta a localização espacial da área de estudo a partir de uma imagem orbital do satélite Landsat 8 OLI em cor natural na composição RGB432.

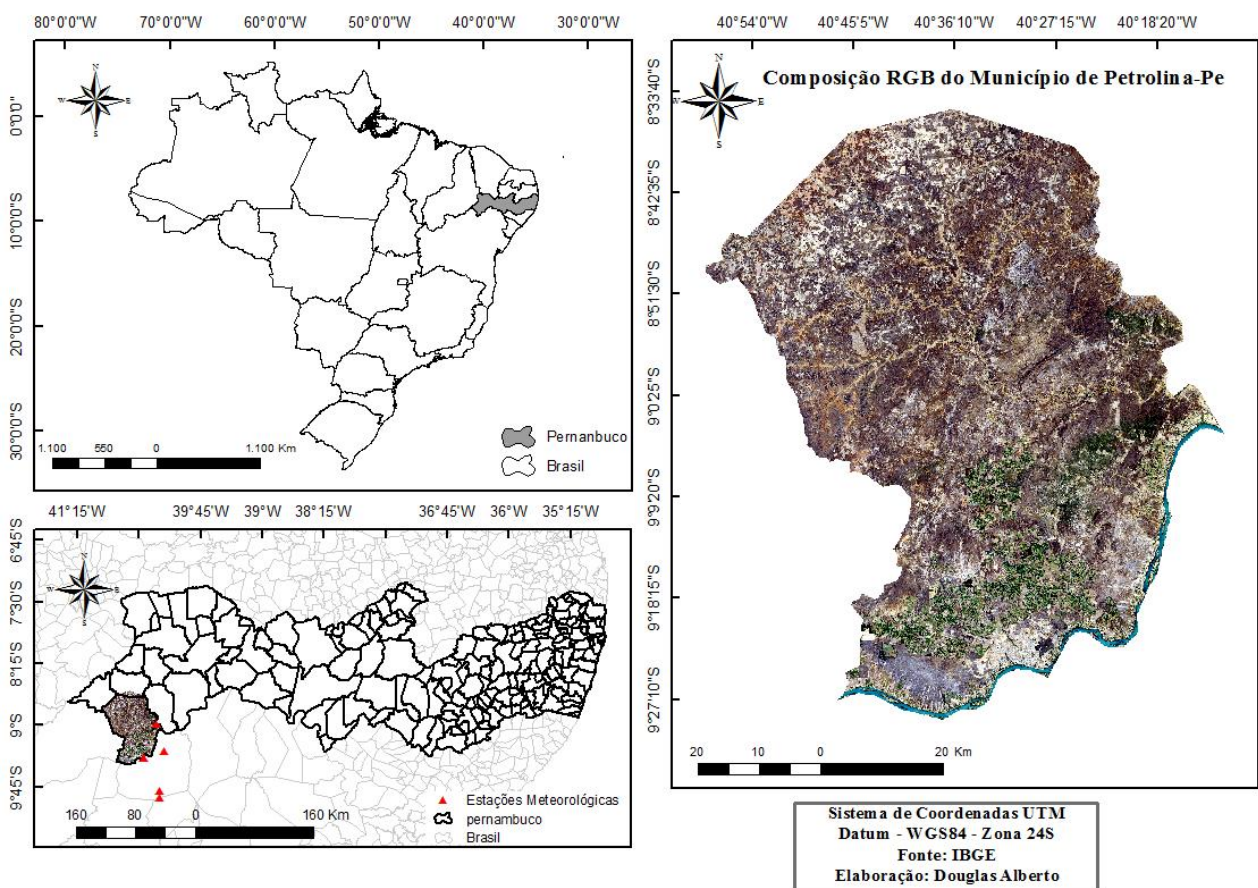


Figura 1. Mapa de localização espacial do município de Petrolina, Pernambuco, Brasil e das estações meteorológicas automáticas.

O período chuvoso vai de maio a junho, com maior precipitação em maio. Apresenta uma precipitação pluviométrica entre de 500 e 700mm com uma distribuição espacial irregular, a temperatura oscila pouco, com médias anuais de 25°C , ultrapassando 27°C nos meses mais quentes, e caindo para 20°C , nos meses mais frios (INPE, 2001).

Coletou-se dados diários da precipitação, temperatura e umidade relativa do ar registrados por quatro estações meteorológicas automáticas e uma convencional localizadas no município de Petrolina e vizinhança pertencentes ao Instituto Nacional de Meteorologia - INMET (www.inmet.gov.br), Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos - CPTEC (www.cptec.in.br) e Agência Pernambucana de Águas e Clima - APAC (www.apac.pe.gov.br) entre o período de 1993 a 2016. As coordenadas geográficas das estações meteorológicas automáticas e da convencional encontram-se na Tabela 1.

Tabela 1. Coordenadas geográficas das estações meteorológica automática e convencional

| Estação | Tipo de estação | Latitude | Longitude | Altitude |
|----------------------|-----------------|-----------------|------------------|----------|
| Petrolina - INMET | Automática | 9° 22' 45,12" S | 40° 28' 47,25" W | 373m |
| Petrolina - PCD | Automática | 9° 9' 0" S | 40° 22' 1,2" W | 370m |
| Petrolina - UNIVASF | Automática | 9° 19' 28" S | 40° 33' 34" W | 379m |
| Juazeiro - Mandacaru | Convencional | 9° 24' 0" S | 40° 26' 0" W | 371m |
| Juazeiro - UNIVASF | Automática | 9° 26' 56" S | 40° 31' 27" W | 368m |

Os totais anuais foram utilizados para selecionar os anos extremos de precipitação utilizando o Índice de Anomalias de Chuvas (IAC) proposto por Van Rooy (1965), e posteriormente adaptado por Freitas (1998), a fim da obtenção das anomalias positivas e negativas (Equações 1 e 2):

$$IAC = 3 \times \left[\frac{N - \bar{N}}{M - \bar{N}} \right] \quad (1)$$

$$IAC = -3 \times \left[\frac{N - \bar{N}}{X - \bar{N}} \right] \quad (2)$$

Em que: N - precipitação anual atual (mm), \bar{N} - precipitação média da série histórica (mm), M - média das dez maiores precipitações anuais da série histórica (mm), e X - média das dez menores precipitações anuais da série histórica (mm).

A partir dos valores encontrados, o regime de chuva foi classificado de acordo com a metodologia do IAC apresentada na Tabela 2. Para realização dos estudos no município em termos de IAC, foi utilizada a classificação elaborada por Van Rooy (1965) para os anos secos e chuvosos. A classificação é feita de acordo com os valores registrados para o IAC (Tabela 2).

Tabela 2. Classificação da pluviosidade segundo o IAC

| Índice de Anomalia de Chuva (IAC) | Classificação Pluviométrica |
|-----------------------------------|-----------------------------|
| Maior que 4 | Extremamente chuvoso (EC) |
| Entre 2 e 4 | Muito chuvoso (MC) |
| Entre 0 e 2 | Chuvoso (C) |
| 0 | Nem Chuvoso Nem Seco |
| Entre 0 e -2 | Seco (S) |
| Entre -2 e -4 | Muito Seco (MS) |
| Menor que -4 | Extremamente Seco (ES) |

Os modelos de regressão múltiplas, foram utilizados para relacionar os valores estimados de ρ_4 , ρ_5 , albedo, SAVI, NDVI e temperatura (variáveis independentes) com os valores acumulados de precipitação (PAC) medidas em cinco estações meteorológicas automáticas condicionadas a significância do modelo (coeficiente de determinação e correlação) de probabilidade menor que 5% e o erro padrão de estimativa baixo. Os valores de PAC estimados por modelo de regressão linear múltipla baseado em dados espectrais e meteorológicos é dado pela Equação 3:

$$Y_i' = \alpha + X_1 \cdot \beta_1 + X_2 \cdot \beta_2 + X_3 \cdot \beta_3 + X_4 \cdot \beta_4 + X_5 \cdot \beta_5 + X_6 \cdot \beta_6 + \varepsilon \quad (3)$$

Em que: Y_i' = precipitações acumuladas para 2, 8, 16, 30, 45, 60, 75, 90, 105 e 120 dias com dados da EMA (dependente); X_1 = refletância da banda do vermelho do Landsat-8; X_2 = refletância da banda do infravermelho do Landsat-8; X_3 = albedo da superfície; X_4 = índice de vegetação por diferença normalizada; X_5 = índice de vegetação ajustado ao solo; X_6 = temperatura da superfície (°C); ε = erro padrão, α , β_1 , β_2 , β_3 , β_4 , β_5 , β_6 , são parâmetros a serem estimados. Escolheu-se os melhores modelos de regressão múltiplas.

O estudo foi realizado a partir de imagens do satélite Landsat-8 OLI/TIRS, obtidas no site da USGS/NASA (<http://earthexplorer.usgs.gov>) com resolução espacial de 30 m (bandas 2 a 7), resolução radiométrica de 16 bits, aumentando o grau de detalhamento das informações geradas. As cenas do Landsat-8, que cobrem a área de estudo, possuem órbita 217 e pontos 66 e 67, os critérios para escolha das imagens foram: condição de céu claro com menor ou inexistente presença de nuvens possível (<10%) e pertencentes ao mesmo período do ano, passando sobre o local aproximadamente às 09 h 45

min (hora local).

A correção atmosférica das imagens do Landsat-8 foi feita utilizando o modelo FLAASH (*Fast Line-of-sight Atmospheric Analysis of Spectral Hypercubes*) (FELDE et al., 2003), informando data, horário, local da passagem do Landsat-8, modelo atmosférico tropical, aerossol continental e visibilidade atmosférica horizontal. A visibilidade horizontal atmosférica (VIS) foi estimada invertendo-se a Equação 4, proposta por (DESCHAMPS et al., 1981):

$$\beta = 0,613 \times e^{-VIS/15} \quad (4)$$

Em que: β = coeficiente de Ångström. Considerou-se o valor de β igual a 0,18 para a VIS de 18,26 km, profundidade óptica de 0,085 (<http://www.patarnott.com/office/AnalyzeSun> Photometer UNR.pl), expoente de Ångström de -1,3, pressão atmosférica de 974 mb, comprimento de onda central da banda 3 (561,25 nm), latitude, longitude do ponto central da cena, data e hora da passagem do Landsat-8 (Tabela 3).

Tabela 3. Variáveis meteorológicas do município de Petrolina-PE no dia juliano (DJ) e horas da passagem do Landsat-8 são ângulo de elevação solar (E), temperatura do ar (T, °C), umidade relativa (UR, %), Pressão atmosférica (Po, hPa), profundidade óptica (τ) e visibilidade horizontal (VIS, km)

| Datas | DJ | E | T | UR | Po | τ | VIS |
|--------------|-----|-------|------|----|-------|--------|-------|
| Agosto/2014 | 217 | 51,14 | 24,7 | 58 | 976,3 | 0,086 | 18,21 |
| Outubro/2014 | 265 | 62,35 | 29,7 | 38 | 972,4 | 0,085 | 18,25 |
| Agosto/2015 | 236 | 55,16 | 24,6 | 63 | 973,5 | 0,085 | 18,26 |
| Outubro/2015 | 300 | 65,95 | 26,5 | 60 | 974,7 | 0,085 | 18,26 |

A técnica de fusão de imagens foi utilizada para fundir as bandas de resolução espacial de 30m para a resolução espacial de 15 m (banda pancromática, integração das faixas visível ao infravermelho próximo do Landsat-8), melhorando o detalhamento das cenas. As fusões das bandas 2, 3 e 4 foram feitas por meio da ferramenta de fusão de imagens “Componentes Principais” do programa ERDAS IMAGINE versão 9.1 (QUARTAROLI & BATISTELLA, 2005). Após as bandas serem fusionadas, foi feita a classificação de imagens por meio da fotointerpretação da composição em cor natural RGB (4R, 3G, 2B).

O albedo da superfície (α) representa a capacidade da superfície de refletir a energia solar, calculado conforme a Equação 5 (SILVA et al., 2016):

$$\alpha = -62,2 \times \rho_2 - 57,3 \times \rho_3 - 48,3 \times \rho_4 - 29,5 \times \rho_5 - 7,3 \times \rho_6 - 2,4 \times \rho_7 \quad (5)$$

Em que: $\rho_2, \rho_3, \rho_4, \rho_5, \rho_6$ e ρ_7 são as refletâncias de cada banda do Landsat-8 sensor OLI.

O NDVI indica o grau de atividade fotossintética da vegetação sadia, sendo estimado conforme a Equação 6:

$$NDVI = \frac{\rho_5 - \rho_4}{\rho_5 + \rho_4} \quad (6)$$

O Índice de vegetação ajustado às condições do solo (SAVI) foi calculado conforme Equação 7.

$$SAVI = \frac{(1+L)(\rho_{IV} - \rho_V)}{(L + \rho_{IV} + \rho_V)} \quad (7)$$

Em que: L é a constante de ajuste ao solo, que depende do tipo de solo, o valor mais utilizado é 0,5.

Através da obtenção do SAVI foi possível obter o índice de área foliar (IAF). Calculado conforme Equação 8.

$$IAF = \frac{\ln\left(\frac{0,69 - SAVI}{0,59}\right)}{0,91} \quad (8)$$

A emissividade de cada pixel (ϵ_{NB}), pode ser obtida e validada, segundo a Equação 9:

$$\epsilon_{NB} = 0,97 + 0,0033 \times IAF \quad (9)$$

Foi usado as seguintes condições, para pixels com valores de $IAF \geq 3$, considera-se $\epsilon_{NB} = 0,98$; para $NDVI < 0$, $\epsilon_{NB} = 0,99$.

O Após cômputo da emissividade foi computado a temperatura da superfície (T_s), para a obtenção da mesma utilizou-se a radiância espectral da banda termal L_{b10} do Landsat-8. Dessa forma, obtém-se a temperatura através da Equação 10 (ALLEN et al., 2002):

$$T_s = \frac{K_2}{\left(\frac{\epsilon_{NB} \times K_1}{L_{b10}} + 1\right)} \quad (10)$$

Em que: K_1 e K_2 ($Wm^{-2}sr^{-1}\mu m^{-1}$) são constantes de calibração da banda termal (L_{b10}), extraídos do metadados das imagens a serem trabalhadas.

A intensidade da mudança do uso e ocupação do solo (I) foi calculada a partir dos valores de refletância das bandas 4 e 5 do Landsat-8 no tempo 1 (mês analisado) e tempo 2 (mês posterior ao mês analisado) expresso pela Equação 11 (ZHAN et al., 2000):

$$I = \sqrt{(\Delta\rho_4)^2 + (\Delta\rho_5)^2} \quad (11)$$

Para avaliar a precisão dos classificadores na construção dos mapas temáticos foi utilizado o Índice Kappa, juntamente com a acurácia. A Tabela 4 apresenta níveis de desempenho da classificação para o valor de Kappa obtido de Montgomery e Sschuch (1993).

Tabela 4. Índice Kappa e o correspondente desempenho da classificação

| Índice Kappa | Desempenho |
|--------------------|------------|
| < 0 | Péssimo |
| $0 < k \leq 0,2$ | Ruim |
| $0,2 < k \leq 0,4$ | Razoável |
| $0,4 < k \leq 0,6$ | Bom |

Resultados e Discussão

Observa-se na Figura 2 a variação de anos secos e chuvosos na região ao longo do período estudado demonstrando uma grande variabilidade pluviométrica. A Figura destaca um período de quatro anos consecutivos de seca entre os anos de 2010 a 2013. Foram registrados eventos considerados chuvosos durante anos consecutivos no período que compreendeu de 2008, 2009 e 2014. Os valores calculados para IAC anual variam entre -4,5 e +6,5. Alves et al. (2016), utilizando dados de 1964 a 2007 analisaram o IAC em quatro municípios de diferentes mesorregiões do Estado de Pernambuco (Barreiros, Caruaru, Floresta e Petrolina) constataram resultados semelhantes aos deste trabalho com valores de IAC variando entre -5,31 e +7,24 evidenciando os anos de seca e de chuva no município de Petrolina.

Os valores negativos de IAC representam os anos secos, com classificação de seco, muito seco ou extremamente seco, similarmente aos valores negativos de IAC, os valores positivos significam que o determinado ano foi chuvoso, dependendo do valor atingindo, pode ser classificado na classe de intensidade como úmido, muito úmido ou extremamente úmido (ARAÚJO et al., 2009).

A visível alternância entre valores positivos e negativos do IAC decorre em função das influências exercidas por fenômenos que afetam a precipitação pluviométrica da região do semiárido, dentre eles

estão o Dipolo do Atlântico (aquecimento/resfriamento do Atlântico Norte/Sul) e eventos anômalos no oceano Pacífico associados ao El Niño-Oscilação Sul (ALVES et al., 2016).

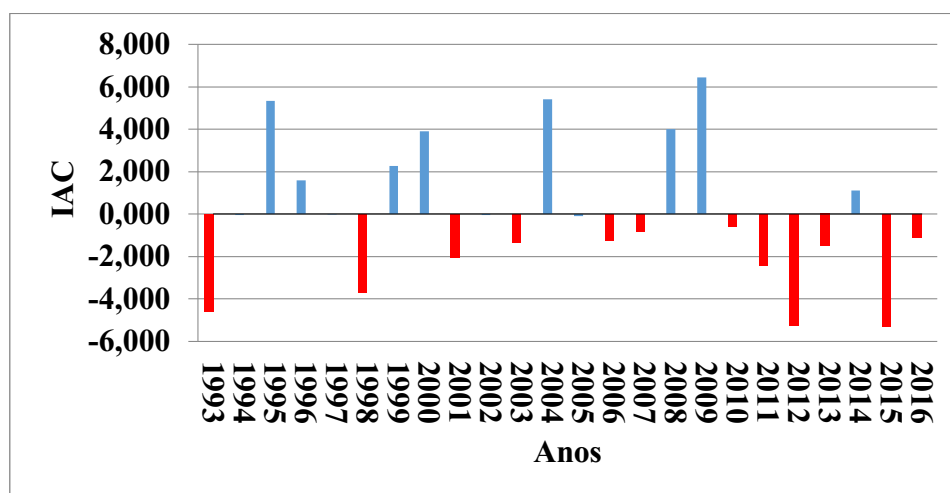


Figura 2. IAC anual do posto Petrolina, PE, para o período consecutivo de 1993 a 2016.

Nas Tabelas 5 e 6 são apresentados os modelos de regressões lineares múltiplas para as estimativas das precipitações acumuladas para 2 (PAC2) e 45 (PAC45) dias antecedentes a passagem do Landsat-8 no município de Petrolina-PE. Vale ressaltar que os modelos PAC2 e PAC45 apresentaram os melhores coeficientes de correlação (r) e de determinação em comparação com os demais testados. Os modelos apresentaram-se significativo no nível de 5% de probabilidade ($p < 0,05$) com intervalo de confiança de 95% para os valores estimados, apresentando bom coeficiente de determinação (R^2), em torno de 64% para PAC2 e de 87% para PAC45. Suarez e Koster (2008), desenvolveram um modelo estatístico e demonstraram que a variabilidade da umidade do solo não só é controlada pelas condições atmosféricas (precipitação e radiação), mas também por processos terrestres superficiais (evaporação e escoamento) e o retorno da umidade do solo para consequentes condições atmosféricas.

Tabela 5. Coeficientes do modelo de precipitação acumulada para dois dias (PAC2) com as respectivas probabilidades de erro (p), correlações lineares (r), coeficientes α e β , Erro Padrão de estimativa para Petrolina-PE

| Variáveis independentes | β | R |
|-------------------------|---------|----------------------|
| ρ_4 | +0,46 | +0,12 ^{CBf} |
| ρ_5 | +0,40 | -0,23 ^{Cf} |
| Albedo | -0,72 | -0,23 ^{Cf} |
| NDVI | -0,23 | -0,18 ^{CBf} |
| SAVI | -1,50 | -0,21 ^{Cf} |
| Ts | +0,11 | -0,10 ^{CBf} |

casos = 20; $\alpha = -0,34$; $r = 0,80^{CF}$; $R^2 = 0,64$; $p < 0,079$
 Erro padrão de estimativa: +0,070

ρ_4 = refletância da banda do vermelho; ρ_5 = refletância da banda do infravermelho; NDVI = Índice de vegetação por diferença normalizada; SAVI = índice de vegetação ajustado ao solo; Ts = temperatura da superfície (°C). CBf = Correlação Bem fraca; Cf = Correlação fraca; CM = Correlação Moderada; CF = Correlação Forte; CMF = Correção Muito Forte.

Com base na Tabela 5, as variáveis independentes: albedo e SAVI apresentaram altas significâncias, ou seja, $p < 0,001$, $p < 0,05$ e $p < 0,03$, respectivamente. Para o modelo geral $p < 0,08$ (boa significância). Observa-se que a relação individual de cada variável com a PAC2 teve correlação entre bem fraca a fraca. Por outro lado, levando em conta a influência de todas as variáveis na PAC2 o coeficiente de correlação foi classificado como forte. O albedo, SAVI e ρ_5 tiveram correlação fraca. Isto ocorre porque com dois dias de precipitação acumulada não houve acúmulo de água (Tabela 5). Além disso, na região do infravermelho próximo (ρ_5) a vegetação em boas condições fisiológicas caracteriza-se por alta refletância, alta transmitância e baixa absorvância quando comparada com a região do visível (ρ_4). Maldonado (1999), observou que para regiões de semiárido a banda 5 responde rapidamente ao

começo da época úmida, atingindo assim, valores tão altos como os de floresta tropical, no entanto, ocorre o inverso com a p4.

A Tabela 6 apresenta os coeficientes do modelo de precipitação acumulada para quarenta e cinco dias (PAC45). As variáveis independentes: albedo e a refletância da banda do vermelho apresentaram elevadas significâncias com $p < 0,0001$, contribuindo, conseqüentemente, para o melhor desempenho na estimativa PAC45. As refletâncias das bandas 4 e 5 tiveram correlação fraca. Aos 45 dias o acúmulo de água foi considerado bom, influenciando as variáveis estudadas, sendo que o albedo, SAVI e Ts tiveram correlação Moderada. O albedo e a refletância da banda 4 tiveram correlação negativa inversamente proporcional, isso indica que quando o albedo aumenta a precipitação diminui.

Algumas exceções podem ser observadas, onde as correlações apresentaram um padrão diferente. Destaca-se a variável independente: NDVI ($r = 0,08$), que apresenta baixa correlação, sendo ainda observadas, correlações negativas para o NDVI. Estes resultados destoam dos encontrados por Nicácio et al. (2009), que obtiveram as máximas correlações com a chuva acumulada, com valores em torno de 0,45 e 0,61.

Tabela 6. Coeficientes do modelo de precipitação acumulada para 45 dias (PAC45) com as respectivas probabilidades de erro (p), correlações lineares (r) e Erro Padrão de estimativa para Petrolina-PE

| Variáveis independentes | β | R |
|---|---------|----------------------|
| ρ_3 | +0,65 | +0,36 ^{Cf} |
| ρ_4 | -0,01 | +0,23 ^{Cf} |
| albedo | -0,90 | -0,53 ^{CM} |
| NDVI | -0,31 | -0,08 ^{CBf} |
| SAVI | +0,35 | +0,42 ^{CM} |
| Ts | -0,09 | -0,35 ^{CM} |
| $\alpha = 32,89$; $r = 0,93^{CMF}$; $R^2 = 0,87$ $p < 0,0006$ | | |
| Erro padrão de estimativa: +9,78 | | |

Com base nas cartas temáticas do NDVI (Figura 3), nos anos estudados observa-se que os pixels que apresentaram os maiores valores foram atribuídos uma classe com tonalidade azul, esta classe corresponde, principalmente, a áreas irrigadas. Os valores medianos com tons esverdeados correspondem à área mista com presença de caatinga e solo exposto, seguido dos menores valores com tons que vão desde as cores amarela até o marrom, as classes de tons amarelo corresponde a solo exposto, enquanto que as classes de tons marrons com valores negativos correspondem a corpos d'água em especial a barragem de sobradinho e o leito do rio São Francisco que margeia o município.

Observa-se na carta temática do NDVI (Figura.3), que a área estudada constitui uma área bastante heterogênea, formada sobretudo por áreas de vegetação nativa (Caatinga), áreas agrícolas que apresentam agricultura irrigada e solo exposto, além da presença de áreas urbanizadas (comunidades rurais e zona urbana).

Constata-se que o mapa de NDVI da data outubro de 2015 (Figura 3 B), em média, apresentou os maiores valores de cobertura vegetal. Nestas datas não ocorreram precipitações. As datas de imageamentos estão dentro do período seco (maio a outubro), porém a umidade do solo acumulada antes da passagem do satélite contribuiu para a manutenção dos extratos herbáceos e presença marcante de dossel foliar da vegetação, favorecendo a elevação do NDVI.

Os valores de NDVI na área de estudo foram semelhantes aos encontrados em áreas do semiárido no estado de Pernambuco, que variam de -1 a 1 (SILVA, 2017). Relacionando as Figuras 3, 4 e 5) observa-se que as atividades antrópicas predominam no entorno zona urbana e no leito do rio São Francisco principalmente pelo desenvolvimento das atividades de agricultura. Pode-se observar ainda, que as imagens dos índices de vegetação ressaltaram as áreas que sofreram alteração em virtude de novos desmatamentos e queimadas no período estudado representada pelos menores valores de NDVI e SAVI; e os maiores valores de albedo.

No entanto, nos meses de agosto e outubro de 2014 e agosto de 2015 (Figura 3 A, B e C), o NDVI não variou espacialmente, devido ao início do período chuvoso do município que vai de novembro a abril. Oliveira (2014), usando cenas do Landsat 5 no período seco, classificou e analisou mudanças do uso e cobertura do solo no município de Floresta-PE, obtendo valores de Kp entre 0,8 a 1,0 mostrando que o período seco ainda é o mais adequado para trabalhos de classificação e mapeamento da vegetação da Caatinga.

Na observação de um pixel na área de estudo, observa-se valores diante de distintos usos e ocupações do solo no município, para um pixel de área irrigada localizado em um pivô central para as cartas de outubro de 2014 e outubro de 2015 (Figura 3 B e D) os valores de NDVI encontrados foram de 0,62 e 0,78, respectivamente. Na Caatinga, os valores foram de 0,42 e 0,93, em área de solo exposto foi de 0,7 e 0,98, para a área urbana foram observados valores de NDVI de 0,14 e 0,16, respectivamente. Estes dados corroboram com Souza (2014) que encontrou os menores valores na classe de solo exposto (0,1), seguido da área urbana (0,2 e 0,3) para o município de João Pessoa na Paraíba.

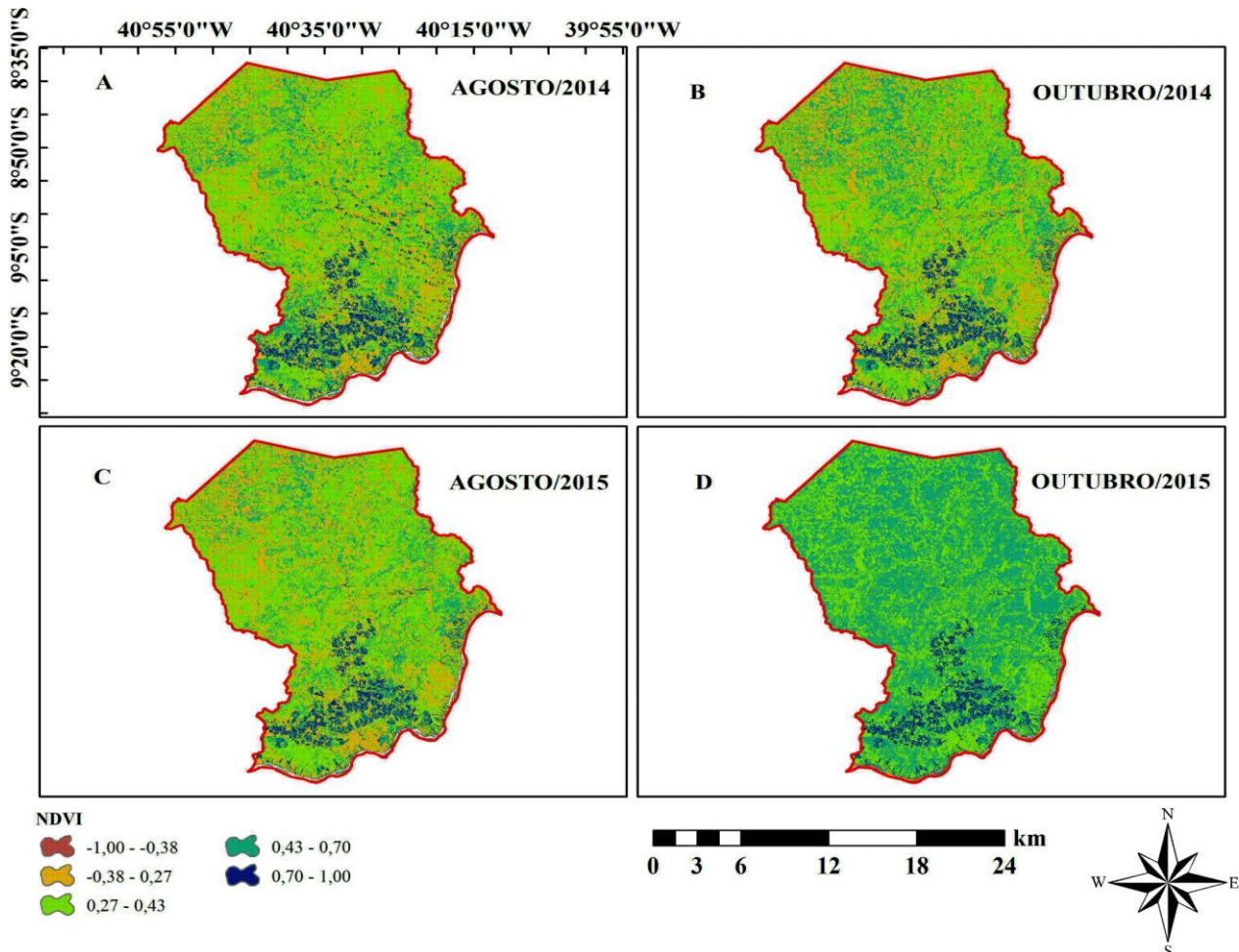


Figura 3. Evolução temporal e espacial do NDVI no município de Petrolina no período de 2014 a 2015.

Na Tabela 7 estão representados os valores dos parâmetros estatísticos, obtidos na análise das cartas do NDVI. Em geral, os respectivos valores mínimos e máximos variaram de -1 a 1, em todos os meses analisados, demonstrando que a área estudada apresenta heterogeneidade. Estes valores são superiores ao encontrado por Silva e Galvínio (2012), que estudando o município de Petrolina, encontraram valores de NDVI entre 0,4 a 0,55. Silva et al. (2016) encontraram nos anos de 2009 a 2011, valores mínimos de 0,61 a 0,64 e máximos de 0,74 a 0,79.

Os valores médios de NDVI observados variam entre o mínimo de 0,29 para o mês de agosto de 2015 e máximo de 0,55 no em outubro de 2015, concordando com os encontrados por Silva e Galvínio (2012), na mesma região deste estudo, no ano de 2001, com valores médios de NDVI na ordem de 0,28 e 0,36. Oliveira (2012), observou que os valores médios de NDVI variam na ordem de 0,35 a 0,73, também corresponderam proporcionalmente à precipitação.

Os resultados de desvio padrão variam entre o mínimo valor de 0,13 no dia agosto de 2014, e o máximo de 0,24 em outubro de 2014. Os valores mínimos e máximos do coeficiente de variação foram de 0,43 em agosto de 2014 e 0,56 para o mês de outubro de 2015. Conforme a Tabela 7, observa-se para o ano de 2015, o maior valor de coeficientes de variação, com isso foi observado para os demais anos uma maior variabilidade espacial.

Tabela 7. Valores dos parâmetros estatísticos obtidos na análise das cartas do índice de vegetação NDVI

| Datas das Imagens | NDVI | | | | | | |
|-------------------|------|------|-------|---------|------|------|--------|
| | Mín. | Máx. | Médio | Mediano | DP | CV | Erro |
| Agosto/2014 | -1 | 1 | 0,31 | 0,31 | 0,13 | 0,43 | 0,0007 |
| Outubro/2014 | -1 | 1 | 0,55 | 0,55 | 0,24 | 0,44 | 0,0006 |
| Agosto/2015 | -1 | 1 | 0,29 | 0,29 | 0,15 | 0,54 | 0,0008 |
| Outubro/2015 | -1 | 1 | 0,60 | 0,60 | 0,15 | 0,56 | 0,0008 |

Observa-se na Figura 4 para o SAVI, que a classe com tonalidade em azul escuro, representam os pixels com os maiores valores, esta classe corresponde, principalmente, a áreas irrigadas, os valores medianos com tonalidade amarelo correspondem a área mista com presença de caatinga e solo exposto, a classe de cor marrom representa os menores valores (negativos), que correspondem a corpos d'água que margeia o município.

Analisando as imagens dos anos de 2014 e 2015 (Figura 4 A, B, C e D), nota-se uma ligeira diferença, sendo que a imagem do mês de agosto apresenta os menores valores, diante de tonalidades mais claras. Este resultado está de acordo com o encontrado por Souza (2014), que ao analisar a cobertura vegetação, encontrou as menores médias sobre a classe dos corpos hídricos e as maiores médias do índice SAVI sobre vegetação arbórea/arbustiva.

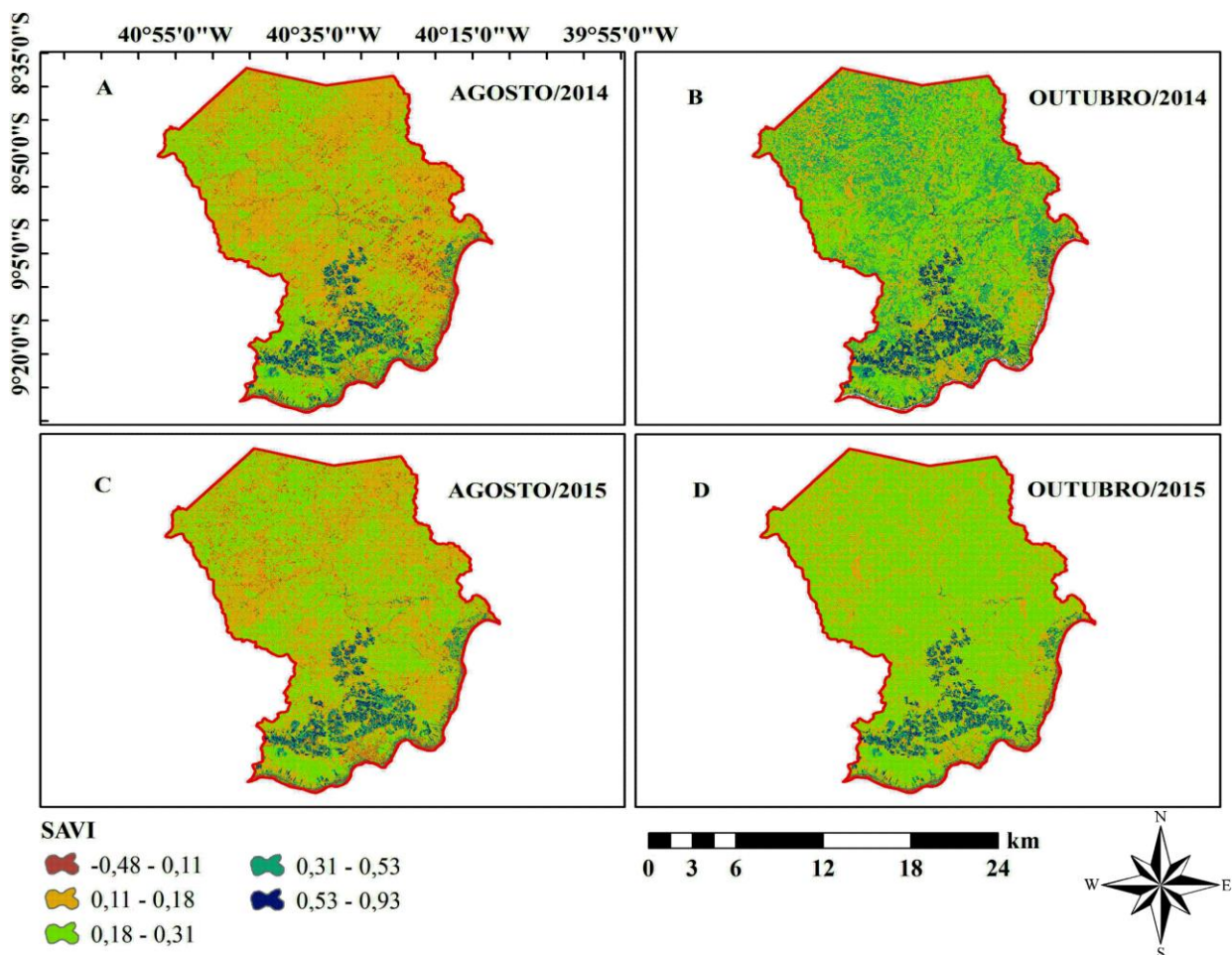


Figura 4. Evolução temporal e espacial do SAVI no município de Petrolina-PE.

Na análise de um pixel na área de estudo, como para o NDVI observa-se diferentes valores diante de distintos usos e ocupações do solo no município. Para um pixel de área irrigada localizado em um pivô central, para as cartas de outubro de 2014 e outubro de 2015, os valores de SAVI encontrados foram de 0,55 e 0,48, respectivamente. Na caatinga, os valores foram de 0,43 e 0,19, em área de solo exposto foi de 0,093 e 0,074, para a área urbana foram observados valores de SAVI de 0,09 para todos os anos estudados.

Na Tabela 8 estão representados os valores dos parâmetros estatísticos do índice de vegetação SAVI durante o período estudado. Os valores mínimos e máximos variam de -0,62 e 0,93 para os meses de outubro de 2014 e agosto de 2015, respectivamente. Os pixels que apresentaram os valores mínimos (negativos) compreendem os corpos hídricos, o máximo valor foi observado próximo às margens do rio São Francisco, diante das áreas irrigadas ocupadas com fruticultura, ou mesmo para mata ciliar fechada.

Os valores médios do índice SAVI variam entre o mínimo de 0,18 para o agosto de 2015 e máximo de 0,30 no mês de outubro de 2014 e outubro de 2015. Os valores medianos variam para o mínimo no valor de 0,17 para outubro de 2015 e 0,29 para o máximo no mês de outubro de 2014. Oliveira et al. (2012), estudando o índice SAVI, determinaram valores mínimos e máximos de 0,28 a 0,62, respectivamente.

Os valores de desvio padrão variam para o mínimo no valor de 0,09 nos meses de agosto de 2015 outubro de 2015 ao máximo de 0,13 para o mês de outubro de 2014. Os valores mínimos e máximos de coeficientes de variação foram de 0,33 em outubro de 2014 e de 0,44 para os meses de agosto de 2015 e outubro de 2015.

Tabela 8. Valores dos parâmetros estatísticos obtidos na análise das cartas do Índice de Vegetação Ajustado ao Solo (SAVI)

| Datas das Imagens | SAVI | | | | | | |
|-------------------|-------|------|-------|---------|------|------|--------|
| | Mín. | Máx. | Médio | Mediano | DP | CV | Erro |
| Agosto/2014 | -0,58 | 0,91 | 0,19 | 0,18 | 0,10 | 0,36 | 0,0003 |
| Outubro/2014 | -0,62 | 0,92 | 0,30 | 0,29 | 0,13 | 0,33 | 0,0007 |
| Agosto/2015 | -0,48 | 0,93 | 0,17 | 0,18 | 0,09 | 0,44 | 0,0004 |
| Outubro/2015 | -0,47 | 0,90 | 0,18 | 0,17 | 0,09 | 0,44 | 0,0004 |

A Figura 5 mostra a variabilidade espacial e temporal do albedo da superfície (α) diante do uso e ocupação do solo no município. Nos meses outubro de 2014 (Figura 5 B) e outubro de 2015 (Figura 5 D), as áreas de pomares irrigados de banana, manga, goiaba e uva, de formas retangulares, apresentam valores de α próximos de 13 e 9,5%, respectivamente. Esta variação pode ser explicada pelo próprio desenvolvimento da cultura, conseqüente mudança no ângulo de incidência da luz sobre a superfície da copa da vegetação (LEITÃO et al., 2002). Silva et al. (2005), estudando o α na mesma área de estudo, constataram que as áreas com culturas frutíferas, apresentaram valores praticamente constantes, em torno de 15%. Esses valores são consistentes com o α estimado para cobertura de vegetação alta, derivado dos sensores TM e ETM+. Vários autores analisando áreas agrícolas constataram que os valores de α variam entre 13 e 25% (SILVA et al., 2011; SILVA et al., 2016).

Em áreas com vegetação nativa (Caatinga) os valores médios do α nos meses de outubro de 2014 (Figura 5 B) e outubro de 2015 (Figura 5 D), são de 27 e 16%, respectivamente. Com tudo, há uma pequena variação nos anos de 2014 e 2015, apontando para uma baixa ou nenhuma mudança no uso da terra, ou seja, não houve retirada da vegetação destas áreas. Estes dados corroboram com os mapas de NDVI. Arraes et al. (2012), ao estudarem a dinâmica do balanço de energia sobre o açude Orós no estado do Ceará, constataram este mesmo fato no α e na vegetação da área estudada.

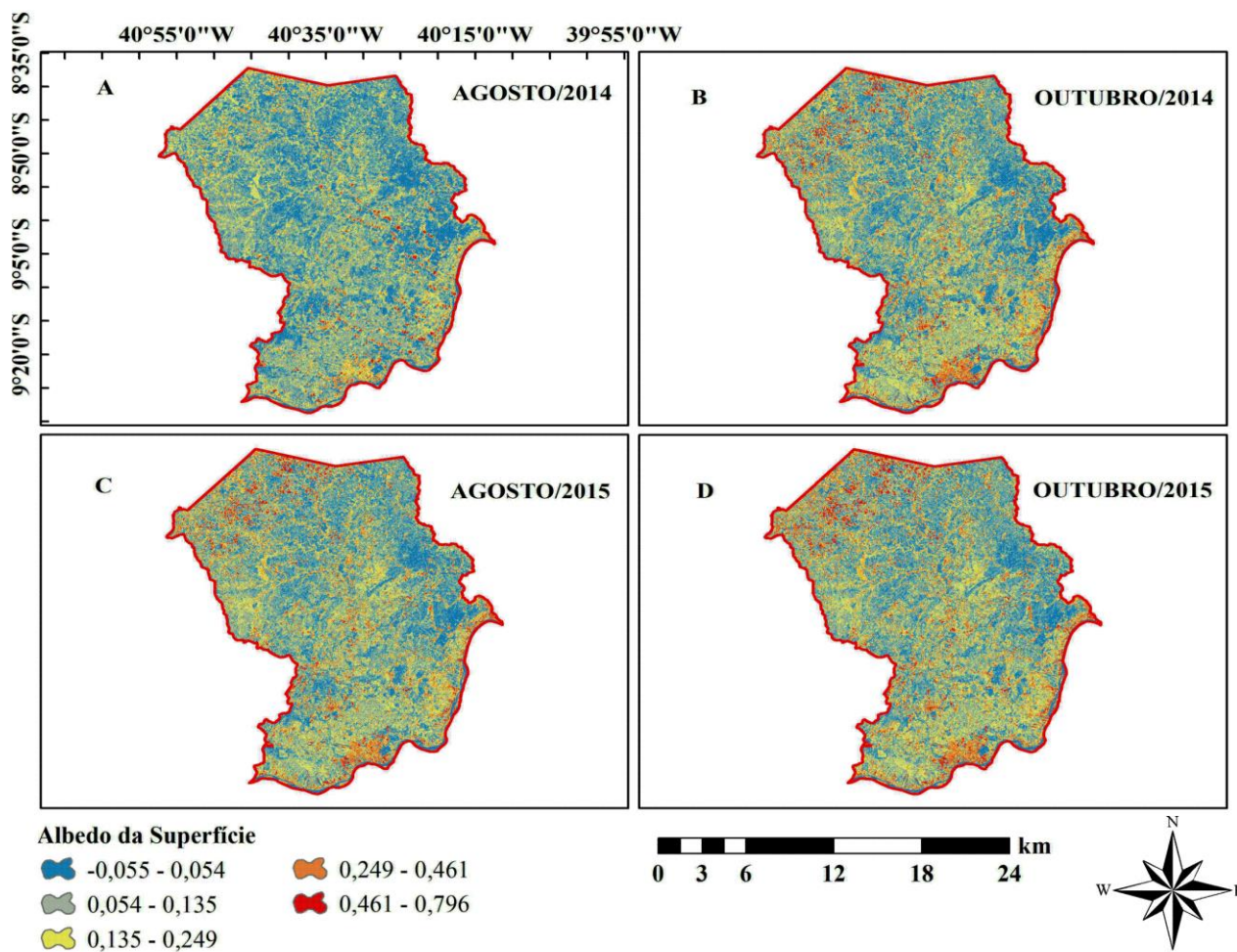


Figura 5. Evolução temporal e espacial do Albedo da Superfície no município de Petrolina – PE.

Na Tabela 9 estão representados a estatística descritiva, mínimo (Mín.), máximo (Máx.), médio, mediano, desvio padrão (DP), coeficiente de variação (CV) e erro, obtidos na análise das imagens de albedo da superfície.

Os parâmetros estatísticos do DP, CV e Erro mostraram valores, variando de 0,05 a 0,1; 0,59 a 0,74 e 0,001 a 0,003, respectivamente. Para o CV, o valor mínimo foi constatado no mês de outubro de 2015, enquanto que o máximo em agosto de 2014. O valor mínimo de DP foi observado em outubro de 2015 e o máximo em agosto de 2014. O valor máximo do DP indica que os dados estão espalhados por uma gama de valores, enquanto que o valor mínimo indica que os dados tendem a estar próximos da média. Os valores mínimos de albedo entre -0,06 a -0,03 representam corpos d'água como é o caso do rio São Francisco (Figura 5). Os valores entre 0,03 a 0,12 correspondem à área vegetada, em especial área de caatinga preservada (Figura 5).

Tabela 9. Valores dos parâmetros estatísticos obtidos na análise das cartas do albedo corrigido da superfície

| Datas das Imagens | Albedo corrigido da superfície - α_{sup} | | | | | | |
|-------------------|---|------|-------|---------|------|------|--------|
| | Mín. | Máx. | Médio | Mediano | DP | CV | Erro |
| Agosto/2014 | -0,05 | 0,76 | 0,14 | 0,11 | 0,10 | 0,74 | 0,001 |
| Outubro/2014 | -0,03 | 0,79 | 0,07 | 0,05 | 0,05 | 0,67 | 0,001 |
| Agosto/2015 | -0,06 | 0,79 | 0,19 | 0,16 | 0,11 | 0,59 | 0,0003 |
| Outubro/2015 | -0,05 | 0,77 | 0,19 | 0,15 | 0,12 | 0,58 | 0,0023 |

Na Figura 6 está representado o mapa temático da T_s no município de Petrolina, para os anos de 2014 e 2015. Na Figura 6 os menores valores de T_s são representados pelos corpos hídricos da área em estudo, estes são representados pelas tonalidades mais claras na faixa do azul. Souza et al. (2016),

analisando a influência do uso e ocupação do solo na T_s em João Pessoa–PB, encontraram os menores valores de T_s na água e na vegetação densa em todas as cenas analisadas entre os anos de 1991 e 2010.

As maiores T_s atingiram $36,7^\circ\text{C}$, sendo representadas pelos tons variando de vermelho claro para um vermelho mais intenso. O maior valor da T_s é bem visualizado no mês de outubro 2015 que em quase sua totalidade apresenta valores de T_s entre $32,21$ a $36,70$. Souza et al. (2016) encontraram valores de T_s para solo exposto (31°C) e vegetação rala (30°C), corroborando assim com os resultados deste trabalho. Estes resultados estão de acordo com os estudos encontrados por Lopes et al. (2010), na bacia do rio Brígida-PE, e Cunha et al. (2012), na bacia de São João do Rio do Peixe, PB.

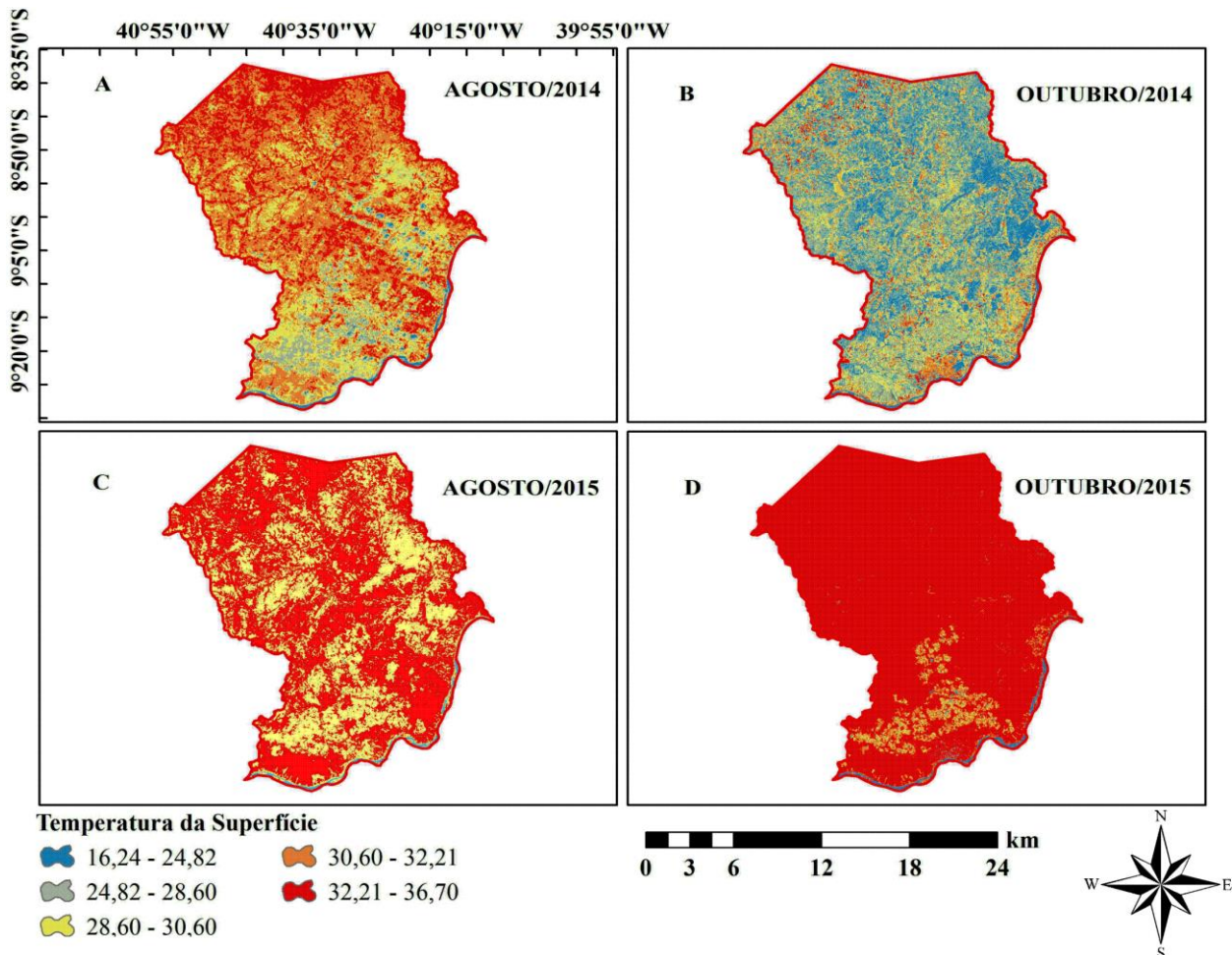


Figura 6. Evolução temporal e espacial da Temperatura da Superfície no município de Petrolina–PE.

Os resultados da avaliação da intensidade da mudança dos anos de 2014 e 2015 são apresentados na Figura 7. Observa-se que a Figura 7 A, que corresponde aos meses de agosto e outubro de 2014 em comparação com a Figura 7 B, apresenta maiores áreas classificadas como mudança inexistente (tonalidade branca) visualizadas principalmente na região central do município, indicativo de que quando comparado os anos de 2014 e 2015 há baixa ou nenhuma mudança principalmente nas áreas de Caatinga, impulsionada pelos baixos índices pluviométricos. Estes resultados corroboram com os encontrados por Silva (2017), que analisou a evolução temporal e espacial da detecção da mudança no município de Petrolina-PE. Ribeiro et al. (2014), em seus estudos detectaram mudanças no solo e na vegetação de Caatinga através de imagens espectrais no município de Sumé-PB.

Corroborando com estes resultados Zhan et al. (2000), também relacionaram os baixos índices pluviométricos como o principal fator na presença das classes de mudanças alta e severa nas áreas estudadas. Este comportamento é explicado, em parte, pelo fato de que o ano de 2017 é classificado como chuvoso, uma vez que a Caatinga apresenta um grande poder de resiliência. Na Caatinga, a recomposição da vegetação se dá de forma rápida com a chegada das primeiras chuvas (MALDONADO, 2005).

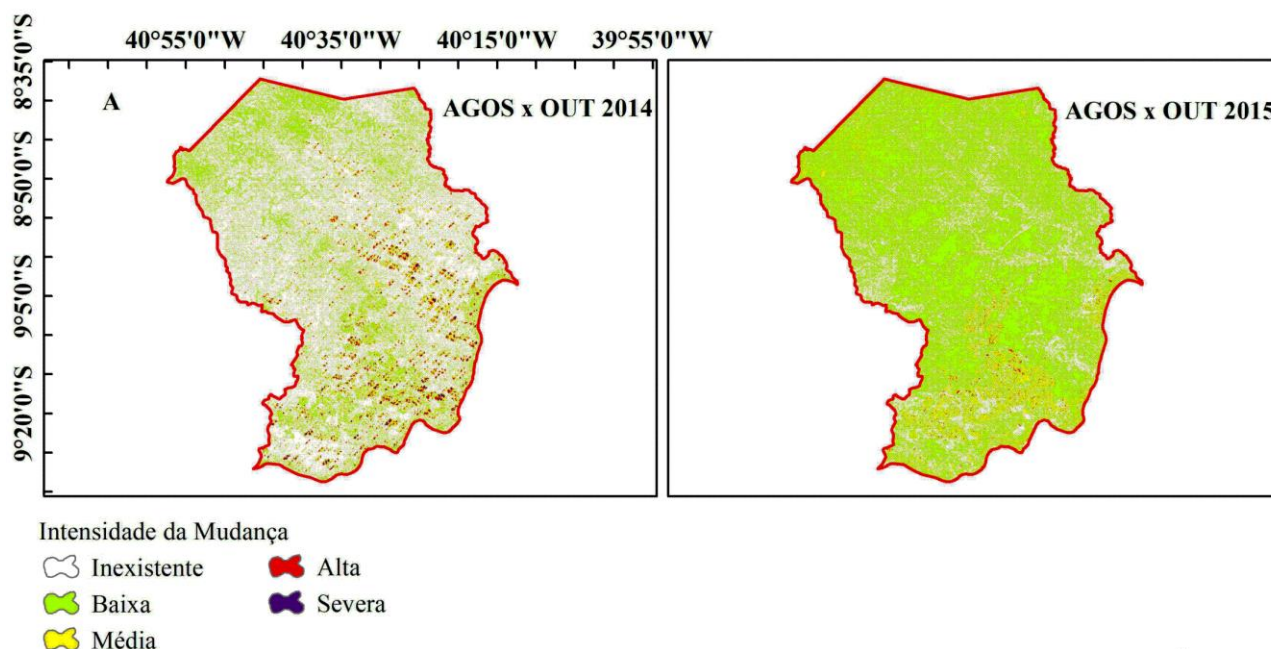


Figura 7. Mapa temático da intensidade da mudança do município de Petrolina-PE.

A Tabela 10 mostra a os valores de acurácia e o Índice Kappa. Analisando a acurácia, constata-se que os resultados da classificação obtidos foram satisfatórios com média de 88,54%, a melhor precisão foi encontrada no ano de 2014 com acurácia de 89,41%. Outro teste estatístico aplicado aos resultados da classificação, que levou em consideração a matriz de confusão, e representam as discordâncias na classificação foi à estimativa do índice Kappa. Para o Kappa foi constatado valor médio de 0,87 o maior valor encontrado foi de 0,89 para o ano de 2014.

Com base na Tabela 10, os valores totais do índice Kappa encontrados foram considerados como excelente para todas as imagens. Demarchi et al. (2011), usando imagens Landsat-5, analisaram as mudanças da superfície, obtendo assim valores de Kappa bem abaixo dos encontrados neste trabalho, 0,57 classificação considerada “boa” a 0,74 qualidade “muito boa”, respectivamente.

Tabela 10. Acurácia e Índice Kappa do mapa de intensidade da mudança no município de Petrolina

| Ano | Acurácia | Kappa |
|------|----------|-------|
| 2014 | 89,41 | 0,89 |
| 2015 | 87,67 | 0,86 |

Conclusão

Detectou-se mudanças no padrão de cobertura vegetal que foi mais expressiva nos meses de outubro.

Os dados de sensoriamento remoto utilizados nas análises demonstraram-se bastante úteis na avaliação espaço-temporal dos índices e também para a avaliação dos impactos de uso do solo decorrentes de mudanças da superfície.

A técnica de intensidade de mudança foi eficiente na identificação de áreas antropizadas durante os anos estudados.

Agradecimentos

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola pelo apoio a pesquisa; À UFRPE pelo acolhimento; À CAPES pelo incentivo financeiro; aos professores orientadores; Ao INMET, CPTEC e APAC pela disponibilização dos dados meteorológicos.

Referências

ALLEN, R.; WATERS, R.; BASTIAANSEN, W.; TASUMI, M.; TREZZA, R. Surface energy balance algorithms for land (SEBAL). Advanced training and user's manual, Idaho Implementation, v.10, p.97, 2002.

- ALVES, J. O.; PEREIRA, P. C.; QUEIROZ, M. G.; SILVA, T. G. F.; FERREIRA, J. M. S.; JÚNIOR, G. N. A. Índice de anomalia de chuva para diferentes mesorregiões do Estado de Pernambuco. *Revista Pensar Acadêmico*, v.14, n.1, p.37-47, 2016.
- ARAÚJO, L. E.; MORAIS NETO, J. M.; SOUSA, F. A. S. Classificação anual e quadra chuvosa da bacia do rio Paraíba utilizando índice de anomalia de chuva (IAC). *Agri-Agua*, v.4, n.3, p.93-110, 2009.
- ARRAES, F. D. D.; ANDRADE, E. M.; SILVA, B. B. Dinâmica do balanço de energia sobre o açude Orós e suas adjacências. *Revista Caatinga*, v.25, n.1, p.119-127, 2012.
- CUNHA, J. E. B. L.; RUFINO, I. A.; SILVA, B. B.; CHAVES, I. D. B. Dinâmica da cobertura vegetal para a Bacia de São João do Rio do Peixe, PB, utilizando-se sensoriamento remoto. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.16, n.5, p.539-548, 2012.
- DEMARCHI, J. C.; PIROLI, E. L.; ZIMBACK, C. R. L. Análise temporal do uso do solo e comparação entre os índices de vegetação NDVI e SAVI no município de Santa Cruz do Rio Pardo – SP usando imagens LANDSAT-5. *Raega-O Espaço Geográfico em Análise*, v.21, p.234-271, 2011.
- DESCHAMPS, P. Y.; HERMAN, M.; TANRÉ, D. Influence de l'atmosphère en télédétection des ressources terrestres: modélisation et possibilités de correction. In: *Colloque de la Société Internationale de Photogrammétrie et de Télédétection*, p.543-558, 1981.
- FELDE, G. W.; ANDERSON, G. P.; COOLEY, T. W.; MATTHEW, M. W.; ADLER, G. S. M.; BERK, A.; LEE, J. Analysis of Hyperion data with the FLAASH atmospheric correction algorithm. *IGARSS 2003. 2003 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium. Proceedings (IEEE Cat. No.03CH37477)*, v.1, p.90-92, 2003.
- FREITAS, M. A. S. Um sistema de suporte à decisão para o monitoramento de secas meteorológicas em regiões semiáridas. *Revista Tecnologia*, v.19, n.1, p.84-95, 1998.
- INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. *Boletim Meteorológico*. n.3, v.25. 2001.
- LEITÃO, M. M. V. B. R.; SANTOS, J. M.; OLIVEIRA G. M. Estimativas do albedo em três ecossistemas da floresta amazônica. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.6, n.2, p.256-261, 2002.
- LOPES, H. L.; CANDEIAS, A. L. B.; ACCIOLY, L. J. O.; SOBRAL, M. C. M.; PACHECO, A. P. Parâmetros biofísicos na detecção de mudanças na cobertura e uso do solo em bacias hidrográficas. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.14, p.1210-1219, 2010.
- MALDONADO, F. D. Análise por componentes principais (ACP) na caracterização da dinâmica do uso da terra em área do semiárido brasileiro: Quixaba – PE, Brasil. (INPE7180-TD/680). 116p. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto). Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. São José dos Campos: INPE, 1999.
- MONTGOMERY, G.; SCHUCH, C. *GIS Data Conversion Handbook*. Fort Collins: GIS Word Books. 1993.
- NICÁCIO, R. M.; ARAUJO, L. L.; GONZAGA, E. P.; Camargo LIBOS, M. I. P. C.; OLIVEIRA, L. M. P. Relação NDVI e precipitação na bacia do rio Coxim – MS. *Geografia*, v.34, Número Especial, p.667-680, 2009.
- OLIVEIRA-JÚNIOR, J. F.; DELGADO, R. C.; GOIS, G.; LANNES, A.; DIAS, F. O.; SOUZA, J. C.; SOUZA, M. Análise da Precipitação e sua Relação com Sistemas Meteorológicos em Seropédica, Rio de Janeiro, Floresta e Ambiente, v.21, n.2. 2014.
- SUAREZ, M. J.; KOSTER, R. D. Soil Moisture Memory in Climate Models. *Journal of Hydrometeorology*, v.3, 2001.
- PESSOA, M. F.; GUERRA, A. M. N. M.; MARACAJÁ, P. B.; LIRA, J. F. B.; DINIZ, E. T. Estudo da cobertura vegetal em ambientes da Caatinga com diferentes formas de manejo no assentamento Moacir Lucena, Apodi – RN. *Revista Caatinga*, v.21, n.3, p.40-48, 2008.
- QUARTAROLI, C. F.; BATISTELLA, M. *Processamento de Imagens de Sensoriamento Remoto: Tutorial Básico*. Documentos 44. 2005.
- RIBEIRO, G. N.; FRANCISCO, P. R. M.; MORAES, J. M. Detecção de mudança de vegetação de Caatinga através de geotecnologias. *Revista Verde*, v.9, p.84-94, 2014.
- RIEBSAME, W. E.; MEYER, W. B.; TURNER B. L. Modelagem do uso da terra e da cobertura como parte da mudança ambiental global. *Clim. Mudança*, v.28, p.45-64, 1994.
- SANTOS, J. R. Índices de vegetação e monitoramento do uso do solo e cobertura vegetal na Bacia do Rio Araguari – MG – utilizando dados do sensor MODIS. 130p. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Geografia - Universidade Federal de Uberlândia. 2005.
- SILVA, B. B.; LOPES, G. M.; AZEVEDO, P. V. Balanço de radiação em áreas irrigadas utilizando imagens Landsat 5 – TM. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v.20, n.2, p.243-252, 2005.

- SILVA, B. B.; BRAGA, A. C.; BRAGA, C. C.; OLIVEIRA, L. M. M.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; JUNIOR, B. B. Procedimentos para cômputo do albedo com imagens OLI-Landsat 8: Aplicação ao semiárido brasileiro. *Revista Brasileira Engenharia Agrícola Ambiente*, v.20, n.1, p.3-8, 2016.
- SILVA, D. A. O. Interferência da precipitação em variáveis ambientais utilizadas para detecção de mudanças no município de Petrolina – PE. 70 p. Dissertação (Engenharia Agrícola). Departamento de Engenharia Agrícola. Universidade Federal Rural de Pernambuco. 2017.
- SILVA, L. G.; GALVÍNCIO, J. D. Análise comparativa da variação dos índices NDV e SAVI no sítio PELD – 22 em Petrolina – PE, na primeira década do século XXI. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v.6, 2012.
- SOUZA, J. F. Análise das mudanças do uso e ocupação do solo, variabilidade da temperatura e do saldo de radiação em João Pessoa – PB. 130f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana e Ambiental). Universidade Federal da Paraíba, 2014.
- VAN ROOY, M. P. A rainfall anomaly index independent of time and space. *Notes*, v.14, n.43, p.43-48, 1965.
- YUAN, F., SAWAYA, K. E., LOEFFELHOLZ, B., BAUER, M. E. Classificação de cobertura do solo e análise de mudança de Twin Cities (Minnesota) área Metropolitana de sensoriamento remoto Landsat multitemporal. *Rem. Sen. Envi.* v.98, p.317-328, 2005.
- KACHHWALA, T. S. Monitoramento temporal de terras florestais para detecção de mudanças e mapeamento da cobertura florestal por meio de sensoriamento remoto por satélite. *Proceedings da 6ª Conferência Asiática sobre Sensoriamento Remoto*, Agência Nacional de Sensoriamento Remoto, Hyderabad, p.77-83, 1985.
- ZHAN, X.; DEFRIES, R.; TOWNSHEND, J. R. G.; DIMICELI, C.; HANSEN, M.; HUANG, C.; SOHLBERG, R. The 250 m global land cover change product from the Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer of NASA's Earth Observing System. *International Journal of Remote Sensing*, v.21, n.6-7, p.1433-1460, 2000.

Capítulo 10**ESTUDO DA DINÂMICA TEMPORAL NA COBERTURA VEGETAL DO MUNICÍPIO DE SUMÉ-PB****¹George do Nascimento Ribeiro****²Layane Carmem Arruda da Rocha****³Paulo da Costa Medeiros****⁴Maykon Rodrigo Gomes de Barros****⁵Filipe Emmanuel Porfírio Correia****⁶Deliane Andrade de Arruda**¹Professor Adjunto, UFCG/CDSA/UAEBB/Campus Sumé, george@ufcg.edu.br^{2,4,5}Acadêmicos em Engenharia de Biosistemas e Engenharia de Produção, UFCG/CDSA/Campus Sumé, layrocha8@gmail.com; maykonbarros26@gmail.com; emmanuelproducao@gmail.com³Professor Adjunto, UFCG/CDSA/UATEC/Campus Sumé, medeirospc@gmail.com⁶Bacharel em Agroecologia DAA/UEPB, deliane.andrade@hotmail.com**Introdução**

Uma das ferramentas mais significantes para o monitoramento das mudanças de cobertura e uso do solo é oriunda das imagens de satélites, caso em que regiões semiáridas, as condições climática, edáfica e de degradação da paisagem, exercem influência relevante na resposta espectro-textural da cobertura e no uso do solo (MALDONADO & CARVALHO, 2003).

A importância do sensoriamento remoto como ferramenta para avaliar os processos de desertificação fica mais evidente, quando se verifica que, um dos quatro indicadores recomendados pela ONU, para avaliar o problema, é o índice de vegetação derivado de imagens de satélite, o chamado IVDN - Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (UNITED NATIONS, 2001; MOREIRA, 2004; MENESES & NETTO, 2001).

A utilização de índices de vegetação gerados de imagens de satélites se constitui em ferramentas importantes para o monitoramento das alterações naturais ou produzidas pelo homem, nos ecossistemas (FEITOSA et al., 2010). Para Francisco et al. (2013) embora existam diversificados índices de vegetação, atualmente o mais usado é o IVDN. O IVDN é a razão entre os valores de reflectância no infravermelho próximo e vermelho nas porções de intervalos do espectro eletromagnético de 0,72 a 1,10 e 0,58 a 0,68 μm , respectivamente (WEISS et al., 2004). Matematicamente, as imagens índices de vegetação são modelos numéricos derivados de assinaturas espectrais da vegetação e guardam uma relação direta com a biomassa foliar verde (KUNTSCHIK, 2004). O contraste entre a reflectância nas bandas do visível e infravermelho da vegetação é singular, o que facilita a distinção de outros alvos (NASCIMENTO et al., 2014).

De acordo com Parkinson (1997) para vegetação seca, o IVDN é baixo, mas é alto para vegetação em pleno vigor. Isto ocorre devido à pigmentação da cor verde da vegetação sadia refletir mais no infravermelho próximo e menos no canal do visível, o que ocasiona altos valores para o IVDN. Barbosa et al. (2006) reporta que os valores do IVDN no Nordeste Brasileiro crescem à medida que ocorre aumento das chuvas, devido ao aumento da densidade e vigor da vegetação e diminui consideravelmente em anos secos.

Moreira (2004) evidencia que há alguns fatores que contribuem para o êxito da análise das imagens de satélites, que são: a época de obtenção das imagens de satélite, tipo de produto, bandas espectrais, escala das imagens e experiência do foto-intérprete. Maldonado (2005) reporta que a detecção de mudanças deve fazer ênfase na identificação de propriedades como o aparecimento de novos elementos ambientais (clareiras por exemplo), que caracterizam determinadas alterações; a faixa espectral deve, portanto, ser igualmente sensível aos elementos emergentes correlacionados ao solo da caatinga.

Não obstante, a falta de planejamento do uso da terra tem acarretado severos danos nos recursos naturais da região do cariri paraibano, onde se localiza o município de Sumé. Os recentes avanços na tecnologia de sensoriamento remoto, e em suas teorias, têm proporcionado maiores oportunidades para caracterizar a dinâmica sazonal e interanual de vegetação natural (JAKUBAUSKAS et al., 2001).

Diante do exposto, a motivação precípua desta pesquisa partiu da necessidade de se detectar e mapear a mudança na cobertura vegetal, especificamente no município de Sumé, cariri paraibano.

Material e Métodos

A área de estudo compreende o município de Sumé, Estado da Paraíba, com uma extensão de 838,6 km², localizado na mesorregião da Borborema e na microrregião do Cariri Ocidental (AESA, 2012), cuja principal rede de drenagem é caracterizada pelo rio Sucuru. A sede do município dista, da capital, João Pessoa, 264 km. Segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2012) o município conta com uma população de 16.060 habitantes, para o último censo demográfico que ocorreu em 2010. Desta forma, apresenta uma densidade demográfica de 19,16 habitantes/km².

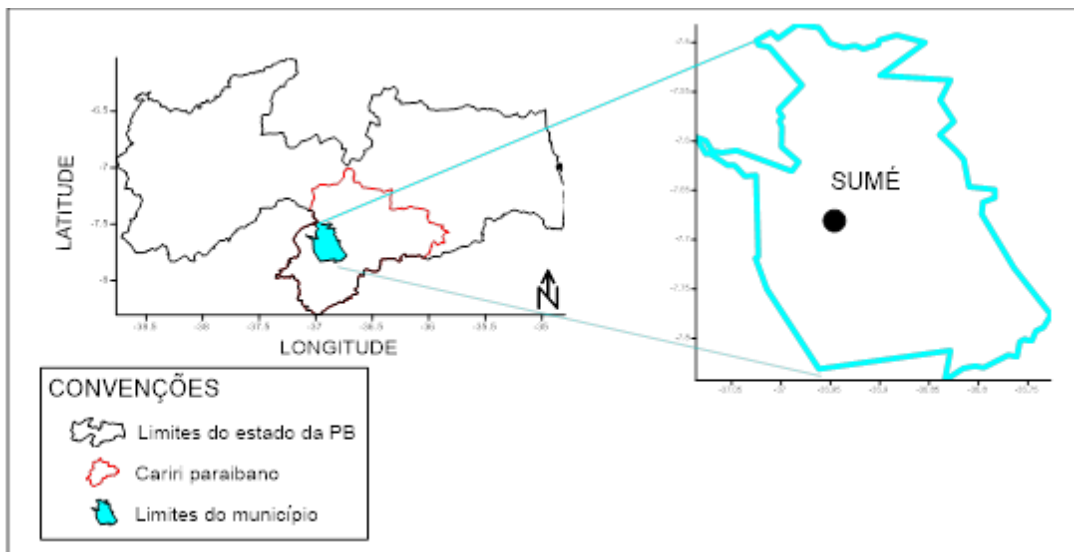


Figura 1. Imagem da localização do município de Sumé-PB.
Fonte: Adaptado de AESA (2010).

Para Ribeiro (2014), a altimetria da região em estudo encontra-se variando entre 300 e 700 metros, com maior ocorrência na faixa entre 400 e 500 metros. Na área do município de Sumé, de acordo com PARAÍBA (2006) ocorrem, basicamente, os tipos de solos: Luvisolos, Neossolos Litólicos, Neossolos Regolíticos, Neossolos Flúvicos e Afloramentos Rochosos. Pela classificação de Köppen, o clima da área de estudo é o Bsh - Semiárido quente, com precipitação predominantemente em torno de 600 mm.ano⁻¹. No município as precipitações variam entre 600 e 900mm, com predominância de 700mm (FRANCISCO, 2010).

De acordo com a AESA (2012), os dados climatológicos mensais e anuais de Sumé-PB, os quais representam médias de no mínimo trinta anos, obtidos através da publicação SUDENE - Dados Pluviométricos do Nordeste - Série Pluviometria 5, Recife, 1990, os três meses históricos de maior intensidade de chuvas na região são: fevereiro (77,4mm), março (132,9mm) e abril (130,2mm); já os três meses históricos de menor intensidade de chuvas são: agosto (9,2mm), setembro (5,0mm) e outubro (6,4mm).

A vegetação natural predominante na área de estudo é a Caatinga Hiperxerófila, com um conjunto de porte arbóreo baixo ou arbóreo-arbustivo. A vegetação da caatinga possui alta capacidade de adaptação à escassez hídrica; seus recursos bioquímicos e físicos a tornam altamente adaptada aos longos períodos de estiagem da região (RIBEIRO, 2014).

Em termos quantitativos o principal rebanho na região é o caprino, seguido dos bovinos, ovino e suíno. A piscicultura é uma atividade explorada na região. A piscicultura extensiva responde por cerca de 60% do total sendo seguida pela pesca tradicional em aproximadamente 40% (COSTA, 2012).

Para alcançarmos os objetivos propostos, foi seguida a seguinte metodologia:

I. Trabalhos de reconhecimento de campo: sendo elaborado em duas etapas.

a) Reconhecimento geral da área segundo um roteiro pré-estabelecido, em função das unidades geoambientais reconhecidas nas imagens de satélite.

b) Georreferenciamento e registro dos pontos e\ou características relevantes, mediante o uso de GPS e máquina fotográfica.

Foram visitadas as principais classes de cobertura vegetal, identificadas através do Google Earth, no qual promoveu-se um roteiro pré-estabelecido, onde foi possível observar as principais

características da vegetação, do solo, do relevo e do antropismo, no que concerne tanto as atividades agropecuárias quanto as atividades de degradação dos recursos naturais.

II. Mapeamento das unidades geoambientais (solo, água e vegetação) e avaliação dos diferentes níveis de degradação da vegetação para um período de 26 anos (1984 a 2010), a partir do uso de imagens de satélite Landsat 5/TM.

a) Foram utilizadas imagens orbitais multiespectrais do satélite Landsat 5/TM, órbita/ponto-215/065, bandas de 1 a 7, para datas distintas, de 1984 a 2010, em trimestre médio histórico seco (agosto, setembro e outubro) e trimestre médio histórico úmido (fevereiro, março e abril). Esta multitemporalidade permite o estudo da evolução da ação antrópica e determinação qualitativa e quantitativa do processo de degradação da cobertura vegetal (FEITOSA et al., 2010).

O critério de escolhas dessas imagens deu-se a partir da cobertura de nuvens para o quadrante observado, no qual foram solicitadas as imagens que apresentavam menos que 20% de cobertura de nuvens na área em estudo.

Para a época úmida, foram utilizadas imagens das datas: 08/03/1988; 07/02/1989; 14/03/1990; 01/03/1991; 29/04/1995; 11/02/1996; 08/04/1999; 07/03/2005; 19/04/2009 e 22/04/2010. De acordo com Pereira (2008), adota-se o período chuvoso ou, imediatamente após, momento em que, a priori, o índice foliar encontra-se em seu ápice, fato que favorece a formulação de uma resposta espectral a esse alvo.

Para a época seca, foram utilizadas as imagens das datas: 07/10/1984; 02/08/1989; 21/08/1990; 08/08/1991; 13/10/1992; 29/08/1993; 20/09/1995; 11/10/1997; 14/10/1998; 17/10/1999; 03/10/2000; 22/10/2001; 12/10/2003; 01/10/2005; 18/09/2006; 23/09/2008; 28/10/2009 e 28/08/2010.

b) Para a elaboração dos mapas temáticos foram utilizados: o software SPRING 5.2.4 desenvolvido pelo INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais); cartas topográficas da SUDENE, tomadas como base cartográfica; e, base de dados georreferenciados e registrados para o SPRING, do município de Sumé-PB, obtidos em Ribeiro (2014) na projeção UTM, SAD 69, com as seguintes coordenadas geográficas: Longitude 1: o 37 51 37.54278947; Longitude 1: o 35 37 30.92764762; Latitude 1: s 8 22 20.07876790; Latitude 2: s 6 6 55.74078109.

Foram criados, para cada imagem e época, Modelos de Dados de Imagem, ou seja, para cada data um Modelo de Dados. No intuito de importar as imagens para o programa, foram criados os Planos de Informação, com tamanho de pixel X e Y de 30. Para cada Modelo de Dados foram criados, no mínimo, sete (07) Planos de Informação, no qual cada um é condizente à uma banda da respectiva cena.

Para gerar a imagem base, foi feita uma composição falsa cor dos PI's ativos enviando as bandas seguintes para: b_5 (R), b_4 (G), b_3 (B), tal qual exemplo verificado na Figura 2 extraído da cena de data 07/10/1984. Através de um arquivo *shapefile* do município de Sumé-PB, obtido na base de dados do trabalho de Ribeiro (2014), fora criado uma máscara para utilizá-lo como recorte municipal.

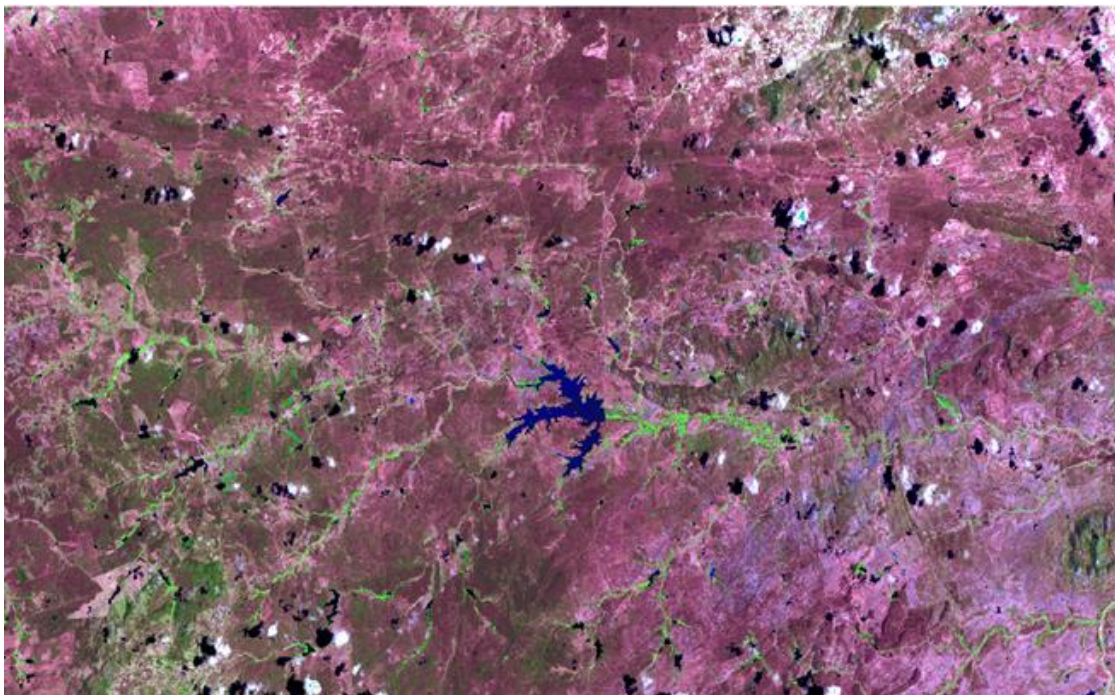


Figura 2. Exemplo de uma imagem gerada na composição falsa cor (RGB) para a região em estudo, destaque central para o açude de Sumé-PB.

c) Antes de iniciar a interpretação visual das imagens orbitais foi realizado o processamento digital destas, através da manipulação do contraste das bandas 5, 4 e 3. Os IVDN's de todas as imagens foram criados utilizando a Operação Aritmética a seguir:

$$\text{IVDN} = \text{Ganho} * ((A-B)/(A+B)) + \text{Offset}$$

Onde: Ganho = 200; Offset = 100; A = banda 4; B = banda 3.

Optou-se por aplicar operações aritméticas entre imagens, no qual para o presente estudo esta técnica foi aplicada às bandas 4 e 3 da mesma área geográfica, previamente georreferenciadas, com ganho de (espaço) 200 e off set (brilho) de 100. Buscou-se, com isto, aumentar o contraste entre solo e vegetação, por meio da utilização das bandas correspondentes ao vermelho e infravermelho próximo, o que possibilitou a composição dos índices de vegetação por diferença normalizada (IVDN). Ainda, por se tratar de um índice normalizado, que varia de -1 a 1, ajustou-se o resultado a escala de cinza do satélite, promovendo um ganho de 200 e offset em 100.

Nessa avaliação usou-se a composição multispectral ajustada, obtida pela transformação RGB (banda 3; IVDN; banda 1), cujos histogramas foram equalizados. Adotou-se a aplicação da composição multispectral ajustada (CMA), gerando, com isso, uma imagem sintética, para cada cena. De acordo com os resultados demonstrados através da resposta espectral, resultantes desta composição, se pôde observar que a técnica favorece o realce da resposta em que as áreas de alto valores de IVDN ajustada aparecerão em verde (ocorrência de vegetação) e as áreas de baixa ocorrência de IVDN ajustada estarão em magenta, resultante da adição do vermelho com azul.

A identificação das classes foi feita a partir da análise visual das tonalidades de cinza, na tela do computador, através de uma fotointerpretação, levando em conta os principais componentes e suas diferenciações. As tonalidades de cinza médio a escuro foram consideradas como representativas da cobertura vegetal; as escuras como representativas de corpos d'água; e, as tonalidades de cinza médio a claro como representativas de vegetação rala a solo exposto, conforme os padrões de resposta espectral dos alvos.

Em seguida, para melhor visualização e auxiliar na interpretação das imagens, foi aplicado contraste em todas as imagens falsas, utilizando a operação Linear.

Os procedimentos para a interpretação visual de imagens digitais foram realizados tomando-se como parâmetro os elementos texturais do relevo, drenagem e outros alvos, segundo sua densidade e orientação (tropia), conforme a metodologia desenvolvida por Anjos e Veneziani (1982) para imagens

orbitais. Para Pereira et al. (2010), essa metodologia de análise das imagens consiste em uma sequência de etapas lógicas e sistemáticas que independem do conhecimento prévio da área e da utilização dos processos foto interpretativos, entretanto, tal método pode ser enriquecido com o aporte de dados auxiliares, colhidos por ocasião dos trabalhos de campo, que tem a função de dirimir dúvidas que possam surgir por ocasião das operações de manipulação das imagens de satélite.

d) Foi realizada uma leitura de pixels para os principais componentes das imagens (solo, água, vegetação). A leitura de pixel permite saber qual o valor do nível de cinza de um determinado pixel e seus vizinhos para uma representação da Imagem.

e) Elaboração das imagens temáticas para cada ano e época com os IVDN's sob um recorte municipal.

Para Pereira et al. (2010) o processamento digital das imagens via contraste linear para o reconhecimento dos alvos da superfície terrestre e a manipulação do contraste, consiste numa transferência radiométrica em cada pixel, com o propósito de aumentar a discriminação visual entre os objetos presentes na imagem.

A visita de campo facilitou a observação e a interpretação das características ambientais na área de estudo vistas nas imagens de satélites para poder visualizar melhor a real situação da área e sua mudança ao longo dos anos. A fotointerpretação é a técnica de examinar as imagens dos objetos na imagem e deduzir sua significação, sendo bastante importante à elaboração de mapas temáticos.

Para a presente pesquisa, foram utilizados os elementos de reconhecimento tonalidade/cor e textura. Os elementos padrão, forma e tamanho, sombras e associação, foram observados intuitivamente ao decorrer da fotointerpretação, em decorrência do conhecimento prévio da região de estudo e suas características em relação aos recursos naturais (Tabela 1).

Tabela 1. Chave de fotointerpretação utilizada

| Tonalidade e Cor | Textura | Interpretação |
|------------------|-------------|--|
| Verde escuro | Grosseira | Vegetação densa, de porte alto, nativa |
| Verde médio | Áspera | Vegetação semi-densa, de porte médio, culturas perenes/anuais |
| Verde claro | Marmorizada | Vegetação rala, de porte baixo, culturais anuais/perenes, pastagem |
| Magenta escuro | Áspera | Vegetação rala, de porte rasteiro, culturas anuais, pastagem |
| Magenta médio | Fina | Vegetação rala, de porte rasteiro, pastagem |
| Magenta claro | Lisa | Solo exposto/nuvens |
| Preto | Lisa | Corpos d'água |

Resultados e Discussão

Para o presente estudo, pode-se observar nas composições multiespectrais ajustadas, nos tons de verde escuro, a cobertura vegetal, que aqui engloba a vegetação natural, predomina nos topos aplainados do relevo, onde o antropismo é menos intenso, pela escassez dos recursos hídricos e pelo impedimento agrícola (pedregosidade, declive acentuado, entre outros); quanto as áreas em tons de verde mais claro, são as regiões de várzea com plantio das culturas agrícolas, temporárias e de subsistência (auto consumo) e pastos e, onde ocorrerem os níveis altos de degradação das terras.

Além do mais, as regiões de coloração magenta mais escuras são configuradas como sendo áreas de vegetação rala, de porte baixo e menos densa, com níveis graves de degradação das terras. Para as áreas que aparecem com a coloração magenta mais clara são as que apresentam os solos desnudos, de alto grau de degradação. Com relação aos corpos d'água, estes são denotados pela coloração preto.

Análise das Composições Multiespectrais Ajustadas (CMAs) para os períodos úmido (A) e seco (B)

De acordo com a Figura 3A, referente ao mês de março de 1990, é possível observar em sua CMA, que apresenta uma boa quantidade de vegetação mais densa nas porções central e centro-oeste da imagem, referentes às culturas de subsistência (milho, feijão de corda), algodão e áreas de pastos naturais. São as regiões de áreas mais planas. Segundo dados da SUDENE, para o mês de março de 1990, a precipitação total foi de 3,0mm. Já no mês anterior, havia chovido 100,5mm.

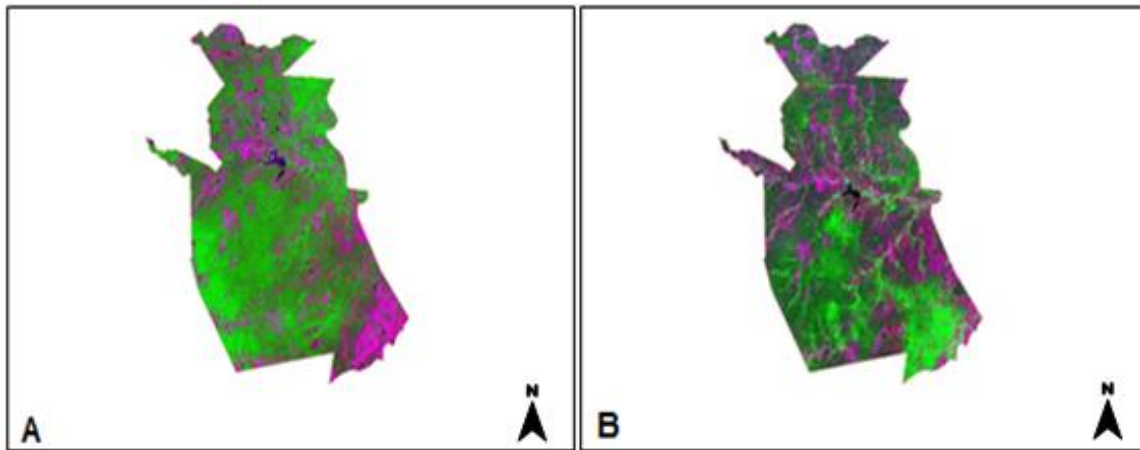


Figura 3. Composição Multiespectral Ajustada (CMA) para as datas de 14 de março (A) e 21 de agosto (B) do ano de 1990.

Na porção nordeste, é possível observar solo exposto ou áreas desnudas, possivelmente são áreas preparadas para o plantio por apresentarem um padrão uniforme em suas formas de distribuição. Já na porção do extremo sul, é possível verificar uma área extensa com predomínio de solos expostos, provavelmente degradados. São as áreas de solos Litólicos distróficos e com ocorrência de muitos Afloramentos Rochosos (Figura 3A). Para Brasil (1972), no Estado da Paraíba, esses solos ocorrem normalmente na Superfície do Planalto ou Superfície dos Cariris. O relevo é suavemente ondulado com declividades de 3 a 8%, apresentando extensas áreas de topos aplainados. Em algumas áreas ocorrem associados com Afloramentos de Rocha - "boulders"- de tamanho variável que cobrem de 5 a 25% da superfície. A vegetação é representada pela caatinga hipoxerófila arbóreo-arbustiva densa e a caatinga hiperxerófila, com grande quantidade de cactáceas e bromeliáceas. Apresentam sequência de horizontes A1, C, Cx e R. Para esses tipos de solo a mecanização agrícola é severamente limitada pela pequena espessura destes e grande susceptibilidade à erosão. No caso de utilização agrícola faz-se necessária principalmente a escolha de áreas de menor declividade tomando-se algumas medidas, como o controle da erosão e se considerando também, que a limitação pela falta d'água é forte, fator extremamente limitante para as regiões semiáridas do Brasil e principalmente para a região do cariri paraibano, que sofre periodicamente com a escassez de recursos hídricos.

Na Figura 3B, referente ao mês de agosto de 1990, é possível observar que as áreas correspondentes aos solos expostos se apresentaram em um mesmo padrão de distribuição com relação à época úmida do mesmo ano. Não obstante, houve uma ocorrência de áreas com vegetação na porção do extremo sul, ao passo que na mesma região em época úmida, foi verificada uma situação contrária, com ocorrências de solos expostos. De acordo com os dados pluviométricos da SUDENE, para o mês de agosto de 1990, foi registrado uma pluviosidade de 34,6mm, fato este atípico para a região nesse período. Possivelmente esse fato levou à situação observada na porção do extremo sul da área estudada.

Como é possível observar na Figura 4A, ocorreu presença de nuvens em quase toda a região da imagem, se configurando pela coloração magenta clara e por possuir um padrão de formato irregular, com sombras logo abaixo na posição nadiral em relação à cada nuvem. Na região do extremo sul da imagem, apresentou uma diminuição na ocorrência de áreas com solos expostos, ao contrário do que se foi verificado para o ano de 1990. Houve uma melhoria na distribuição de áreas vegetadas, no qual localiza-se praticamente em toda a região, isto verificado para todos os tipos de portes de vegetação.

De acordo com a AESA (2012), para o mês de abril de 1995 a precipitação total foi de 69,9mm e o total acumulado para o ano de 1995 foi de 487mm. As áreas de maior ocorrência dos solos expostos estão visivelmente localizadas na porção central da imagem, que corresponde praticamente à região da bacia hidráulica do açude de Sumé-PB, este fato ocorrido é possivelmente pelo uso intensivo das áreas adjacentes ao manancial, causando uma degradação de forma mais visível. Para Ribeiro (2014) são áreas de ocorrência predominante de solos Luvisolos Crômicos, com associação de Bruno não Cálculo Vértico. Esses solos apresentam fortes limitações no que diz respeito à carência de água e moderadas quanto à susceptibilidade à erosão. Possuem condições para serem cultivados com culturas anuais na época chuvosa; entretanto, são mais apropriados para pecuária (Figura 4A).

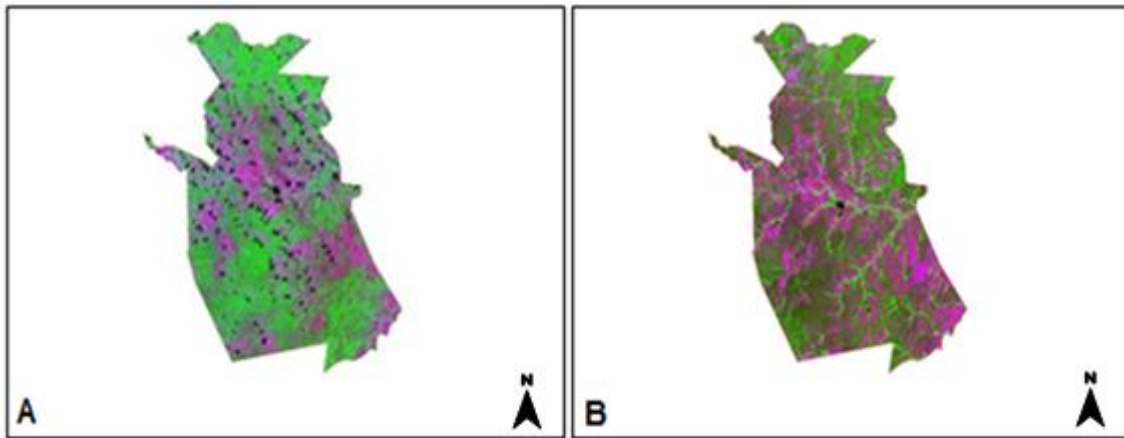


Figura 4. Composição Multiespectral Ajustada (CMA) para a data de 29 de abril (A) e 05 de setembro (B) do ano de 1995.

Como se pode observar na Figura 4B, houve um aumento significativo de regiões correlacionadas aos solos expostos, pela ocorrência maior de áreas com coloração magenta claro, bem como em suas nuances de cores. No entanto, verifica-se que nas áreas anteriormente que figuravam como ocorrência de vegetação, para a segunda situação, foi verificado a coloração magenta escura, que denota a presença de vegetação de porte baixo e ralo, relativo às culturas anuais de subsistência/pastagem (Figura 5).

Como se pode observar na Figura 4B, houve um aumento significativo de regiões correlacionadas aos solos expostos, pela ocorrência maior de áreas com coloração magenta claro, bem como em suas nuances de cores. No entanto, verifica-se que nas áreas anteriormente que figuravam como ocorrência de vegetação, para a segunda situação, foi verificado a coloração magenta escura, que denota a presença de vegetação de porte baixo e ralo, relativo às culturas anuais de subsistência/pastagem (Figura 5).



Figura 5. Imagem representativa de área com ocorrência de pastagem.

Na Figura 6A, referente ao mês de abril de 1999, é possível observar um grande aumento na quantidade de áreas com solos expostos, comparando-se com a imagem do ano trabalhado anteriormente em época úmida (Figura 4A). Segundo dados da AESA (2012), para todo o ano de 1999, a precipitação total foi de 357,3mm, valor muito abaixo da média histórica para o município de Sumé-PB, que é de 700mm. Esse déficit hídrico, atrelado ao uso exacerbado dos recursos naturais, provavelmente levaram à essa condição. É possível observar que na região central, por onde passa o

canal principal do rio Sucuru, há o mesmo padrão de ocorrência de solos expostos. Ribeiro (2014) afirma que nas áreas que foram evidenciados os solos expostos, porções sul e sudeste da região estudada, há a predominância dos tipos de solos Litólicos Distróficos e Vertissolos. Devido à extrema carência de umidade, esses solos se prestam mais para preservação da fauna e flora silvestre.

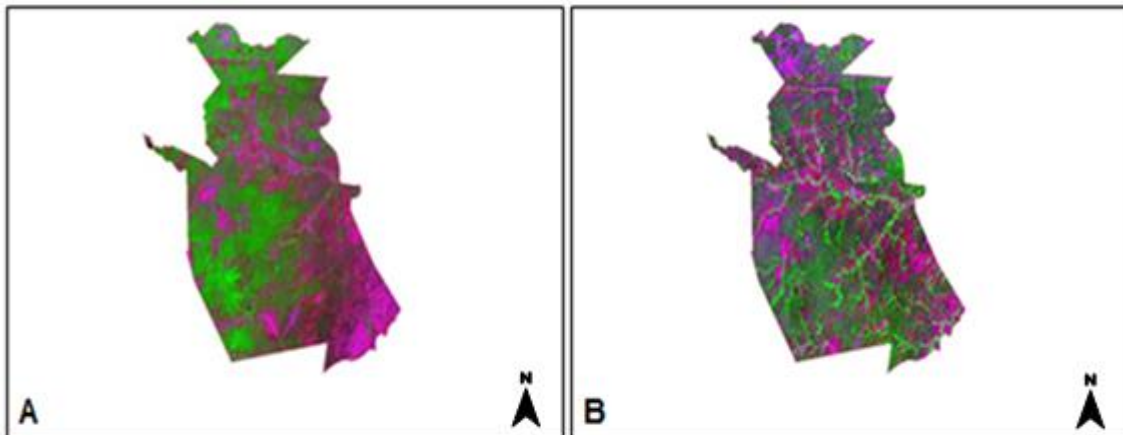


Figura 6. Composição Multiespectral Ajustada (CMA) para a data de 08 de abril (A) e 17 de outubro (B) do ano de 1999.

Para Moraes Neto et al. (2007), a variação da pluviometria das regiões do Cariri/Curimataú, Sertão e Agreste/Litoral para o período de 1994 a 1998 sofreram o efeito El Niño 1997/98, no qual foi bem mais severo no Cariri/Curimataú e no Sertão do que no Agreste/Litoral, onde este foi mais moderado. Desse modo, podemos verificar que a ação do El Niño possivelmente foi o maior catalisador para a grande ocorrência de solos expostos na área estudada, em contrapartida ocasionando diminuição das áreas vegetadas, quer por vegetação natural ou por agricultura, que como é possível observar, continuaram em mesmo padrão de ocorrência, quando verificado a situação em época seca (Figura 6B).

Como é possível observar na Figura 7A, ocorreu presença de nuvens em alguns pontos da imagem, se configurando pela coloração magenta clara e por possuir um padrão de formato irregular, com sombras logo abaixo, porém não foi fator limitante para a interpretação da imagem. No entanto, é possível verificar que em quase toda a área estudada, houve a ocorrência de solos expostos, com um grau de degradação menor, visto que as colorações que são preponderantes para essas regiões são de um magenta mais escuro, vislumbrando assim a presença de vegetação de porte mais baixo e raleada, que de todo modo, propicia uma baixa cobertura do solo evitando uma degradação maior pelos agentes hídricos (chuvas) e eólicos (ventos). Essas áreas são, em sua grande maioria, de ocorrência de solos Litólicos Distróficos e Vertissolos.

De acordo com a Figura 7B, mesmo com a presença de alguns focos de nuvens, correspondentes a coloração magenta claro, foi possível verificar a ocorrência da presença maior de áreas com solos expostos. Ainda, verifica-se que essas áreas estão distribuídas em quase toda a região de estudo, seguindo um mesmo padrão de distribuição quando em época úmida, porém, ressalta-se a ocorrência de uma coloração do magenta mais clara, em relação à situação anterior, denotando uma exposição maior do solo às intempéries naturais e antrópicas, ocasionado por uma vegetação mais rala e de porte mais baixo. Segundo dados da AESA (2012), a precipitação total anual verificada em 2005 para o município de Sumé-PB foi de 685,8mm, se demonstrando um quantitativo de chuvas dentro da normalidade para a região.

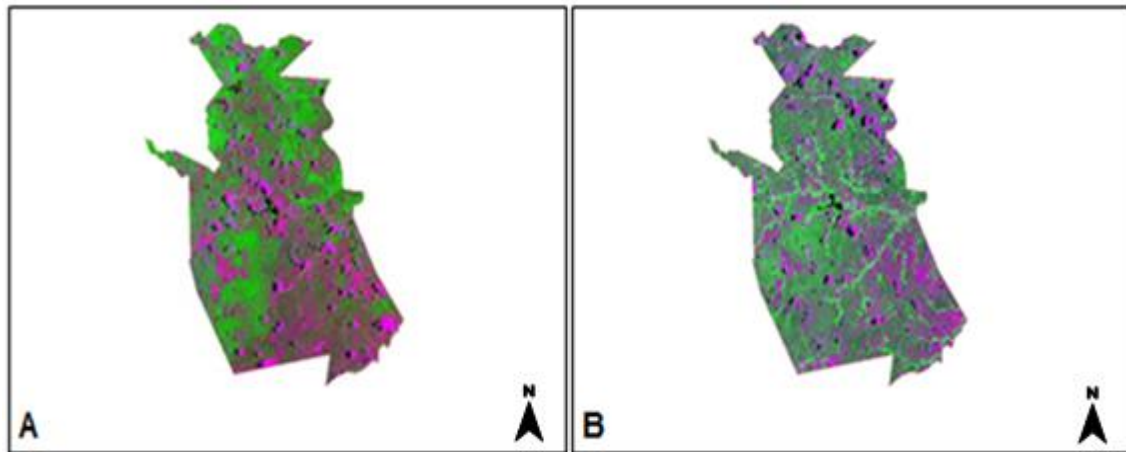


Figura 7. Composição Multiespectral Ajustada (CMA) para a data de 07 de março (A) e 01 de outubro (B) do ano de 2005.

Na Figura 8A, referente ao mês de abril de 2010, é possível observar um grande aumento na quantidade de áreas com vegetação, decorrente da observação de áreas com a coloração verde escuro, médio e claro, comparando-se com a imagem do ano trabalhado anteriormente (2005), por conseguinte, as áreas que apresentaram solos expostos sofreram diminuição em sua ocorrência para toda a imagem. Com relação à ocorrência de solos expostos, estes foram verificados em áreas esporádicas, no qual foram representados pela coloração magenta escura. Não obstante, denota a presença de vegetação de porte baixo e mais rala que, por conseguinte, garante uma melhor proteção ao solo evitando uma degradação acelerada deste recurso natural que mais sofre com os problemas ambientais na região do Cariri paraibano (Figura 8B). Este fato se demonstrou comum para ambas as épocas estudadas no contexto do ano de 2010.

Segundo dados da AESA (2012), a precipitação total anual registrada para o ano de 2010 no município de Sumé-PB foi de 522,9mm, quantitativo um pouco abaixo da média para a região, porém dentro dos limites que vão de 500 a 700mm anuais (FRANCISCO, 2010). Esse fator, provavelmente levou à essa condição. Para o ano anterior de 2009, a AESA registrou uma precipitação total de 890,2mm, superando a média histórica, fato este possivelmente que propiciou uma maior reserva hídrica nos solos da região, acarretando em uma maior capacidade de suporte para a vegetação local carente de recursos hídricos, principal fator desenvolvedor para a região semiárida.

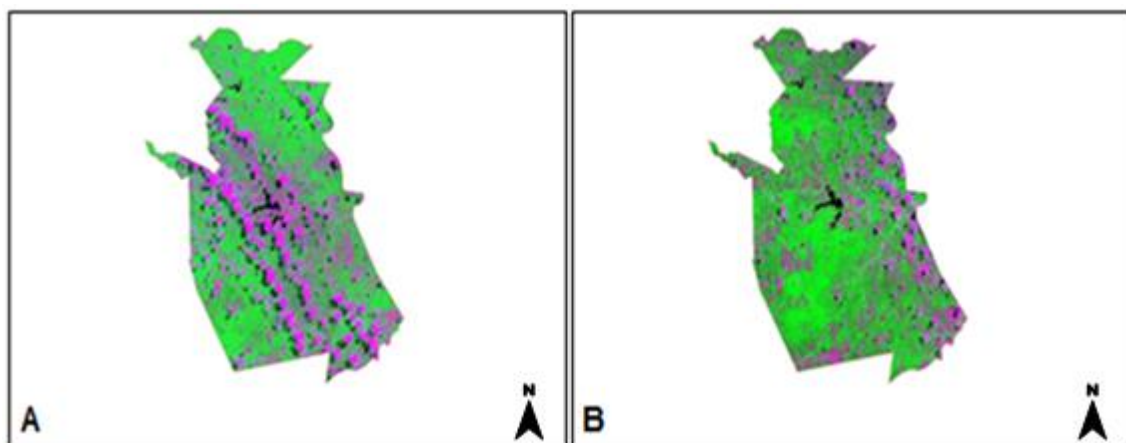


Figura 8. Composição Multiespectral Ajustada (CMA) para a data de 22 de abril (A) e 28 de agosto (B) do ano de 2010.

Francisco et al. (2012) verificaram que o período seco é a melhor época para se estudar a caatinga, uma vez que, proporcionalmente, todos os índices apresentaram neste período os maiores coeficientes de correlação. Ainda, trabalhando com as correlações entre o Índice de Biomassa da Vegetação lenhosa e diferentes índices espectrais, dentre eles o IVDN, Francisco (2013) cita que verificou que na época seca foi possível cumprir com os objetivos estabelecidos com praticidade e rapidez. Em geral, para

fotointerpretação das imagens trabalhadas na presente pesquisa, a produção do IVDN em época seca se demonstrou mais eficaz o que quando comparado com as imagens em época úmida.

Fazendo uma análise em conjunto das imagens e uso das composições multiespectrais ajustadas (CMA) para os anos de 1990, 1995, 1999, 2005 e 2010, foi possível observar a evolução espaço-temporal do comportamento da cobertura vegetal, onde notou-se que os índices de vegetação variam de acordo com a ocorrência ou não de chuva, ou seja, período seco/chuvoso ocasiona uma diminuição/aumento no IVDN. O aumento na tonalidade de verde das figuras indica o possível aumento do IVDN.

Analisando as imagens dos anos de 1990, 1995, 1999 e 2005, foi possível observar que estas retratam uma diminuição da ocorrência de áreas com vegetação, mostrando maior intensidade desse fator na região central das imagens. Podemos notar também que, no período úmido abrange mais vegetação do que no período seco, podendo ser decorrente de chuvas. Já quando se verifica as imagens correspondentes ao ano de 2010, é possível observar um aumento na ocorrência das áreas com algum tipo de vegetação, ou seja, possivelmente está acontecendo uma recomposição natural no quantitativo vegetacional da região em estudo. Fato este corroborado por Ribeiro (2014), em estudo do município de Sumé-PB, fazendo o uso de geotecnologias no estudo da degradação das terras, onde verificou que houve uma recuperação da vegetação para o período estudado, de 1987 a 2009.

Algumas áreas podem apresentar menos vegetação devido ao fato de apresentar degradações e pelo uso da agricultura e pecuária extensiva, promovendo a diminuição de nutrientes do solo, pois não se tem uma maneira adequada para se distribuir a água utilizada e o manejo do solo que são duas características fortes que contribuem para o empobrecimento da vegetação (Figura 9).



Figura 9. Imagem representativa dos solos expostos e degradados na região de estudo.

Ao ocorrer a eliminação ou diminuição da vegetação, acompanhadas de técnicas inadequadas de uso e manejo dos solos na região, é possível observar que se iniciem e acelerem os processos de degradação dos solos. As terras continuam sendo usadas pela pecuária extensiva, bovinos, caprinos e ovinos ocasionam uma degradação bastante relevante, em decorrência do superpastoreio principalmente de animais de pequeno porte (caprinos, ovinos) pois além de se alimentar de todo tipo de vegetação, compactam o solo, conseqüentemente, o solo compactado e sem vegetação fica vulnerável a erosões, que no início do período chuvoso ainda é maior, degradando centenas de hectares de terras (Figura 10).



Figura 10. Imagem representativa dos solos compactados e degradados na região de estudo.

Foi possível também observar durante as visitas de campo, a degradação da vegetação local em atitudes de alguns moradores, quando fazem a utilização da madeira para transformar em lenha, fazendo o uso de métodos rudimentares, como as coivaras (Figura 11). Para Ribeiro (2014) uma das principais causas da degradação das terras observadas na região é a retirada da vegetação natural e de outros tipos vegetacionais, para utilização em carvoarias, panificadoras locais e cerâmicas, servindo como matriz energética desses tipos de empreendimento.



Figura 11. Imagem representativa da ação antrópica na degradação dos recursos naturais.

Na região em estudo foi possível comprovar mais um processo de degradação das terras, a retirada do solo para utilização em cerâmicas regionais (Figura 12). Em geral, os solos da região, são extraídos sem nenhum controle ou fiscalização ambiental.



Figura 12. Imagem representativa da ação antrópica na degradação dos recursos naturais.

Conclusão

Foi possível observar a dinâmica e evolução espaço-temporal do comportamento da cobertura vegetal, onde notou-se que os índices de vegetação variam de acordo com a ocorrência ou não de chuva, ou seja, período seco/chuvoso ocasiona uma diminuição/aumento no IVDN.

Para os anos de 1995, 1999, 2000 e 2005 foi possível verificar uma dinâmica de diminuição no quantitativo vegetal. Ao passo que para o ano de 2010, foi possível observar um acréscimo nas áreas que são correlacionadas com vegetação, quer sejam naturais ou antropizadas, porém, não sendo possível identificar o quantitativo vegetal por porte, assim sendo, não se pode inferir qual o tipo vegetal foi incrementado, se o arbóreo, arbustivo ou vegetação rala.

Foi possível observar ações antrópicas degradantes dos recursos naturais: retirada de material vegetal para carvoarias, retirada de argila para o fabrico de materiais cerâmicos, e superpastoreio com animais de pequeno porte.

Referências

- AESA. Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba. 2012. Disponível em: <<http://site2.aesa.pb.gov.br/aesa/sort.do?layoutCollection=0&layoutCollectionProperty=&layoutCollectionState=1&pagerPage=1>>. Acesso em: 15 de maio de 2014.
- ANJOS, C. E.; VENEZIANI, P. Metodologia de interpretação de dados de sensoriamento remoto e aplicações em geologia. São José dos Campos: INPE, 1982.
- BARBOSA, H. A.; HUETE, A. R.; BAETHGEN, W. E. A 20-year study of IVDN variability over the Northeast Region of Brazil. *Journal of Arid Environments*, v.67, p.288-307, 2006.
- BRASIL. Ministério da Agricultura. Equipe de Pedologia e Fertilidade do Solo. Levantamento Exploratório – Reconhecimento de Solos do estado da Paraíba. Boletim Técnico n°15. Série Pedologia n°8. Convênio Mapeamento de Solos MA/EPE-SUDENE/DRN, Convênio MA/CONTAP/USAID/BRASIL. Rio de Janeiro, 1972.
- COSTA, R. S. Avaliação multiobjetiva de cenários para usos múltiplos nos pequenos açudes da bacia hidrográfica do açude de Sumé-PB. 176f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental). CCT. Universidade Federal de Campina Grande. Sumé, 2012.
- FEITOSA, P. H. C.; ANDRADE, K. de S.; BARBOSA, M. P.; RIBEIRO, G. do N. Avaliação do processo de degradação da cobertura vegetal em Serra Branca e Coxixola-PB. *Revista Verde*, v.5, n.1, p. 01-07, 2010.
- FRANCISCO, P. R. M. Classificação e mapeamento das terras para mecanização do Estado da Paraíba utilizando sistemas de informações geográficas. 122f. Dissertação (Manejo de Solo e Água). Centro de Ciências Agrárias. Universidade Federal da Paraíba. Areia, 2010.

- FRANCISCO, P. R. M.; CHAVES, I. B.; CHAVES, L. H. G.; LIMA, E. R. V. Detecção de mudança da vegetação de caatinga. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v.6, p.1473-1487, 2012.
- FRANCISCO, P. R. M.; CHAVES, I. B.; CHAVES, L. H. G.; LIMA, E. R. V. Estimativa da degradação da biomassa da vegetação de caatinga através de índices de vegetação. *Revista Polêmica*, v.12, n.2, p.306-321, 2013.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Manual Técnico da Vegetação Brasileira. 2012. Disponível em: <http://geoftp.ibge.gov.br/documentos/recursos_naturais/manuais_tecnicos/manual_tecnico_>. Acesso em: 28 de dezembro de 2012.
- INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Geoprocessamento e Imagens Landsat, SPRING. 2014. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/spring/>>. Acesso em: 03 de maio de 2015.
- JAKUBAUSKAS, M. E.; LEGATES, D. R.; KASTENS, J. H. Harmonic Analysis of Time-Series AVHRR NDVI Data. *Photogrammetric Engineering e Remote Sensing*, p.461-470, 2001.
- KREMER, R. G.; RUNNING, S. W. Community type differentiation using NOAA/AVHRR data within a sagebrush-steppe ecosystem. *Remote Sensing of Environment*, v.46, p.311-318, 1993.
- KUNTSCHEK, G. Estimativa de biomassa vegetal lenhosa em Cerrado por meio de sensoriamento remoto óptico e de radar. 154p. Tese (Doutorado em Ciências). Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo. Departamento de Ecologia: USP, 2004.
- MALDONADO, F. D.; CARVALHO, V. C. de. Indicador de degradação a escala sub-regional para detecção de mudanças na cobertura das terras com sensoriamento remoto. In: *Anais XI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, Belo Horizonte, INPE, p.1353-1356, 2003.
- MALDONADO, F. D. Desenvolvimento e avaliação de uma metodologia de detecção de mudanças na cobertura vegetal do semiárido. 311p. Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto). São José dos Campos: INPE, 2005.
- MENESES, P. R.; NETTO, J. S. M. Sensoriamento remoto: reflectância dos alvos naturais. Brasília. UnB, Planaltina: Embrapa Cerrados, 2001.
- MORAES NETO, J. M.; BARBOSA, M. P.; ARAÚJO, A. E. de. Efeito dos eventos ENOS e das TSM na variação pluviométrica do semiárido paraibano. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.11, n.1, p.61-66, 2007.
- MOREIRA, M. A. Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação. 2.ed., Viçosa – MG: UFV, 2004, 307p.
- NASCIMENTO, F. das C. A. do; ARAÚJO, F. R. da C. D. Estudo comparativo entre o IVDN e a Precipitação na região Oeste Potiguar. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, v.9, n.3, p.269-274, 2014.
- PARAÍBA. Secretaria de Estado da Ciência e Tecnologia e do Meio Ambiente. Agência Executiva de Gestão de Águas do Estado da Paraíba, AESA. PERH-PB: Plano Estadual de Recursos Hídricos: Resumo Executivo e Atlas. Brasília, DF, 112 p., 2006.
- PARKINSON, C. L. Earth from above. University Sciences Books, Sansalito. Land vegetation, p.107-111, 1997.
- PEREIRA, R. A. Impactos ambientais decorrentes das condições antroponaturais no município de São João do Cariri-PB. 106f. Dissertação (Mestrado em Recursos Naturais). CTRN/UFCG. Campina Grande, 2008.
- PEREIRA, R. A.; MELO, J. A. B. de; DANTAS NETO, J.; BARBOSA, E. M. Análise do comportamento espectral da cobertura vegetal de São João do Cariri-PB no espaço temporal de vinte anos (1987-2007), sob condições diversas de utilização. *Revista Caminhos de Geografia*, v.11, n.36, p.68 – 80, 2010.
- PETERS, A. J.; EVE, M. D. Satellite monitoring of desert plant community response to moisture availability. *Environmental Monitoring and Assessment*, v.37, p.273-287, 1995.
- RIBEIRO, G. do N. Uso de geotecnologias no estudo da degradação das terras no município de Sumé-PB. 128f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola). Centro de Tecnologia e Recursos Naturais. Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande, 2014.
- SERAFIM, E. C. da S. Estudo do uso da terra e da cobertura vegetal na região de Sumé, através de sensoriamento remoto. 39f. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de Engenharia Agrônômica). Centro de Ciências Agrárias. Universidade Federal da Paraíba. Areia, 2000.
- SILVA, T. B.; ROCHA, W. J. S. A. da F.; DIAS, A. B. Indicadores socioeconômicos associados ao processo de desertificação na região norte e nordeste do estado da Bahia. In: *Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*. Natal, Brasil, 2009, INPE, p.2341-2348, 2009.

UNITED NATIONS. Text of the United Nations Convention to Combat Desertification. 2001. Disponível em: <www.unccd.int/convention/text/convention.php>. Acesso em: 12 de março de 2014.

WEISS, J. L.; GUTZLER, J. S.; ALLRED COONROD, J. E.; DAHM, C. N. Long-term vegetation monitoring with NDVI in a diverse semi-arid setting, central New Mexico, USA. In: *Journal of Arid Environments*, v.58, p.248-271, 2004.

Capítulo 11**MAPEAMENTO DO POTENCIAL PEDOCLIMÁTICO DO ESTADO DA PARAÍBA PARA A CULTURA DA MANDIOCA (*Maniotoh esculenta Crantz*) ATRAVÉS DO LEGAL****¹Paulo Roberto Megna Francisco****²Djail Santos**

¹ Pós-Doutor em Ciência do Solo, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande-PB, paulomegna@gmail.com

²Dr. em Ciência do Solo, Prof. Titular Dep. de Solos e Engenharia Rural, Universidade Federal da Paraíba, UFPB, Areia-PB, santosdj@cca.ufpb.br

Introdução

A mandioca *Manihot* utilíssima Pohl (*Manihot esculenta, Crantz*) é uma planta rústica, com ampla adaptação às condições mais variadas de clima e solo (MAPA, 2016). A mandioca é oriunda de região tropical, encontrando condições favoráveis para o seu desenvolvimento em todos os climas tropicais e subtropicais, sendo cultivada na faixa compreendida entre 30º de latitudes norte e sul, embora a concentração de plantio esteja entre as latitudes 15ºN e 15ºS (SOUZA & SOUZA, 2000).

Todas as partes da planta podem ser aproveitadas, as raízes são uma fonte rica em amido, que de seu processamento são obtidos inúmeros produtos, e a parte aérea pode ser usada para alimentação animal. Assim como outras culturas amiláceas, o amido de mandioca pode ser convertido em álcool e, portanto, ela é um forte aliada como fonte de energia renovável (FAGUNDES, 2009). Alimento de grande importância, na alimentação humana e animal, a mandioca, conhecida também como macaxeira ou aipim, atualmente desponta como produtora de etanol, que pode ser utilizado como combustível, para a fabricação de bebidas, fármacos e cosméticos (FUKUDA et al., 2006).

Conforme Arruda et al. (2014), o Brasil é um dos grandes produtores de mandioca, representando mais de 15% da produção mundial, e que a produção brasileira nos últimos anos vem apresentando crescimento constante, totalizando, no ano de 2006, mais de 27 milhões de toneladas (IBGE, 2006).

De acordo com IBGE (2005), na distribuição da produção pelas diferentes regiões fisiográficas brasileiras, para a safra 2005, a região Nordeste destacou-se com uma participação de 35,9% da produção, com rendimento médio de 10,9 t/ha (CARDOSO et al., 2005). Conforme os dados do IBGE (2013) da Produção Agrícola Municipal de 2013 e a Embrapa-Mandioca e Fruticultura (EMBRAPA, 2016), a produção de mandioca em 2013 na Paraíba foi de 14.796 ha de área colhida com uma produção de 135.052 toneladas com rendimento de 9,13 t/ha.

De acordo com EMBRAPA (2012) a planta da mandioca adapta-se facilmente a solos com baixa fertilidade natural. Tal característica permite seu cultivo em áreas consideradas impróprias para a grande maioria das culturas alimentares. Por acumular amido em suas raízes tuberosas, a mandioca resiste a condições de seca, o que aumenta sua capacidade de adaptação às condições ambientais de relativo estresse hídrico por falta de água (BANDYOPADHYAY et al., 2006).

Cultura de crescimento geopositivo, sua produtividade é significativamente afetada por condições de solo que limitam o aprofundamento de suas raízes sendo seu cultivo também comprometido em áreas com relevo declivoso. As maiores produtividades são obtidas em solos que apresentam textura média, bem estruturados e com boas condições de drenagem. Solos encharcados, tais como os Gleissolos, a maioria dos Organossolos e alguns outros com caráter gleissólico, prejudicam consideravelmente a cultura em qualquer fase do seu desenvolvimento (SOUZA & SOUZA, 2000; CAVALCANTE, 2005).

A temperatura média do ar ideal situa-se entre os limites de 20 a 27°C, mas produz bem na faixa de temperatura de 16 a 38°C (SOUZA & SOUZA, 2000). A faixa mais adequada de precipitação pluvial para a mandioca está compreendida entre 1.000 e 1.500 mm.ano⁻¹. Em regiões semiáridas, com 500 a 700mm de chuva por ano, é necessário adequar a época de plantio ao período chuvoso para que não ocorra deficiência de água nos primeiros cinco meses de cultivo (SOUZA & SOUZA, 2000; CAVALCANTE, 2005). El-Sharkawy et al. (1989), em seus resultados cita a grande resistência da mandioca à deficiência hídrica. EMBRAPA (2012) salienta que, em muitos casos, a colheita da mandioca é geralmente realizada 14 a 16 meses após o plantio, e dependendo da época, pode incorrer em problemas de colheita devido ao excesso hídrico.

Na avaliação do potencial de um determinado ambiente para produção de lavouras nas condições naturais basicamente são consideradas as exigências das culturas em relação ao solo (aptidão pedológica) e em relação ao clima (aptidão climática). A partir do cruzamento dessas avaliações, chega-se a aptidão pedoclimática. Esta última, de fato, é que melhor representa o potencial e fetivo do ambiente para a produção agrícola do ponto de vista social, econômico e ambiental (MARQUES et al., 2010).

O Estado da Paraíba, com área de 56.372 km², apresenta variações significativas em relação ao solo, geologia, clima, vegetação e recursos hídricos. De acordo com EMBRAPA (2013), esta variação ambiental produz espaços com diferentes potencialidades de exploração agrossilvopastoril e riscos de degradação ambiental. No entanto, o conhecimento destas variações é de fundamental importância quando se pretende implantar estratégias de desenvolvimento rural em bases sustentáveis.

Portanto, este trabalho objetiva associar e mapear as informações de ordem pedológica e climática, caracterizando e indicando o potencial pedoclimático do Estado da Paraíba para a cultura da mandioca.

Material e Métodos

A área de estudo compreende o Estado da Paraíba que apresenta uma área de 56.372 km². Seu posicionamento encontra-se entre os paralelos 6°02'12" e 8°19'18"S, e entre os meridianos de 34°45'54" e 38°45'45"W (FRANCISCO, 2010).

O clima caracteriza-se por temperaturas médias elevadas, variando entre 22 a 30°C, uma amplitude térmica anual muito pequena, em função da baixa latitude e elevações (<700m). A precipitação varia entre 400 a 800mm anuais, nas regiões interiores semiáridos, e no Litoral, mais úmido, pode ultrapassar aos 1.600mm (VAREJÃO-SILVA et al., 1984).

O relevo apresenta-se de forma geral bastante diversificado, constituindo-se por formas de relevo diferentes trabalhadas por diferentes processos, atuando sob climas distintos e sobre rochas pouco ou muito diferenciadas. No tocante à geomorfologia, existem dois grupos formados pelos tipos climáticos mais significativos: úmido, subúmido e semiárido. O uso atual e a cobertura vegetal caracterizam-se por formações florestais definidas como caatinga arbustiva arbórea aberta, caatinga arbustiva arbórea fechada, caatinga arbórea fechada, tabuleiro costeiro, mangues, mata-úmida, mata semidecidual, mata atlântica e restinga (PARAÍBA, 2006).

As classes predominantes de solos área de estudo (Figura 1) estão descritas no Zoneamento Agropecuário do Estado da Paraíba (PARAÍBA, 1978), e estas diferem pela diversidade geológica, pedológica e geomorfológica; atendendo também a uma diversidade de características de solo, relacionadas à morfologia, cor, textura, estrutura, declividade e pedregosidade e outras características (FRANCISCO, 2010).

As classes de capacidade de uso dos solos da Paraíba estão apresentadas na fórmula básica da chave interpretativa descrita no Zoneamento Agropecuário do Estado da Paraíba (PARAÍBA, 1978), e estas se baseiam nas alternativas de uso e no grau de limitações. Onde a caracterização das classes de capacidade de uso leva em conta principalmente a maior ou menor complexidade das práticas conservacionistas, que compreendem além das práticas de controle da erosão, as complementares, de melhoramento do solo (FRANCISCO, 2010).

Neste trabalho a base principal de dados utilizada é o Zoneamento Agropecuário do Estado da Paraíba (PARAÍBA, 1978) e o mapa de solos do Plano Estadual de Recursos Hídricos (PARAÍBA, 2006) na escala de 1:200.000, representando a área de estudo e a ocorrência e distribuição das classes de solos predominantes no Estado.

Para elaboração dos mapas foi utilizado a base de dados de Francisco et al. (2014) elaborada no software SPRING 5.2.2 na projeção UTM/SAD69, onde contém o mapa digital de solos do Plano Estadual de Recursos Hídricos (PARAÍBA, 2006) atualizado em seus limites conforme (IBGE, 2009), e o mapa de classe de capacidade de uso da terra onde utilizando o Zoneamento Agropecuário do Estado da Paraíba (PARAÍBA, 1978) elaborou a classificação dos polígonos de solos à partir da chave da fórmula básica da classe de capacidade de uso da terra, onde foram interpretadas as unidades de solos e elaborado o mapa, sendo adotadas as cores das legendas conforme o manual de Lepsch et al. (1996).

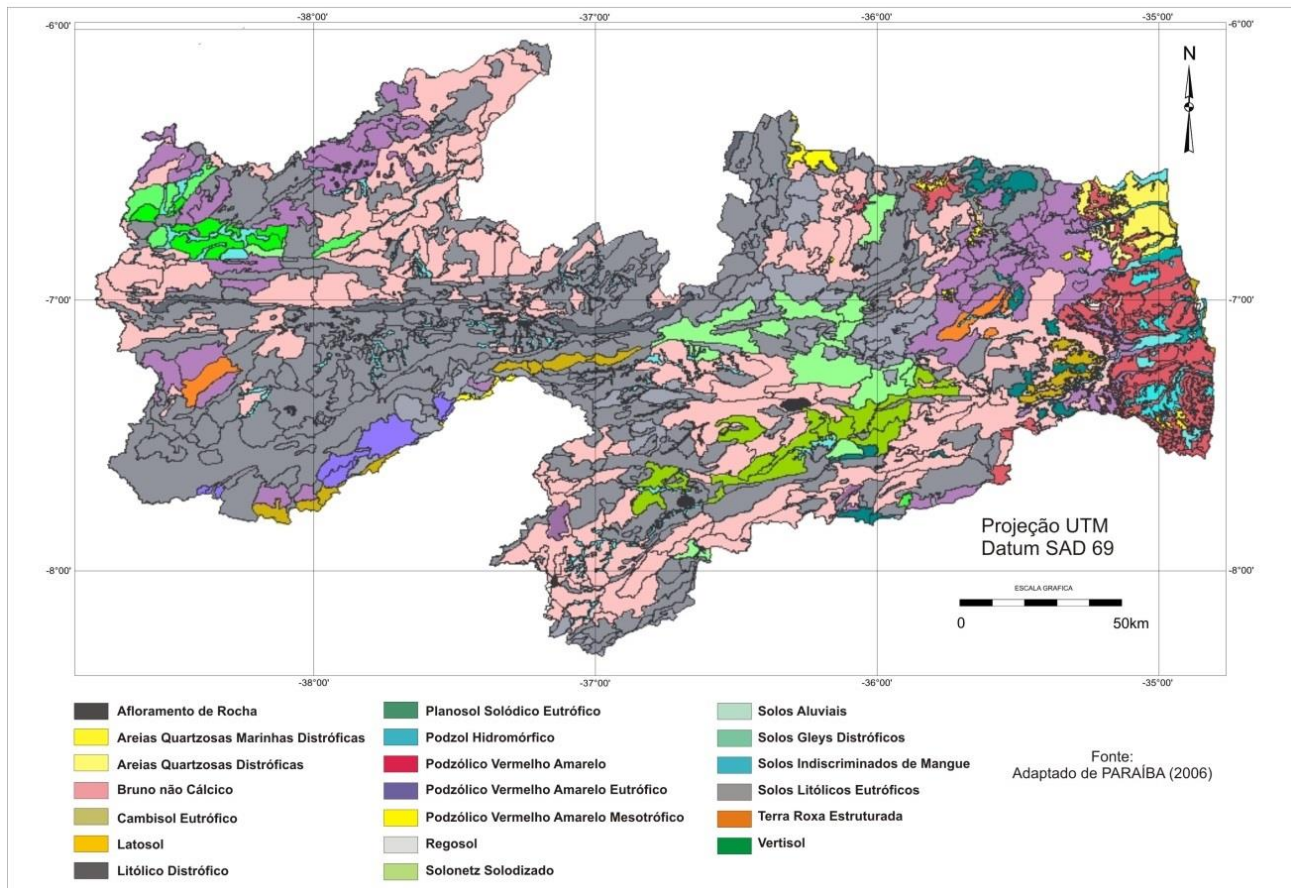


Figura 1. Solos do Estado da Paraíba. Fonte: Francisco et al. (2013).

Conforme a metodologia de PARAÍBA (1978), para a avaliação da cultura da mandioca foi eleita categorias de terras que apresentem de maneira geral os grupos de terras que apresentam as seguintes aptidões:

- Categoria 1 (Aptidão Plena): áreas com classes e/ou associações de classes de capacidade de uso, que são próprias para a cultura com limitações ligeiras de utilização, impostas pelas características dos solos, topografia e erosão. Correspondem as classes de Capacidade de Uso das categorias A e B do potencial das Terras.

- Categoria 1a (Aptidão Plena): áreas com classes de capacidade de uso da Categoria 1 próprias para culturas. Correspondem a todas as classes de Capacidade de Uso das categorias C1 e C2 do potencial das Terras.

- Categoria 2 (Aptidão Moderada): áreas com classes de capacidade de uso com limitações moderadas para utilização com a cultura, devido as características de fertilidade e/ou topografia. Correspondem as classes de Capacidade de Uso da categoria D1 do potencial das Terras.

- Categoria 2a (Aptidão Moderada): áreas com associações de classes de capacidade de uso com limitações moderadas para utilização com a cultura, devido as características de baixa fertilidade e/ou drenagem excessiva. Correspondem as classes de Capacidade de Uso da categoria D2 do potencial das Terras.

- Categoria 2b (Aptidão Moderada): áreas com associações de classes de capacidade de uso da Categoria 2 agrupadas com terras próprias para pastagens. Correspondem as classes de Capacidade de Uso da categoria D1 e D2 do potencial das Terras.

- Categoria 3 (Aptidão Restrita): áreas com classes de capacidade de uso com limitações severas para utilização com a cultura, devido as características de textura argilosa do solo e drenagem deficiente. Correspondem as classes de Capacidade de Uso da categoria F do potencial das Terras.

- Categoria I (Inapta): áreas impróprias para a exploração com a cultura, sendo representada por classes de capacidade de uso ou associações de classes cujas características dos solos e/ou topografia apresentam restrições severas para utilização, correspondendo as demais categorias do Potencial das Terras.

Nesta interpretação considerou-se apenas o potencial dos solos em sistema de manejo desenvolvido, que se caracteriza por aplicação mais ou menos intensiva do capital e um razoável nível de conhecimentos técnicos especializados, para a melhoria das condições dos solos e das culturas, não se justificando nem um baixo, nem um muito alto nível de manejo, com resultados duvidosos principalmente do ponto de vista econômico. As práticas de manejo são levadas a efeito, na maioria dos casos, com auxílio de tração motorizada e utilizando resultados de pesquisas agrícolas.

Para viabilizar a elaboração do mapa do potencial pedológico e também visando a padronização cartográfica os mapas foram categorizados de acordo com metodologia adaptada de EMBRAPA (2012) nas seguintes classes: Muito Alto - Categoria 1 (Aptidão Plena); Alto - Categoria 1a (Aptidão Plena); Média - Categoria 2, 2a, 2b e 2c (Aptidão Moderada); Baixo - Categoria 3 (Aptidão Restrita); Muito Baixo - Categoria I (Inapta).

Na metodologia de trabalho utilizaram-se os totais mensais de precipitações obtidos nos postos pluviométricos da Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba (AESÁ-PB). A utilização dos dados foi procedida de uma análise no tocante à sua consistência, homogeneização e no preenchimento de falhas em cada série. Para cada localidade com série de observação igual ou superior a vinte anos, foi considerado para o período disponível, independente do início.

Na elaboração deste trabalho foi estimado as médias mensais de temperatura do ar naqueles locais onde apenas se dispunham de dados de chuva. Na metodologia adotada foram utilizados valores da temperatura média do ar dos últimos 30 anos estimados pelo software Estima_T (CAVALCANTI & SILVA, 1994; CAVALCANTI et al., 2006). Na elaboração do mapa de pluviosidade foi utilizada a metodologia proposta por EMBRAPA (2012) e adaptada para o Estado da Paraíba por Francisco et al. (2015).

A discriminação dos cenários pluviométricos, anos secos, regulares e chuvosos, seguiu a metodologia proposta por EMBRAPA (2012). Para cada posto pluviométrico, foi estabelecido o total de precipitação pluviométrica registrado nos três meses consecutivos mais chuvosos de cada ano hidrológico completo.

Em seguida, a distribuição gama incompleta (ASSIS et al., 1996), seguindo a conceituação de Thom (1958), foi ajustada à série desses totais em cada posto, seguindo a metodologia indicada por Mielke (1976) e utilizada pela EMBRAPA (2012). A qualidade do ajustamento da curva teórica aos valores observados foi verificada pelo teste de Kolmogorov-Smirnov (MASSEY, 1980) ao nível de significância de 95%. Esses mesmos critérios foram aplicados em todas as séries pluviométricas. Como a curva de distribuição da chuva acumulada nos três meses consecutivos mais chuvosos é específica para cada posto, os valores correspondentes às probabilidades de 25, 50 e 75% também são específicos de cada posto (VAREJÃO-SILVA, 2001).

Os conjuntos dos anos secos, regulares e chuvosos de cada posto foram utilizados para obter as correspondentes médias mensais dos totais pluviométricos, necessárias para caracterizar os respectivos cenários. Os critérios para discriminar os anos hidrológicos de cada posto pluviométrico foram enquadrados em uma das categorias indicadas (VAREJÃO-SILVA, 2001): a) Anos secos - aqueles em que o total de precipitação, acumulado nos três meses consecutivos mais chuvosos, for igual ou menor que o valor correspondente à probabilidade de 25%; b) Anos chuvosos - aqueles cujo total de precipitação, acumulado nos três meses consecutivos mais chuvosos, é superior ao valor correspondente à probabilidade de 75%; c) Anos regulares - todos aqueles anos não classificados nas duas categorias anteriores.

No cálculo do índice de umidade foi utilizada a equação (Eq. 1) do balanço hídrico climatológico segundo Thornthwaite e Mather (1955) onde o Índice de umidade (Iu) de acordo com a expressão:

$$Iu = I_h - I_a \quad (1)$$

Em que: o índice hídrico (Ih) (Eq. 2) e índice de aridez (Ia) (Eq. 3) são calculados respectivamente por:

$$I_h = 100(\text{Exc}/\text{ETP}) \quad (2)$$

$$I_a = 100(\text{Def}/\text{ETP}) \quad (3)$$

Para avaliação de aptidão climática da cultura da mandioca foram utilizados os critérios conforme a metodologia adaptada de EMBRAPA (2012), onde o índice efetivo de umidade (Iu) foi utilizado como parâmetro (Tabela 1).

Tabela 1. Classes de aptidão climática

| Legenda | Aptidão Climática | Índice de umidade (Iu) |
|---------|--|------------------------|
| C3 | Moderada por excesso hídrico | $Iu \geq 40$ |
| C2 | Plena com período chuvoso prolongado | $-10 < Iu \leq 40$ |
| C1 | Plena | $-35 < Iu \leq -10$ |
| C4 | Moderada por deficiência hídrica | $-45 < Iu \leq -35$ |
| C5 | Inapta por deficiência hídrica acentuada | $Iu \leq -45$ |

Fonte: Adaptado de EMBRAPA (2012).

Na metodologia de trabalho, após a obtenção dos mapas do potencial pedológico e dos mapas da aptidão climática, nos cenários pluviométricos com anos chuvosos, regulares e secos, foram cruzados através da Linguagem Espacial Geográfica Algébrica (LEGAL), utilizando o software SPRING, e obtiveram-se os mapas do potencial pedoclimático do Estado da Paraíba para a cultura em estudo. As classes prováveis obtidas foram 4 classes e 25 subclasses do potencial pedoclimático (Tabela 2).

Conforme a metodologia da EMBRAPA (2012), o potencial pedoclimático é restringido pela limitação de solo e/ou de clima que ocorrer com maior intensidade no ambiente. Por exemplo, ambiente com potencial pedológico Alto e com aptidão climática Inapta, terá seu potencial pedoclimático limitado pelo clima. Da mesma forma, as áreas com clima favorável ao cultivo, mas com potencial pedológico restritivo, terão o potencial pedoclimático limitado por atributos de solo.

Tabela 2. Classes e subclasses do potencial pedoclimático

| Potencial pedológico (S) | Aptidão climática (C) | | | | |
|--------------------------|-----------------------|------------------|--------------------|--------------------|-------------|
| | C1 - Plena | C2 - Plena (PCP) | C3 - Moderada (EH) | C4 - Moderada (DH) | C5 - Inapta |
| S1 - Muito Alto | MA1 | MA2 | M3 | M4 | MB5 |
| S2 - Alto | A3 | A4 | M5 | M6 | MB6 |
| S3 - Médio | M1 | M2 | M7 | M8 | MB7 |
| S4 - Baixo | B1 | B2 | B3 | B4 | MB8 |
| S5 - Muito Baixo | MB1 | MB2 | MB3 | MB4 | MB9 |

Resultados e Discussão

Observa-se no mapa de potencial pedológico para a cultura da mandioca que não se identificou terras com potencial Muito Alto (Figura 2). De acordo com o mapa de potencial pedológico para a cultura da mandioca, identificou-se 6.331,06 km² de terras com Potencial Alto, representando 11,23% (Tabela 3) da área total do Estado distribuídas na região do Litoral e do Agreste ao sul do Estado, sob o Planalto da Borborema, e na região do Alto Sertão e no Sertão.

Tabela 3. Distribuição das classes do potencial pedológico da cultura da mandioca

| Classes do Potencial Pedológico | | | | | | | | | | | |
|---------------------------------|------|-----------------|-------|-----------------|------|-----------------|-------|-----------------|-------|-----------------|--------|
| Muito Alta | | Alto | | Média | | Baixo | | Muito Baixo | | Total | |
| km ² | % | km ² | % | km ² | % | km ² | % | km ² | % | km ² | % |
| 0,00 | 0,00 | 6.331,06 | 11,23 | 5.136,85 | 9,11 | 10.597,28 | 18,80 | 34.306,81 | 60,86 | 56.372,00 | 100,00 |

Observa-se por este trabalho que as áreas com Potencial Médio perfazem um total de 5.136,85 km², representando 9,11% da área total e estão distribuídas por todo o Estado. São áreas que, em sua maioria, ocorrem nas regiões do Cariri/Curimataú, no Sertão região do Agreste e no Litoral.

As áreas com Potencial Baixo perfazem um total de 10.597,28 km², representando 18,80% da área do Estado. Estas ocorrem em áreas na região do Agreste, no Cariri/Curimataú e na região do Sertão. As áreas com Potencial Muito Baixo perfazem um total de 34.306,81 km² de terras, correspondendo a 60,86% da área total distribuídas por todo o Estado. EMBRAPA (2012) comenta que este potencial baixo ocorre em função de fatores restritivos como solos rasos afloramentos de rochas, relevo declivoso,

presença de ambientes periodicamente inundados, fatores particularmente restritivos ao cultivo da mandioca.

De acordo com EMBRAPA (2012), a mandioca por se tratar de uma cultura de ciclo vegetativo longo, superior a doze meses, é considerada como referência neste trabalho somente o mapa de aptidão climática para anos regulares e consequentemente apresentado somente os resultados do potencial pedoclimático do cenário regular.

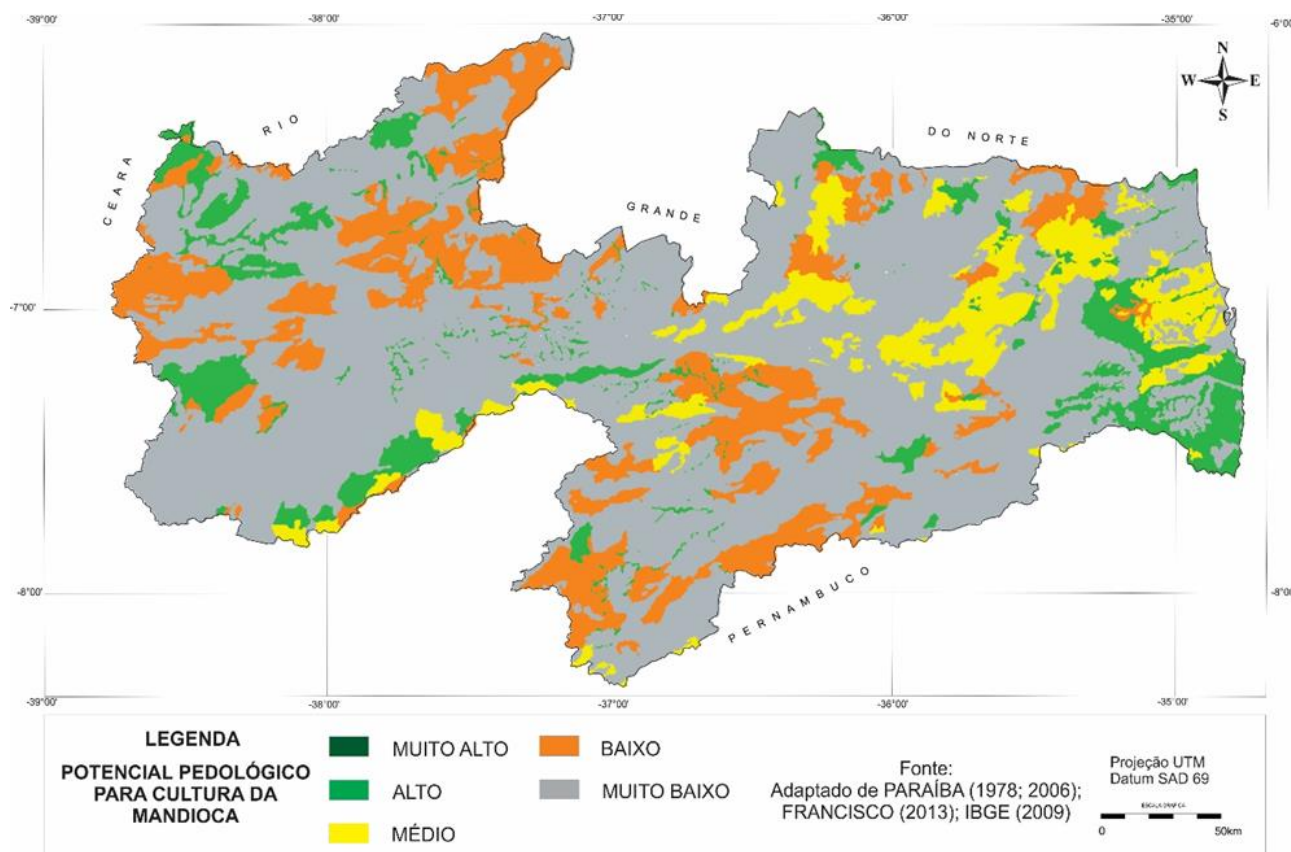


Figura 2. Potencial pedológico das terras do Estado da Paraíba para a cultura da mandioca.

Na Figura 3 observa-se a aptidão climática de cenário regular na classe Plena (C1), observa-se que 17.255,18 km² representando 30,6% da área total do Estado (Tabela 4), ocorrem na região do Agreste, Agreste Acatingado e na região do Brejo e em áreas próximas a divisa ao sul com o Estado de Pernambuco e ao norte com o Rio Grande do Norte. Na região do Sertão ocorre em uma maior área voltada ao sul e voltando a ocorrer em uma menor área na divisa Potiguar. Estas áreas surgem como climaticamente propícias ao desenvolvimento da cultura e passa a constituir a região do Estado com maior potencial à produção da mandioca.

Tabela 4. Classes de aptidão climática para a cultura da mandioca

| Legenda | Aptidão climática | Cenário pluviométrico Regular | |
|---------|--|-------------------------------|-------|
| | | km ² | % |
| C1 | Plena | 17.255,18 | 30,60 |
| C2 | Plena com período chuvoso prolongado | 4.362,12 | 7,74 |
| C3 | Moderada por excesso hídrico | 0,00 | 0,00 |
| C4 | Moderada por deficiência hídrica | 10.417,48 | 18,48 |
| C5 | Inapta por deficiência hídrica acentuada | 24.337,22 | 43,18 |

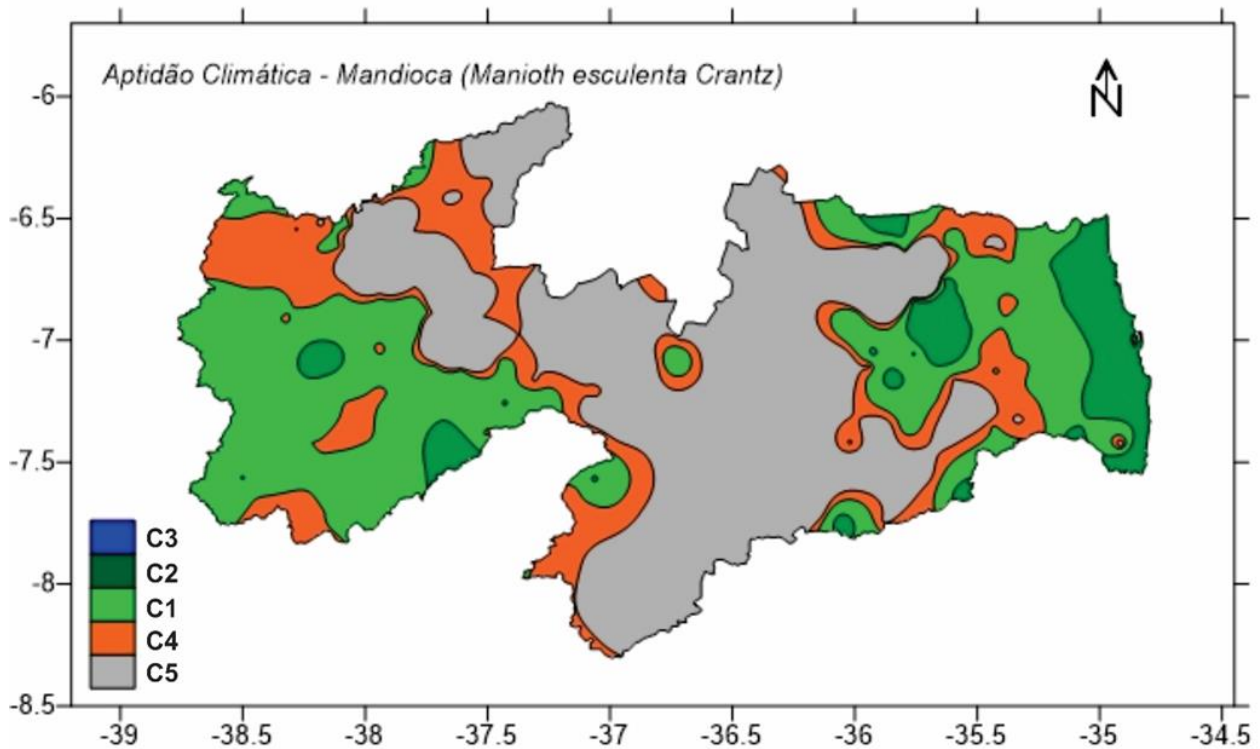


Figura 3. Aptidão climática para cultura da mandioca.

No mapa de aptidão climática para cultura da mandioca, observa-se que 7,74% da área do Estado com 4.362,12 km², apresenta aptidão climática plena com período chuvoso prolongado (C2). Estas áreas ocorrem entre o Litoral norte e sul do Estado ocorrendo também na região do Brejo, Agreste e no Sertão. Observa-se que para Estado da Paraíba não foram mapeadas áreas com aptidão climática da classe Moderada por excesso hídrico (C3). Para a classe de aptidão climática Moderada por deficiência hídrica (C4), observa-se que ocorrem na região do Agreste em uma faixa estreita entre a classe Plena e a Inapta e ocorrendo também entre o Planalto da Borborema, no Sertão Paraibano com 10.417,47 km² representando 18,48% do total. A classe de aptidão climática Inapta por deficiência hídrica acentuada (C5) com 24.337,22 km², representando 43,17% do total, se apresenta na região semiárida do Estado. No mapa de potencial pedoclimático da cultura da mandioca (Figura 4), observa-se que o potencial Muito Alto não está representado no mapeamento. Luz et al. (2011) elaborando a aptidão pedoclimática para a cultura da mandioca no Estado de Alagoas constatou que não houve resultados mapeados desta mesma classe de potencial pedológico para a cultura.

As áreas de potencial pedoclimático Alto abrangem 3.782,47 km², representando 6,71% da área total (Tabela 5), com ocorrência das subclasses A3 e A4, predominando a subclasse A3. Estas classes ocorrem principalmente na região do Litoral e Agreste, e em pequenas áreas na região do Brejo, na região do Sertão e na divisa com o Estado de Pernambuco, notadamente em ambientes por apresentarem solos de potencial pedológico Alto, e aptidão climática plena com período chuvoso prolongado. EMBRAPA (2013) em seus resultados observou somente 2% da área total de potencial pedoclimático da classe Alta.

Os ambientes de potencial Médio abrangem 4.985,63 km², representando 8,84% da área total, com ocorrência das subclasses M1, M2, M6 e M8, com predomínio da subclasse M1. Estas classes ocorrem distribuídas na região do Litoral, Agreste, Brejo e Sertão. Notadamente em ambientes por apresentarem solos de potencial pedológico Médio, e aptidão climática Plena e Moderada por deficiência.

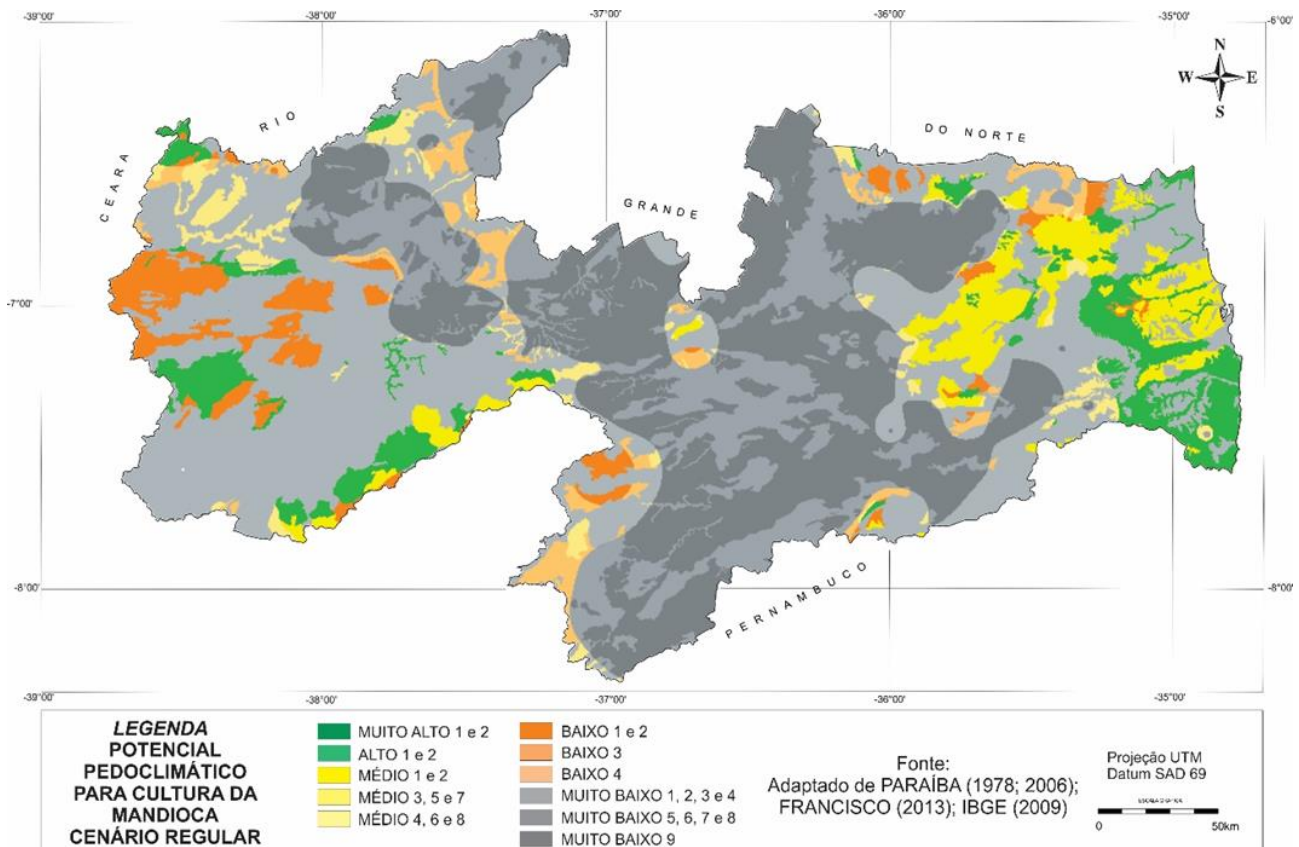


Figura 4. Potencial pedoclimático para cultura da mandioca cenário regular.

As áreas de potencial Baixo contemplam os ambientes com fortes limitações de solo e/ou de clima, abrangem 4.532,81 km², representando 8,04% da área total, com ocorrência das subclasses B1, B2 e B4 e predominância da subclasse B1. Ocorrem na região do Agreste, Cariri e Curimataú e no Sertão.

As áreas de potencial Muito Baixo contemplam os ambientes com fortes limitações de solo e/ou de clima, abrangem 43.071,09 km², representando 76,41% da área total, com ocorrência das subclasses MB1, MB2, MB4, MB6, MB7, MB8 e MB9, predominando a subclasse MB9. Estas classes ocorrem em quase todo Estado em razão da ocorrência de solos com aptidão baixa e por apresentarem aptidão climática Inapta com risco de déficit hídrico acentuado. EMBRAPA (2013), afirma que, não obstante em virtude do relevo mais movimentado há maior risco de erosão dessas terras se cultivadas sem práticas de conservação do solo e da água.

EMBRAPA (2013), elaborando o potencial pedoclimático de Alagoas, observaram resultados similares encontrados neste trabalho, relatando que esses ambientes com potencial Baixo e Muito Baixo têm predomínio de solos rasos e pouco profundos, além de outros com caráter sódico/solódico ou sálico/salino; e solos associados ao relevo movimentado e ao clima semiárido acentuado do Sertão do Estado.

Observa-se que há a possibilidade de cultivo da mandioca em pequenas áreas que não puderam ser identificadas por este trabalho estando diretamente relacionada ao nível imposto pela escala do levantamento de solo (1:200.000). Os resultados encontrados possibilitam a definição dos ambientes de potencial efetivo para exploração agrícola com vistas à alocação racional dos fatores de produção e seu desempenho econômico, fornecendo elementos para a introdução de áreas não tradicionais.

Tabela 5. Classes de aptidão pedoclimática para cultura da mandioca

| Classe | Subclasse | Cenário Regular | % |
|-------------|-----------|-----------------|--------|
| Muito Alta | MA1 | - | - |
| | MA2 | - | - |
| Alta | A3 | 2.711,90 | 4,81 |
| | A4 | 1.070,56 | 1,90 |
| Média | M1 | 1.925,34 | 3,42 |
| | M2 | 1.322,96 | 2,35 |
| | M3 | - | - |
| | M4 | - | - |
| | M5 | - | - |
| | M6 | 1.372,85 | 2,44 |
| | M7 | - | - |
| | M8 | 364,48 | 0,65 |
| Baixa | B1 | 2.430,18 | 4,31 |
| | B2 | 192,96 | 0,34 |
| | B3 | - | - |
| | B4 | 1.909,67 | 3,39 |
| Muito Baixa | MB1 | 10.186,71 | 18,07 |
| | MB2 | 1.779,55 | 3,16 |
| | MB3 | - | - |
| | MB4 | 6.770,79 | 12,01 |
| | MB5 | - | - |
| | MB6 | 1.172,19 | 2,08 |
| | MB7 | 1.560,24 | 2,77 |
| | MB8 | 6.056,02 | 10,74 |
| | MB9 | 15.545,59 | 27,58 |
| Total | | 56.372,00 | 100,00 |

Conclusão

São observadas diferenças significativas na extensão territorial das classes e subclasses de potencial pedoclimático do Estado da Paraíba, que apresenta variações de ordem pedológica e climática em seu território, influenciando no potencial pedoclimático para a cultura da mandioca.

O potencial pedoclimático Muito Alto não foi representado no mapeamento, devido as exigências da cultura.

Áreas mapeadas de potencial pedoclimático Alto, Médio e Baixo perfazem um total de 23,59% do total.

Agradecimentos

Ao CNPq/Fapesq pela concessão de bolsa de pesquisa ao primeiro autor.

Referência

- ARRUDA, A. DE S.; LOPES NETO, J. P.; MENDES, F. DE A.; MARQUES, J. I.; LEITE, P. G. Propriedades físicas e de fluxo da farinha de mandioca para o dimensionamento de silos. In: Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia, CONTECC 2014, Teresina. Anais...Teresina, 2014.
- ASSIS, F. N.; ARRUDA, H. V. DE; PEREIRA, A. R. Aplicações de estatística à climatologia: teoria e prática. Pelotas: UFPel, 1996. 161p.
- BANDYOPADHYAY, R.; MWANGI, M.; AIGBE, S. O.; LESLIE, J. F. Fusarium species from the cassava root rot complex in west Africa. *Phytopathology*, v.96, n.6, p.673-676, 2006.
- CARDOSO; C. E. L.; ALVES; R. N. B.; SANTANA, M. DO A.; LOPES, O. M. N. Custos de produção de mandioca no Brasil. In: Congresso Brasileiro de Mandioca, 11, Campo Grande, 2005. Anais...Campo Grande, 2005.
- CAVALCANTE, F. S. Consorciação de mandioca e feijão comum: viabilidade da exploração em agricultura familiar na Microrregião do Brejo Paraibano. 80f. Dissertação (Mestrado em Manejo do Solo e Água). Universidade Federal da Paraíba, Areia, 2005.

- CAVALCANTI, E. P.; SILVA, E. D. V. Estimativa da temperatura do ar em função das coordenadas locais. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, 8, 1994. Belo Horizonte, Anais...Belo Horizonte: SBMET, 1994, v.1, p.154-157.
- CAVALCANTI, E. P.; SILVA, V. DE P. R.; SOUSA, F. DE A. S. Programa computacional para a estimativa da temperatura do ar para a região Nordeste do Brasil. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.10, p.140-147, 2006.
- EL-SHARKAWY, M. A.; COCK, J. H.; PORTO, M. C. M. Características fotossintéticas da mandioca (*Manihot esculenta Crantz*). Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal, v.1, n.2, p.143-154, 1989.
- EMBRAPA. Mandioca e Fruticultura. 2016. Disponível em: www.embrapa.br/documents/1355135/1529009/Mandioca_Brasil_2013.pdf/f03ad3fa-7989-40e0-bc08-c1d18ebb6024. Acesso em: 25 de fevereiro de 2016.
- EMBRAPA. Zoneamento Agroecológico do Estado de Alagoas – ZAAL. ViZon. Embrapa Solos, UEP Recife, 2013. CDROM.
- EMBRAPA. Zoneamento Agroecológico do Estado de Alagoas. Potencial Pedológico do Estado de Alagoas para Culturas Agrícolas. Relatório Técnico. Convênios SEAGRI-AL/Embrapa Solos Nos 10200.04/0126-6 e 10200.09/0134-5. Recife: Embrapa Solos, 2012. 123p. Disponível em: <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/77202/1/Relatorio-Pot-Pedologico.pdf>. Acesso em: 15 de novembro de 2014.
- FAGUNDES, L. K. Desenvolvimento, crescimento e produtividade da mandioca em função de datas de plantio. 60f. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Universidade Federal de Santa Maria, 2009.
- FRANCISCO, P. R. M. Classificação e mapeamento das terras para mecanização do Estado da Paraíba utilizando sistemas de informações geográficas. 122f. Dissertação (Mestrado em Manejo de Solo e Água). Centro de Ciências Agrárias. Universidade Federal da Paraíba. Areia, 2010.
- FRANCISCO, P. R. M.; CHAVES, I. DE B.; LIMA, E. R. V. DE. Classificação de terras para mecanização agrícola e sua aplicação para o Estado da Paraíba. Revista Educação Agrícola Superior, v.28, n.1, p.30-35, 2013.
- FRANCISCO, P. R. M.; CHAVES, I. de B.; LIMA, E. R. V. de; SANTOS, D. Tecnologia da geoinformação aplicada no mapeamento das terras à mecanização agrícola. Revista Educação Agrícola Superior, v.29, n.1, p. 45-51, 2014.
- FRANCISCO; P. R. M.; MEDEIROS; R. M. DE; MATOS, R. M. DE; BANDEIRA, M. M.; SANTOS; D. Análise e Mapeamento dos Índices de Umidade, Hídrico e Aridez através do BHC para o Estado da Paraíba. Revista Brasileira de Geografia Física, v.8, n.4, p.1093-1108, 2015.
- FUKUDA, W. M. G.; IGLESIAS, C.; FUKUDA, C.; CALDAS, R. C. Melhoramento Participativo. In: SOUZA, L. S.; FARIAS, A. R. N.; MATTOS, P. L. P.; FUKUDA, W. M. G. (Ed.). Aspectos socioeconômicos e agrônômicos da mandioca. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2006. p.751-780.
- IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Censo agropecuário, 2006. Disponível em: www.ibge.gov.br. Acesso em: 26 de maio de 2014.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Levantamento sistemático da produção agrícola. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br> Acesso em: 26 de fevereiro de 2016.
- IBGE. Produção Agrícola Municipal. 2013. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/>. Acesso em: 18 de dezembro de 2014.
- LEPSCH, I. F.; BELLINAZZI JR., R.; BERTOLINI, D.; ESPÍNDOLA, C. R. Manual para levantamento utilitário do meio físico e classificação de terras no sistema de capacidade de uso. 4.a Aprox. SBCS, Campinas -SP, 1996, 175p.
- LUZ, L. R. Q. P. DA; BARROS, A. H. C. LEITE, A. P.; ARAÚJO FILHO, J. C.; SANTOS, J. C.P. DOS; OLIVEIRA NETO, M. B. DE; SILVA, A. B. DA; PARAHYBA, R. DA B. V. Aptidão pedoclimática para a cultura da mandioca (*Manihot Esculenta Crantz*) no estado de Alagoas. Dados eletrônicos. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011. 38p. (Documentos/Embrapa Solos, ISSN 1517-2627; 146). Disponível em: <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/91555/1/DOC-146-Mandioca-Alagoas.pdf>. Acesso em: 5 de maio de 2016.
- MAPA. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. BINAGRI SISLEGIS. Portaria 465/2011 de 05/12/2011. Disponível em: <http://sistemasweb.agricultura.gov.br/sislegis/action/detalhaAto.do?method=visualizarAtoPortalMa&chave=138750381>. Acesso em: 5 de maio de 2016.

- MARQUES, F. A.; ARAÚJO FILHO, J. C. DE; BARROS, A. H. C.; LOPES, E. H. B.; BARBOSA, G. M. N. Aptidão pedoclimática das culturas dos feijões caupi e comum para o estado de Alagoas. In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 33, Uberlândia, 2010. Anais...Uberlândia: RBCS, 2010. p.1-4.
- MASSEY JR, F. J. The Kolmogorov-Smirnov test of goodness of fit. *Journal of American Statistical Association*, v.46, p.68-78, 1980.
- MIELKE, P. W. Simple iterative procedures for two-parameter gamma distribution maximum likelihood estimates. *Journal of Applied Meteorology*, v.15, n.12, p.181-183. 1976.
- PARAÍBA. Governo do Estado. Secretaria de Agricultura e Abastecimento – CEPA-PB. Zoneamento Agropecuário do Estado da Paraíba. Relatório ZAP-B-D-2146/1. UFPB-Eletro Consult Ltda., 1978. 448p.
- PARAÍBA. Secretaria de Estado da Ciência e Tecnologia e do Meio Ambiente. Agência Executiva de Gestão de Águas do Estado da Paraíba, AESA. PERH-PB: Plano Estadual de Recursos Hídricos: Resumo Executivo e Atlas. Brasília, DF, 2006. 112p.
- VAREJÃO-SILVA M. A.; BRAGA, C. C.; AGUIAR M. J. N.; NIETZCHE M. H.; SILVA, B. B. Atlas Climatológico do Estado da Paraíba. UFPB, Campina Grande, 1984.
- SOUZA, L. D; SOUZA, L. S. Clima e solo. In: MATTOS, P. L. P.; GOMES, J. C. O cultivo da mandioca. Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical. Circular Técnica, 37. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical, 2000. p.11-13.
- THOM, H. C. S. A note on the gama distribution. *Monthly Weather Review*, v.86, p.117-122. 1958.
- THORNTHWAITE, C. W.; MATHER, J. R. The water balance. *Publications in Climatology*. New Jersey: Drexel Institute of Technology, 1955. 104p.
- VAREJÃO-SILVA, M. A. Meteorologia e climatologia. Brasília, DF: INMET, 515p. 2001.
- VAREJÃO-SILVA, M. A.; BRAGA, C. C.; AGUIAR M. J. N.; NIETZCHE, M. H.; SILVA, B. B. Atlas Climatológico do Estado da Paraíba. UFPB, Campina Grande, 1984.

Capítulo 12**USO DE GEOTECNOLOGIAS APLICADAS À PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS EM ÁGUAS DE POÇOS PÚBLICOS NA ZONA URBANA DE TRIUNFO/PB****¹George do Nascimento Ribeiro****²Santana Lívia de Lima****³Paulo da Costa Medeiros****⁴Welinágila Grangeiro de Sousa****⁵Rafaela Ribeiro Barbosa****⁶Renato Luiz Farias Lima**¹Professor Adjunto, UFCG/CDSA/UAEBB/Campus Sumé, george@ufcg.edu.br^{2,4,5,6}Acadêmicos em Engenharia de Biosistemas, UFCG/CDSA/Campus Sumé, livialima24s@gmail.com; welinagilagrangero@bol.com.br; rafaela.r.barbosa@bol.com.br; renato-luiz18@live.com³Professor Adjunto, UFCG/CDSA/UATEC/Campus Sumé, medeirospc@gmail.com**Introdução**

A água é primordial para a vida sendo, porém, um recurso limitado e dotado de valor econômico. Sua escassez pode ocorrer, tanto por condições climáticas/hidrológicas e hidrogeológicas. Fundamental para a vida, a água, composto formado por hidrogênio e oxigênio, cobre mais de 70% do globo terrestre. A ocorrência em sua forma natural (inodora, incolor e insípida) vem sofrendo, nas últimas décadas, impactos negativos quanto a sua qualidade e quantidade. Uma substância de grande relevância e de necessidade incontestável, podendo ser considerada como o bem mais precioso do planeta (COUTINHO, 2015).

A “crise” da água doce no mundo se faz presente sob duas vertentes: quantitativa, com escassez nos corpos superficiais, como em rios e lagos, ou nos corpos subterrâneos, armazenadas nos aquíferos; e qualitativa, em relação aos desejáveis parâmetros físicos, químicos e bacteriológicos. Ambos aspectos devem permitir potencial (oferta) disponibilidade hídrica para atenderem as reais demandas atuais e futuras em relação às diferentes formas de uso, rural, doméstico e industrial (BORDALO, 2012).

A água pode ser classificada potável quando a mesma atende os parâmetros requeridos pela portaria nº 2.914 de 12 de dezembro de 2011, do ministério da saúde. A mesma estabelece procedimentos e responsabilidades relacionados ao controle da qualidade da água para consumo humano (BRASIL, 2012). No planeta Terra, aproximadamente 97% da água encontra-se nos oceanos, 2% congelada em geleiras e apenas 1% encontra-se na forma superficial e mais abundantemente na forma subterrânea (NUMMER, 2011).

As águas subterrâneas são águas de subsuperfície, mas para a hidrogeologia é aquela que circula na “zona saturada”, ou seja, abaixo do nível freático, representando 21% do total da água doce do planeta ou 97% da água doce não-congelada (CPRM, 2005).

Apesar da importância que as águas subterrâneas representam para o abastecimento de cidades, a sua qualidade vem se demonstrando deteriorada em função da deficiência de sistema de esgotamento sanitário e de tratamento que possibilite uma disposição final adequada dos efluentes domésticos (STEIN et al., 2012). Em muitos lugares do mundo a maior parte de água potável é de origem subterrânea. Em regiões áridas e semiáridas como o nordeste do Brasil, Austrália e Líbia (regiões desérticas) tem a água subterrânea como o único recurso hídrico disponível para uso humano (LEAL, 1999).

Uma caracterização aproximada da ideia de risco de poluição das águas subterrâneas consiste na associação e interação da vulnerabilidade natural do aquífero com a carga poluidora aplicada no solo ou em subsuperfície. Isso significa que se pode ter uma situação de alta vulnerabilidade, porém, sem risco de contaminação se não existir carga poluidora significativa, ou vice-versa. A carga poluidora pode ser controlada ou modificada; mas o mesmo não ocorre com a vulnerabilidade natural, que é uma propriedade intrínseca do aquífero (KEMERICH et al., 2011).

A água contaminada é usualmente absorvida pelo corpo humano por ingestão, mas alguns contaminantes podem também ser absorvidos por inalação ou via contato dérmico e, dependendo do tipo de contaminação, diferentes órgãos podem ser atingidos por diferentes contaminantes (FILHO & ROCHA, 2015). A água poluída pode levar à transmissão de doenças e transportar substâncias químicas

venenosas. Esta água pode fazer com que as pessoas adoeçam ou mesmo morram. O uso frequente de poços artesianos pode ocasionar a contaminação das águas subterrâneas (SILVA, 2010).

A escassez das chuvas vem castigando estados e municípios brasileiros, as crises hídricas tem deixado muitas famílias sem água, parte dos reservatórios que abastecem as cidades estão totalmente secos ou usando a água do seu volume morto, a exemplo do açude de Gamelas que abastece o município de Triunfo-PB, localizado na microrregião de Cajazeiras. Desde o ano de 2012 a população triunfense está sem água saneada, o município vem sendo abastecido por carros pipas, que trazem água de outros municípios ou estados. Não obstante, essa água, que é disponibilizada pelos carros pipas, não é suficiente para abastecer toda a população da cidade, tanto a zona urbana bem como a zona rural.

É de conhecimento empírico, que boa parte da população triunfense optou pela perfuração de poços tubulares profundos. A partir do ano de 2012, a quantidade de perfuração desses poços aumentou de forma expressiva. A população faz uso indiscriminado da água captada em poços, sem nenhum tipo de tratamento, utilizando este recurso para o consumo geral, limpeza, cozimento de alimentos e para beber. Esse uso é feito sem nenhum cuidado sanitário hídrico, muitos não fazem nenhum tipo de tratamento, como uso de cloro, fervura e/ou filtração.

Atualmente experimenta-se uma maior vulnerabilidade à contaminação dos mananciais e, conseqüentemente, uma inconstância ou incapacidade de atender a população com abastecimento de água de qualidade, nos padrões de classe de acordo com o uso a que se destina. Para cada tipo de utilização do recurso hídrico, a água deve estar enquadrada no padrão da classe à qual se destina. A classificação dos corpos de água está determinada na Resolução CONAMA Nº 357/05, que indica, de acordo com a classe, o tipo de tratamento adequado (FILHO & ROCHA, 2015).

De acordo com Mesquita et al. (2012), as geotecnologias constituem hoje um conjunto de ferramentas aplicáveis para obtenção de dados a serem utilizados no planejamento e mapeamento, tanto em níveis regionais quanto em níveis municipais. As geotecnologias permitem a extração de informações, que por sua vez, serão entrada de dados na fase de modelagem, e reforçando a apresentação dos resultados das simulações através de mapas. Modelagens dessa natureza vêm sendo empregada, principalmente, no gerenciamento de recursos hídricos, onde a tomada de decisões embasada nos resultados de simulações computacionais, contribuem para evitar prejuízos materiais e financeiros, e ainda, perdas de vidas humanas em áreas de risco (CORREIA et al., 2015).

Assim sendo, a presente pesquisa teve como premissa caracterizar a qualidade e a distribuição espacial das águas de poços públicos da zona urbana do município de Triunfo-PB, por meio de geotecnologias e análises físico-químicas. Em consonância para obtenção dos resultados, lançou-se mão de estratégias, tais como: caracterizar as estruturas dos poços subterrâneos; utilização de geotecnologias para o levantamento da localização dos poços públicos da zona urbana do município; análise de parâmetros físico-químicos das águas de poços subterrâneos da zona urbana; elaboração de mapa altimétrico da zona urbana do município; elaboração de mapas de isovalores dos parâmetros físico-químicos das águas subterrâneas (pH, Condutividade Elétrica, Cloretos, Alcalinidade e Dureza Total).

Material e Métodos

O município de Triunfo (Figura 1) está localizado na região oeste da Paraíba na microrregião de Cajazeiras, se estende por uma área 219,9 km² e apresenta uma população de 9.410 habitantes, a densidade demográfica é de 41,9 habitantes.km². Triunfo está situado a 294 metros de altitude, com as coordenadas geográficas central de 6°34'54" de latitude sul e 38°35'36" de longitude oeste. Limitando-se ao sul com a cidade de Santa Helena, a leste com Poço José de Moura, a nordeste com Joca Claudino, a norte Bernardino Batista e a oeste com Umari no estado do Ceará, o município fica a cerca de 513 km da capital João Pessoa (IBGE, 2008).

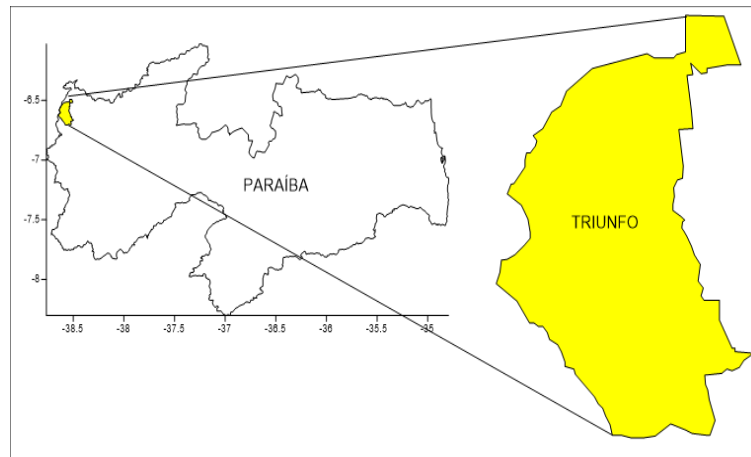


Figura 1. Imagem da localização do município de Triunfo-PB.

Segundo BRASIL (2005), em termos climatológicos o município está inserido no denominado “Polígono das Secas”, constituindo um clima do tipo Aw (de acordo com a classificação climática de Köppen) clima tropical com estação seca. As temperaturas são elevadas durante o dia, amenizando a noite, com variações anuais dentro de um intervalo 23 a 30°C, com ocasionais picos mais elevados, principalmente durante a estação seca. O regime pluviométrico, além de baixo é irregular com médias anuais de 776,9 mm/ano e mínimas e, máximas de 394,1 e 1643,5 mm/ano, respectivamente. No geral, caracteriza-se pela presença de apenas 02 estações: a seca que constitui o verão, cujo clímax é de setembro a dezembro e a chuvosa denominada de inverno, restrito a um período de 3 a 4 meses por ano. Tendo como base os mapas Geológico e Geomorfológico do estado da Paraíba (PARAÍBA, 2006), foram confeccionadas as respectivas figuras para o município de Triunfo-PB (Figura 2).

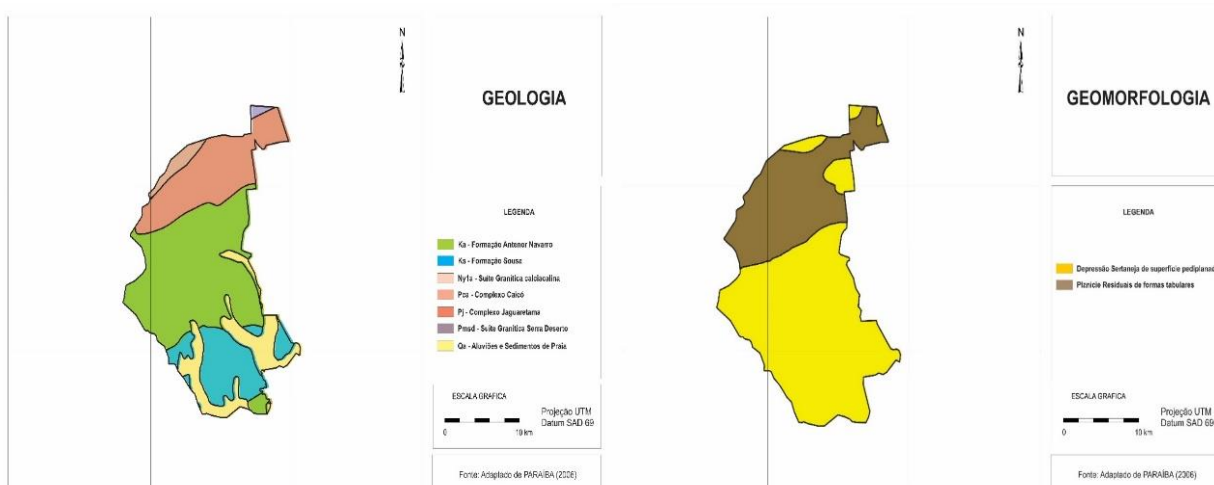


Figura 2. Mapa da Geologia e Geomorfologia do município de Triunfo-PB.

A vegetação é de pequeno porte, típica de caatinga xerófila, onde se destaca a presença de cactáceas, arbustos e árvores de pequeno a médio porte. Os solos são resultantes da desagregação e decomposição das rochas cristalinas do embasamento, sendo em sua maioria do tipo Podzólico vermelho-amarelo de composição areno-argilosa (ARGISSOLOS), tendo-se localmente Latossolos (LATOSSOLOS) e porções restritas de solos de aluvião (NEOSSOLOS). O município encontra-se inserido nos domínios da bacia hidrográfica do Rio Piranhas, sub-bacia do Rio do Peixe. Seus principais afluentes são: o Rio do Peixe e os riachos: da Tapera, das Gamelas, Cambito, Condado e Poço da Jurema. Todos os cursos d’água no município têm regime de escoamento intermitente e o padrão de drenagem é o dendrítico (BRASIL, 2005).

A localização geográfica dos poços foi determinada com o uso de um GPS Garmin Etrex10 (Sistema de coordenadas UTM – SAD69). Para o levantamento de campo, utilizou-se a metodologia Stop and Go, que consiste em locar o ponto e permanecer por no mínimo 15 minutos para a obtenção dos dados referenciais.

Foram observados ao todo, 13 (treze) poços públicos, onde 9 (nove) estavam em pleno funcionamento, não obstante, foram observados que 4 (quatro) estavam sem funcionamento, por falta de manutenção. Para a determinação das características físicas e operacionais de cada poço estudado, foi utilizada uma ficha informativa para a obtenção de dados de: vazão, situação do poço (se estava ativo ou inativo), profundidade, dados construtivos, utilização da água e as condições ambientais no entorno dos poços, por meio de análises visuais e registros fotográficos.

A coleta das amostras das águas foi realizada no mês de janeiro de 2017, nos dias 27 e 28. As amostras foram coletadas diretamente nos registros acoplados às caixas d'água, no qual abria-se os registros, deixando a água sair um pouco para que, a porção que estivesse no interior da tubulação, escoasse, levando possíveis impurezas, uma vez que a maioria se encontrava-se exposta diretamente ao sol e às intempéries. Posteriormente foram colocadas as amostras em recipientes plásticos esterilizados de capacidade de 1,0 L, onde os mesmos só foram abertos no momento de realizar as análises físico-químicas no laboratório. Os recipientes com as amostras foram mantidos em caixa térmica, sob uma temperatura média de 25°C, temperatura ideal para realização das análises.

Foram coletadas amostras de nove (09) poços tubulares públicos que abastecem uma significativa parte da população na zona urbana do município de Triunfo-PB. A identificação dos poços em estudo (Figura 3) foi a seguinte: Bairro Francisco Liberato (Poço 1), Bairro Francisco Liberato 2 (Poço 2), Chafariz Centro (Poço 3), Rua Bernadinho Batista (Poço 4), Bairro Luiz Gomes de Brito (Poço 5), Rua 7 de Setembro (Poço 6), Bairro Santa Cecília (Poço 7), Avenida da Paz, Bairro Luiz Gomes de Brito (Poço 8) e Bairro Bela Vista (Poço 9).



Figura 3. Localização dos poços tubulares públicos na zona urbana de Triunfo.

As análises laboratoriais foram feitas no período de 08 a 11 do mês de fevereiro de 2017. As análises dos parâmetros físico-químicos (pH, Condutividade Elétrica, Dureza Total, Dureza do Cálcio, Dureza do Magnésio, Cloretos e Alcalinidade) foram realizadas no Laboratório de Qualidade de Águas da UFCG/campus Sumé. Além de efetuar as avaliações das características físico-químicas da água de

nove poços artesianos na área urbana, que foram confrontados com os valores preconizados pela Portaria Nº 2.914/2011 (BRASIL, 2005), foi procedida a caracterização de cada poço observando, entre outros parâmetros, suas: localizações geográficas, atuais condições de uso, verificação de ações antrópicas tais como da presença de fossas ou esgoto perto dos poços; os quais, são fatores que interferem diretamente na qualidade da água.

Para auxiliar nas discussões, coletou-se informações por meio de perguntas e conversas com a população que reside nas proximidades dos poços, utilizadores reais e potenciais das águas, com o intuito de saber quantas famílias/pessoas eram abastecidas com aquela água, assim como dá-se a utilização da mesma pelos usuários.

As leituras de pH foram determinadas utilizando um pHmetro da marca BEL ENGINEERING W3B pH METER, calibrado entre os valores de 4,7 e 10, à uma temperatura de 25°C. A Condutividade Elétrica (CE) foi determinada utilizando o condutivímetro da marca MS TECNOPON, calibrado de acordo com o seu manual. O Cloreto foi determinado pelo método de Mor, onde estes são titulados com uma solução de nitrato de prata 0,05N, precipitando o cloreto de prata, o final sendo determinado pela presença de cromato de potássio a 5%, o mesmo reage com o excesso de prata.

Para o parâmetro alcalinidade, esta foi determinada por meio de titulação de neutralização de ácido/base, com a presença de um indicador, e é expressa em termos de mg/L^{-1} de CaCO_3 . A dureza foi determinada através do método de complexação, onde o processo constitui na titulação da dureza com uma solução padrão de ácido etilenodiamino tetra acético (EDTA 0,025N). Esses compostos, formam íons complexos muito estáveis com o cálcio, o magnésio, em presença do indicador apropriado, que revela quando os íons causadores da dureza foram complexados.

Para a geolocalização dos poços artesianos, foram levantados os dados de longitude, latitude e altitude de cada ponto. Tal qual citado anteriormente, foi utilizado o GPS Garmin Etrex 10. Utilizando um editor de planilha eletrônica, foi elaborada uma tabela apresentando os dados de latitude (variável Y - ordenada) e longitude (variável X - abscissa) concernente à cada poço levantado, atrelados à eles estavam dispostos os dados físico-químicos de cada poço, no qual estes últimos valores serviram como a terceira variável (variável Z) para a produção dos mapas.

A confecção dos mapas de isovalores foi procedida com a utilização de um programa computacional que realiza sofisticados processos de interpolação transformando dados XYZ em mapas de alta qualidade tridimensionais.

Resultados e Discussão

Na Figura 4 é apresentada a distribuição espacial dos poços públicos do município de Triunfo-PB. Diante dessa figura pode-se constatar que esses estão instalados unicamente na zona urbana do município. De acordo com os dados informados pela população durante a coleta de dados em campo, a água é utilizada para fins diversos sem restrições de uso e sem nenhum tratamento prévio.

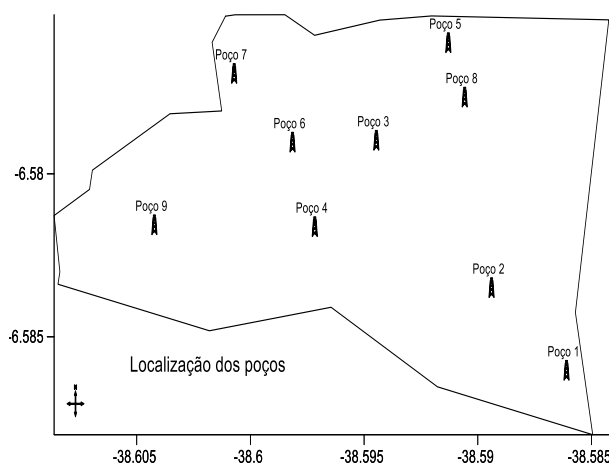


Figura 4. Distribuição espacial dos poços públicos da zona urbana de Triunfo-PB.

Confrontando os mapas da Figura 4 e o que corresponde ao Mapa Altimétrico (Figura 5) é possível observar que a maioria dos poços públicos são encontrados na região central da zona urbana, no qual apresenta as menores altitudes do recorte em estudo, à saber, 309 a 312m. É possível ainda fazer a observação de que a altitude da região variou entre 308,5 a 322,5m. Na Figura 5 estão destacadas as

linhas de água, ou seja, o sentido para qual a água é preferencial na região em estudo. Apenas o poço 9 está localizado na área de maior altitude da região.

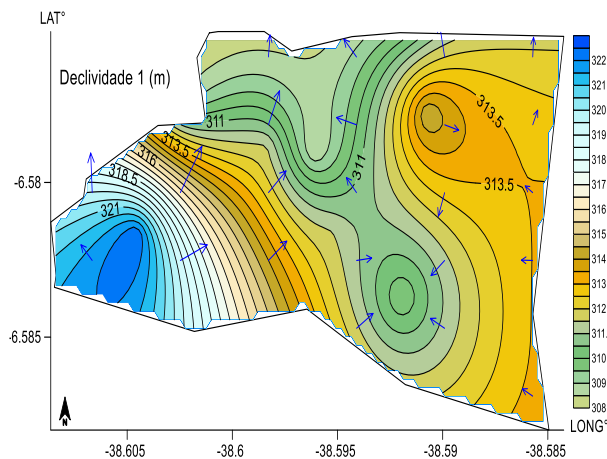


Figura 5. Imagem da declividade da região estudada (m).

De comum conhecimento, a exploração de águas de poços apresenta maior carga hidráulica em regiões de baixios, no qual se observa a maior facilidade para sua obtenção, conseqüentemente instalação de poços subterrâneos. Esse fato pode ser observado na Figura 6, no qual demonstra a produção de micro-bacias hidrográficas da região estudada. Não diferenciando do usual, o padrão verificado é que os sentidos das águas escorrem para o ponto central da zona urbana.

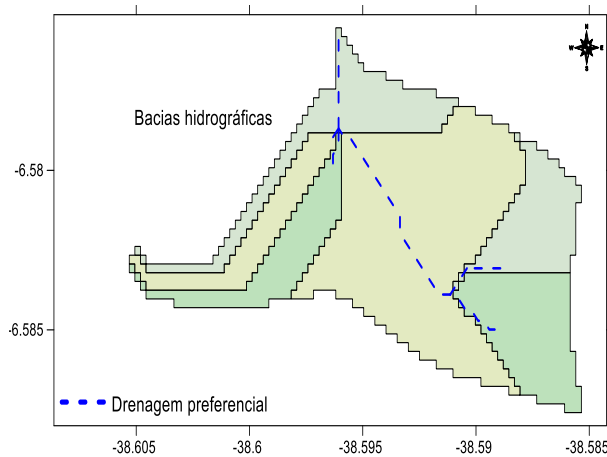


Figura 6. Modelo de Bacias hidrográficas referentes à zona urbana do município de Triunfo-PB.

De acordo com os dados levantados em campo, pode-se verificar que os poços analisados são do tipo "Tubulares Não Jorrantes", no qual sua perfuração fora feita por máquinas especializadas, procedido de acordo com licitações promovidas pela Prefeitura Municipal de Triunfo-PB.

Um dos problemas que deve ser destacado para a área estudada, e que é corroborado por Lima et al. (2015), é a poluição das águas subterrâneas que se concentra mais em áreas urbanas, onde se encontram grandes volumes de fontes de poluição, como esgotos não tratados e lixões. Em razão do crescimento natural da população em ambientes urbanos, e, por conseguinte, dessa contaminação das águas, o suprimento de água potável e de boa qualidade nas áreas mais desenvolvidas torna-se cada vez mais difícil e de maior custo (FOSTER, 1993).

Na Figura 7 é possível observar o mapeamento para a vazão dos poços públicos da zona urbana de Triunfo-PB, onde os mesmos demonstraram valores bem heterogêneos com variação de 1800 a 8000 $m^3.h^{-1}$, com média de 5.422 $m^3.h^{-1}$. Pelo o maior número de poços na região central do município, foi observado que os menores valores de vazão estão associados às localizações desses. Já o poço que se encontra na maior altitude da zona (Poço 9), lá é que se encontra a maior vazão em estudo (8.000 $m^3.h^{-1}$).

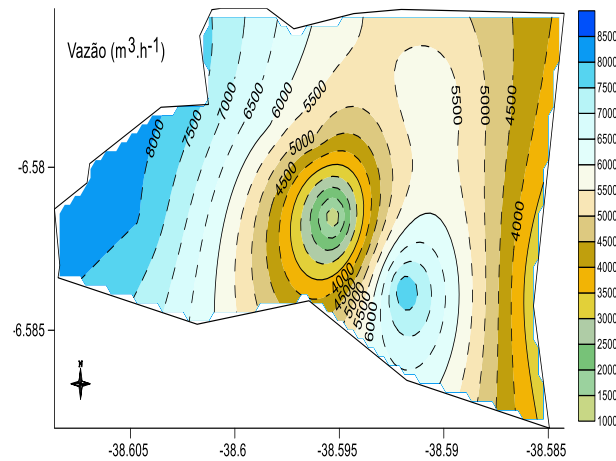


Figura 7. Imagem de vazão dos poços públicos da zona urbana de Triunfo-PB.

Das águas extraídas dos poços foram analisados os seguintes parâmetros: pH; Condutividade Elétrica; Alcalinidade; Dureza do Cálcio; Dureza do Magnésio; Dureza Total e Cloreto. Esses valores foram confrontados com os preconizados pela Portaria N° 2914 de 12/12/2011, do Ministério da Saúde, conforme citado anteriormente, em relação aos padrões de potabilidade para o consumo humano.

Por meio da Figura 8, é possível observar a distribuição do pH; além do mais, os maiores valores de pH estão situados numa região de baixa altitude da zona urbana da cidade, onde estão localizados os poços 1, 2, 4 e 7, região por onde escorre a maior quantidade de água durante o período das chuvas (Figura 6).

Os poços 7 e 4 estão situados no centro da cidade, e os poços 1 e 2 estão localizados numa região distante do centro da cidade. Essas duas regiões se diferenciam em relação à algumas características básicas, pois, o centro da cidade é todo pavimentado, com calçamento e rede de esgoto e a segunda região não possui pavimentação, não tem rede de esgoto e existem muitas fossas construídas nas proximidades dos poços como também o fossão da cidade (Figura 9).

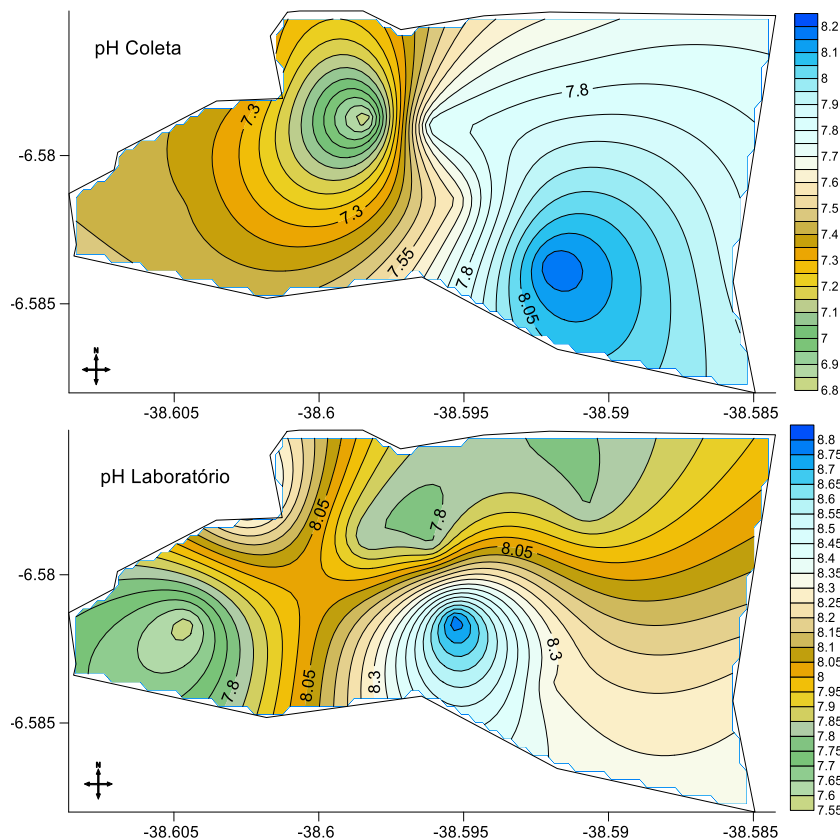


Figura 8. Imagem comparativa entre os valores de pH em laboratório e no ato da coleta das águas de poços da zona urbana em estudada.



Figura 9. Imagem do fossão da cidade (a esquerda) e rua não pavimentada (a direita).

Soares e Maia (1999) reportam que o valor do pH é importante, uma vez que apresenta relação direta com o crescimento bacteriano, já que para a maioria das bactérias o pH ótimo para seu desenvolvimento se concentra entre 6,5 e 7,5. Em estudo na região sudoeste do Paraná, observando o padrão físico-químico e microbiológico da água de nascentes e poços rasos de propriedades rurais, Daneluz e Tessaro (2015), reportaram que o consumo de água de poços rasos e nascentes, na situação avaliada, pode representar risco à saúde pública, portanto, capaz de transmitir enfermidades de veiculação hídrica.

Ademais, quando comparados os valores de pH obtidos no ato da coleta e no laboratório é notório que os mesmos permanecem dentro dos padrões estabelecidos pela portaria nº 2.914 de 12 de dezembro de 2011 do Ministério da Saúde; não obstante, foi observada uma diferença entre os valores de pH obtidos na coleta e no laboratório, no qual essa diferença pode ser decorrente das condições de armazenamento e transporte das amostras do local de coleta até o laboratório onde foram realizadas as análises.

Segundo Richter (2011), a água pode ser classificada em mole quando seu valor de dureza é ($< 50 \text{ mg.L}^{-1}$); quando a dureza está entre ($50\text{-}150 \text{ mg.L}^{-1}$), ela é moderadamente dura; entre ($150\text{-}300 \text{ mg.L}^{-1}$) é considerada dura, e valores acima de (300 mg.L^{-1}) é considerada muito dura. Em relação ao consumo de águas classificadas como dura ou muito, não há restrições ao seu uso para o consumo humano. Águas com quantidades muito elevadas de cálcio e magnésio podem causar incrustações. A dureza total dos poços analisados variou de 68 a 645 mg.L^{-1} . Esses valores em sua grande maioria não ultrapassam o valor máximo permitido de acordo com a portaria nº 2.914 de 12 de dezembro de 2011 do ministério da saúde.

Os valores de dureza total nos poços 1, 2, 5, 7, 8 e 9 ultrapassaram 100 mg.L^{-1} , logo, podem ser consideradas como água moderadamente dura e dura, e para o poço 3 sua água pode ser considerada muito dura, contudo, para esses poços citados anteriormente, os valores não ultrapassaram o valor máximo permitido de 500 mg.L^{-1} , excetuando-se a água do poço 6 que ultrapassou o valor máximo permitido, sendo assim considerada imprópria para o consumo humano (BRASIL, 2011).

Mediante a Figura 10 é possível observar que os maiores valores de dureza são encontrados no centro da cidade de Triunfo-PB, onde estão localizados os poços 3 (três) e 6 (seis). De acordo com a FUNASA (2014) a principal fonte de dureza nas águas é quando ocorre a passagem pelo solo e acontece a dissolução da rocha calcária pelo gás carbônico da água, desta forma, as águas apresentam altos níveis de dureza. Resultados semelhantes foram encontrados por Eckhardt et al. (2009), em trabalho realizado sobre o mapeamento e avaliação da potabilidade da água subterrânea do Município de Lajeado, RS, Brasil. Esse fato pode ser considerado diferente da situação estudada, em decorrência das características geomorfológicas da região.

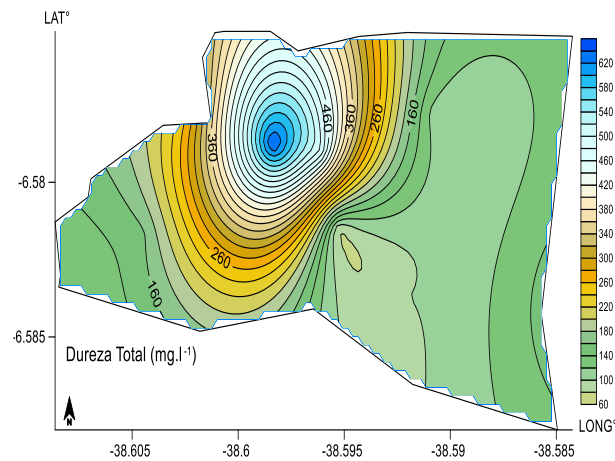


Figura 10. Imagem dos valores de Dureza Total da região estudada (mg.L^{-1}).

As concentrações de cloretos nos poços 1, 3, 6 foram superiores ao valor máximo permitido, correspondente à 250 mg.L^{-1} para consumo humano, já os poços 2, 4, 5, 7, 8, 9 se mantiveram dentro dos padrões de potabilidade (BRASIL, 2011). O cloro é um elemento que aparece em pequenas proporções na composição química da crosta terrestre, embora se apresente em grandes concentrações nas águas subterrâneas (CONCEIÇÃO et al., 2009). Resultados semelhantes foram obtidos por Costa et al. (2012), na avaliação da qualidade das águas subterrâneas em poços do estado do Ceará, Brasil. Quando o teor de cloreto está elevado na água e não há influências de fatores geológicos, essa contaminação pode ser proveniente de efluentes domésticos ou industriais (POHLING, 2009).

Na Figura 11 é possível observar que, não diferente da dureza total, as maiores concentrações de cloreto também se localizam na região central da zona urbana estudada, onde estão situados os poços 3 (três) e 6 (seis); não obstante, estes apresentaram valores maiores do que os preconizados pela portaria Nº 2.914 de 12 de dezembro de 2011 do Ministério da Saúde, sendo assim a água desses poços não está apta para o consumo humano. Os altos valores de cloretos podem ser influenciados pela falta de chuva por um longo período, despejo de esgotos domésticos nas proximidades dos poços, como também a presença de fossas, caso esse ocorra nas proximidades dos poços que apresentaram valores excedentes de cloretos.

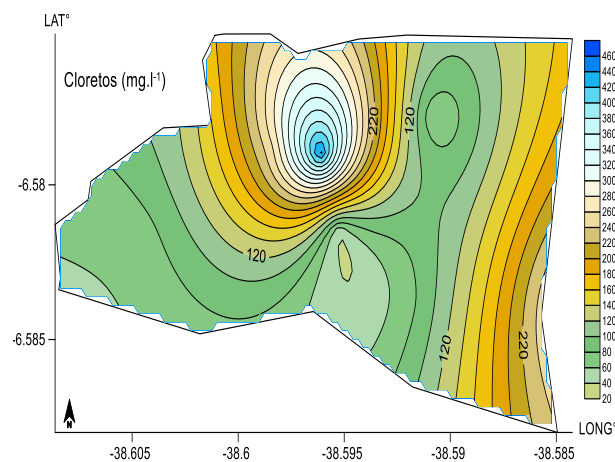


Figura 11. Imagem de isovalores de Cloretos da região em estudada (mg.L^{-1}).

De acordo com a Portaria Nº 2.914/2011 do Ministério da Saúde, o valor máximo permitido para a alcalinidade é de 250 mg.L^{-1} ; os valores obtidos de alcalinidade das análises variaram de 209 a 405 mg.L^{-1} , com média de 289 mg.L^{-1} , apresentando-se superior ao valor máximo permitido, tornando a água imprópria para o consumo humano, exceto o poço 6, que está dentro dos padrões de potabilidade para consumo humano. Em concentrações moderadas na água de consumo, a alcalinidade total não tem nenhum significado sanitário, contudo, em níveis elevados pode trazer sabores desagradáveis (MARINS et al., 2002). Na Figura 12 é possível observar que os maiores valores de alcalinidade estão localizados em uma região de menores altitudes da zona urbana, por onde passa uma grande quantidade de água, esse valor alto de alcalinidade pode ser em virtude dos processos de intemperismo químico.

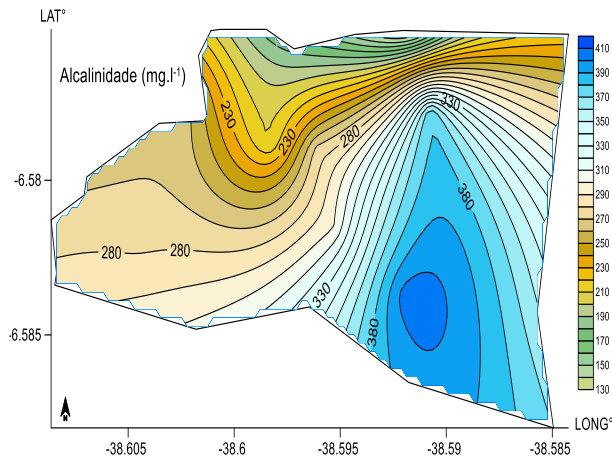


Figura 12. Imagem de isovalores da Alcalinidade das águas de poços da zona urbana em estudada (mg.L⁻¹).

A condutividade elétrica mede a capacidade dos sais dissolvidos e ionizados conduzirem a corrente elétrica, que pode estar relacionado com as concentrações dos íons cloretos (Cl⁻), cálcio (Ca⁺²) e magnésio (Mg⁺²) e outros íons dissolvidos na água. Os níveis de condutividade elétrica são classificados como baixa ($CE \leq 250 \mu\text{S.cm}^{-1}$), média ($250 \mu\text{S.cm}^{-1} < CE \leq 750 \mu\text{S.cm}^{-1}$), alta ($750 \mu\text{S.cm}^{-1} < CE \leq 2250 \mu\text{S.cm}^{-1}$) e muito alta ($2250 \mu\text{S.cm}^{-1} < CE > \leq 10.947 \mu\text{S.cm}^{-1}$) (CAJAZEIRAS, 2007).

Os valores de condutividade elétrica obtidos nas análises variaram de 486,0 a 2.241,0 $\mu\text{S.cma}^{-1}$ com média de 1.071,0 $\mu\text{S.cma}^{-1}$. Assim sendo, podemos constatar que a água dos poços 4, 8 e 9 podem ser classificados como “média”, e os demais se classificam como “alta”. Concernente à Figura 13, é possível observar que os maiores valores de condutividade elétrica estão localizados na região central da cidade nos poços 3 e 6, os quais apresentaram valores fora do limite permitido pela Portaria N° 2.914/2011 do Ministério da Saúde. Tal qual os poços 3 e 6, o poço 1 também apresentou valor muito superior ao permitido; o mesmo está localizado em uma região de menores altitudes, onde passa um grande volume de água durante o período chuvoso. Esses valores podem ser influenciados por fatores de contaminação, já que próximo aos poços 3 e 6 está localizado o fossão da cidade; já no caso do poço 1, a rua não tem pavimentação existindo uma grande quantidade de fossas nas proximidades do mesmo e esgoto a céu aberto.

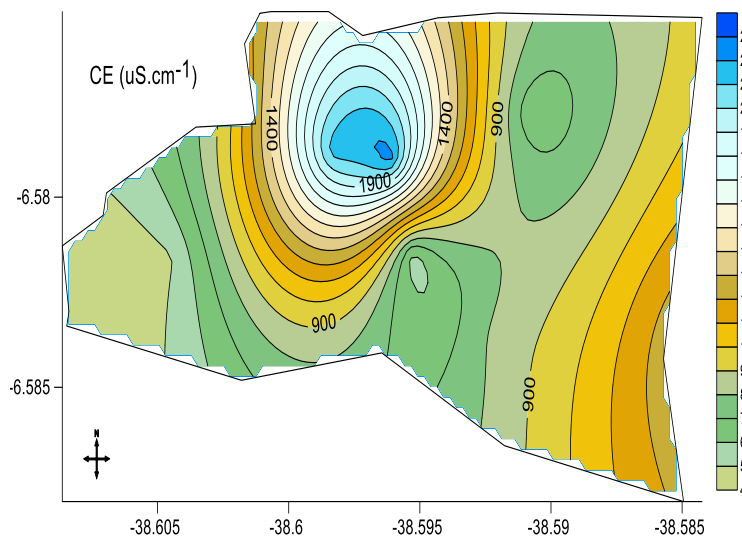


Figura 13. Imagem da Condutividade Elétrica (CE) da região estudada ($\mu\text{S.cma}^{-1}$).

Oliveira et al. (2009), diz que condutividade elevada afeta o desenvolvimento das hortaliças e a produtividade das hortas. Segundo a CETESB (2005), níveis superiores de $100 \mu\text{S.cm}^{-1}$ indicam ambientes impactados e apresentaram características corrosivas. Tal situação pode ser observada para os poços estudados.

Conclusão

Diante do exposto, ficou evidente que o consumo de água dos poços 1, 3, e 6, na situação avaliada, pode representar risco à saúde pública, uma vez que apresentaram elevados valores de condutividade elétrica, cloretos e alcalinidade; para o poço 8, apenas o valor de dureza encontra-se em desacordo com a legislação vigente, não apresentando ideais condições de potabilidade; assim sendo, podem ser capazes de transmitir enfermidades de veiculação hídrica.

Por meio dos resultados obtidos, com a avaliação e comparação dos mapas de isovalores dos parâmetros analisados, pode se observar que os poços que apresentam seus valores fora dos padrões impostos pela Portaria N° 2.914/2011 do Ministério da Saúde, estão em sua maioria localizados no centro da cidade, região de mais baixa altitude, onde passa maior quantidade de água durante o período chuvoso.

Ressalta-se que, estudos dessa natureza são de extrema importância para a compreensão da inter-relação entre os constituintes geológicos-antrópicos e os parâmetros físico-químicos de águas de poços subterrâneos. Não obstante, é necessário promover uma análise microbiológica das águas para uma apresentação mais eficaz dos padrões de potabilidade destas.

Diante do estudo realizado, pode-se observar que a população está utilizando essa água de forma indevida, pois mediante informações cedidas pela mesma, eles não têm conhecimento sobre aspectos qualitativos e que seu uso, sem um tratamento sanitário prévio, pode causar danos à saúde da população, já que foi evidenciado o uso constante, assim como só há a disponibilidade desse tipo de recurso hídrico para suprir suas necessidades básicas diárias (dessedentação humana e animal e na construção civil).

Não obstante, o uso das geotecnologias colaborou com a rapidez e precisão dos dados mapeados neste trabalho.

Referências

- BORDALO, C. A. L. A “crise” mundial da água vista numa perspectiva da geografia política. GEOUSP: Espaço e Tempo, v.31, p.66-78, 2012.
- BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Diagnostico do município de Triunfo-PB. 2005. Disponível em: <<http://rigeo.cprm.gov.br/>> Acesso em: 13 ago. 2017.
- BRASIL. Portaria nº2.914, de 12 de dezembro de 2011. Perguntas e respostas sobre a portaria MS nº 2.914/2011. Ministério da Saúde. Brasília, 2012.
- BRASIL/ABAS. Associação Brasileira de Águas Subterrâneas. Funções dos aquíferos. 2011. Disponível em: <<http://www.abas.org/educacao.php>> Acesso em: 02 ago. 2017.
- CAJAZEIRAS, C. C. DE A. Qualidade e uso das águas subterrâneas e a relação com doenças de veiculação hídrica, Região de Crajubar/CE. 2007. Dissertação (Mestrado em Geologia). Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, 2007.
- CETESB. Variáveis de qualidade das águas. Disponível em: <<http://www.cetesb.org.br/>> Acesso em: 19 de setembro de 2017.
- CONCEIÇÃO, F. T. DA; CUNHA, R.; SARDINHA, D. DE S.; SOUZA, A. D. G.; SINELLI, O. Hidrogeoquímica do Aquífero Guarani na área urbana de Ribeirão Preto (SP). Geociências, v.28, n.1, p.65-77. 2009.
- CORREIA, E. F. G.; RIBEIRO, G. P; BAPTISTA, A. C. Modelagem hidrológica da bacia hidrográfica do Rio Bengalas, Nova Friburgo, RJ, utilizando o potencial de geotecnologias na definição de áreas de risco à inundação. Revista Brasileira de Cartografia, v.67, n.6, p.1183-1202, 2015.
- COSTA, C. L.; LIMA, R. F. DE; PAIXÃO, G. C.; PANTOJA, L. D. M. Avaliação da qualidade das águas subterrâneas em poços do estado do Ceará, Brasil. Revista SEMINA: Ciências Biológicas e da Saúde, v.33, n.2, p.171-180, 2012.
- COUTINHO, L. Água – Recurso Mineral: o paradoxo hídrico resultante da regulamentação jurídica aplicada às águas minerais no Brasil. Dissertação (Mestrado). Universidade de Brasília, 2015.
- CPRM. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. Serviço Geológico do Brasil. Geologia e Recursos Minerais do Estado da Paraíba. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil. Org. SANTOS, E. J. DOS; FERREIRA, C. A.; SILVA JUNIOR, J. M. F. DA. Recife, PE, 234p. 2002.
- CPRM. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. Serviço Geológico do Brasil. Diagnóstico Socioambiental - Litoral Norte - O Meio Físico da Área, 2005. Recursos Hídricos Subterrâneos. Disponível em: <http://www.cprh.pe.gov.br/downloads/25_Recursos_Hidricos_Subterraneos> Acesso em: 25 jul. 2017.

- DANELUZ, D.; TESSARO, D. Padrão físico-químico e microbiológico da água de nascentes e poços rasos de propriedades rurais da região sudoeste do Paraná. *Arq. Inst. Biol.*, v.82 p.1-5, 2015.
- ECKHARDT, R. R.; DIEDRICH, V. L.; FERREIRA, E. R.; STROHSCHOEN, E.; DEMAMAN, L. C. Mapeamento e avaliação da potabilidade da água subterrânea do município de Lajeado, RS, Brasil. *Ambi-Agua*, v.4, n.1, p.58-80, 2009
- FILHO, H. R. G.; ROCHA, E. F. C. Prevalência de doenças de veiculação hídrica em usuários de águas de poços freáticos em Campos dos Goytacazes-RJ. *Boletim do Observatório Ambiental Alberto Ribeiro Lamego*, v.9 n.1, p.49-67, 2015.
- FOSTER, S. S. D.; HIRATA, R. C. A. Determinação do risco das águas subterrâneas. Um método baseado em dados existentes. Instituto Geológico. 1993.
- FUNASA. Fundação Nacional de Saúde. Manual de controle da qualidade da água para técnicos que trabalham em ETAS. Departamento de Saúde Ambiental (DESAM). Brasília- DF. 2014.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2008. Disponível em: www.ibge.gov.br/. Acesso em: 08 abr. 2017.
- KEMERICH, P. D. C. DE; SILVA, J. L. S. DE; FILHO, L. L. V. D.; VOLPATTO, F.; SAUCEDO, E. M. Determinação da vulnerabilidade natural à contaminação da água subterrânea no bairro nossa senhora do perpétuo socorro em Santa Maria – RS. *Engenharia Ambiental*, v.8, n.3, p.085-098, 2011.
- LEAL, A. DE S. As águas subterrâneas no Brasil: ocorrências, disponibilidades e usos. In: FREITAS, M. A. V. DE (org.). *O Estado das Águas no Brasil*. Brasília: Agência Nacional de Energia Elétrica; superintendência de Estudos e Informações hidrológicas. Ministério do Meio Ambiente. Secretaria de Recursos Hídricos. Ministério de Minas e Energia, 1999.
- LIMA, R. B.; OLIVEIRA, D. DA S.; SOUZA, L. D.; BATISATA, R. O.; ALVES, S. M. C.; SILVA, F. U. Análise físico-química da água de três poços subterrâneos do município de Mossoró-RN. *Revista Química: ciência, tecnologia e sociedade*, v.4, n.2, 2015.
- MESQUITA, E. A.; CRUZ, M. L. B.; PINHEIRO, L. R. Ó. geoprocessamento aplicado ao mapeamento das formas de uso da terra na área de preservação permanente (APP) da Lagoa do Uruaú – Beberibe/CE. *Geonorte*, v.2, n.4, p.1509–1518, 2012.
- NUMMER, A.; MACIEL FILHO, C. A. *Introdução à Geologia de Engenharia*. 4. ed. UFSM, Santa Maria, 2011.
- MARINS, R. V.; PARAQUETTI, H. H. M.; AYRES, G. A. Alternativa analítica para especiação físico-química de mercúrio em águas costeiras tropicais. Instituto de Ciências do Mar, UFCE; Departamento de Geoquímica, Universidade Federal Fluminense. v.25, n.3, p. 372-378. 2002.
- MESQUITA, E. A.; CRUZ, M. L. B.; PINHEIRO, L. R. Ó. Geoprocessamento aplicado ao mapeamento das formas de uso da terra na área de preservação permanente (APP) da Lagoa do Uruaú – Beberibe/CE. *Geonorte*, v.2, n.4, p.1509–1518, 2012.
- OLIVEIRA, A. DA S.; ALMEIDA, A.G. DE; SGRIGNOLLI, L. A.; OTOBONI, ALDA M. M. B.; MARINELLI, P. Sérgio. Levantamento físico-químico e higiênico-sanitário de águas de irrigação do cultivo de hortaliças na cidade de Marília/SP. 2009.
- PARAÍBA. SECTMA. Secretaria de Estado da Ciência e Tecnologia e do Meio Ambiente. Geomorfologia do Estado da Paraíba. 2006. Disponível em: http://www.aesa.pb.gov.br/aesa-website/wp-content/uploads/2016/11/PE_09.pdf. Acesso em: 13 de novembro de 2017.
- POHLING, R. *Reações Químicas na Análise de Água*. Fortaleza: Editora Arte Visual Gráfica e Editora Ltda. – ME, p.5, 2009.
- RICHTER, C. A., AZEVEDO. N. J. M. *Tratamento de Água*. Tecnologia atualizada. Editora Blucher. São Paulo–SP, 2011.
- SILVA, K. M. O Perigo do uso indiscriminado dos poços artesianos - uma abordagem hídrica. 2010. Disponível em: <http://www.agsolve.com.br/noticias/o-perigo-do-uso-indiscriminado-dos-pocos-artesianos-uma-abordagem-hidrica>>. Acesso em: 22 de set 2016.
- SOARES, J. B.; MAIA, A. C. F. *Água: microbiologia e tratamento*. Fortaleza: UFC, 1999. 215p.
- STEIN, P.; FILHO, J. B. D.; LUCENA, L. R. F.; CABRAL, N. M. T. Qualidade das águas do aquífero Barreiras no setor sul de Natal e norte de Parnamirim, Rio Grande do Norte, Brasil. *Revista Brasileira de Geociências*, v.42, n.1, p.226-237, 2012.

Capítulo 13**USO DE GEOTECNOLOGIAS E DE TÉCNICAS DE DESCRIÇÃO E LEVANTAMENTO EM CAMPO NO MAPEAMENTO DAS TIPOLOGIAS DE CAATINGA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO TAPEROÁ, PB****¹Paulo Roberto Megna Francisco****²Eduardo Rodrigues Viana de Lima****³Iêde de Brito Chaves****⁴Lúcia Helena Garófalo Chaves**

¹Pós-Doutor em Ciência do Solo, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande-PB, paulomegna@gmail.com

²Prof. Dr. do Centro de Ciências Exatas e da Natureza da Universidade Federal da Paraíba – UFPB, João Pessoa-PB, eduvianalima@gmail.com

³Prof. Dr. Visitante, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande-PB, iedebchaves@hotmail.com

⁴Prof.a Dra. Centro de Recursos Naturais, Departamento de Eng. Agrícola da Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande-PB, lhgarofalo@hotmail.com

Introdução

Atualmente, os levantamentos dos recursos naturais têm se constituído em trabalhos de grande importância na orientação direta da utilização de um determinado recurso, como também para subsidiar os estudos direcionados para o mapeamento e gerenciamento ambiental (RIBEIRO et al., 2008), e os mapas constituem-se num suporte indispensável para o planejamento, ordenamento e uso eficaz dos recursos da terra, sendo um instrumento e um meio para obter o registro e a análise da paisagem (LIMA et al., 2007).

O advento da informática, o uso de geotecnologias, do SIG (Sistema de Informações Geográficas), a evolução dos sistemas computacionais para estudos de análise ambiental, e a disponibilização de imagens de satélite, tem proporcionado excelentes resultados no processo de automação da maioria dos trabalhos executados de forma convencional, e tem permitido o processamento de um grande volume de informações relevantes para tomadas de decisão (CARVALHO et al., 2009; CÂMARA & MEDEIROS, 1996; FERNANDES et al., 1998).

Conforme Gianezini e Saldias (2010), as geotecnologias destacam-se pela possibilidade de leitura e análise a partir da coleta de informações sobre as características das propriedades e seus recursos, o que até antes do desenvolvimento da informática era feito apenas em documentos e mapas em papel.

O geoprocessamento, que evoluiu do sensoriamento remoto, se apresenta como uma tecnologia de custo relativamente baixo, podendo em um país de dimensão continental, como é o Brasil, suprir a grande carência de informações adequadas à tomada de decisões sobre os problemas urbanos, rurais e ambientais (PONTES, 2002).

Em levantamentos florestais, quanto melhor a descrição dos dados de campo para se correlacionar com os dados da análise digital, melhor a precisão e a qualidade das avaliações. Sendo assim, o planejamento do trabalho de campo envolve a definição de métodos e procedimentos a serem adotados, em todas as fases de sua execução (SÁ et al., 2008).

As técnicas de amostragem dos dados são agrupadas em aleatória e não aleatória. A aleatória pode ser restrita ou irrestrita e a não aleatória, sistemática e seletiva. (IBGE, 2012).

De acordo com o IBGE (2012), é fundamental, para o inventário florestal, a utilização de imagens orbitais para a interpretação, pois disto depende o planejamento da amostragem, em função de diferentes tipologias florestais detectadas, dos objetivos, do nível de detalhamento, da informação requerida e da escala utilizada, sendo um importante mecanismo, pois não só reduz sensivelmente o trabalho de campo, como pode determinar o sucesso ou insucesso do trabalho como um todo.

Conforme a FAO (1974), a partir da interpretação das imagens, são separados os tipos e feito o planejamento da amostragem; nesta etapa deve-se considerar que nem sempre uma separação dos tipos de vegetação corresponde a uma estratificação volumétrica. Existem diversos métodos para levantamento e classificação de vegetação, em que os métodos convencionais são mais onerosos e demandam grandes períodos de tempo para sua realização, diferente dos métodos modernos, a exemplo

das fotografias aéreas e imagens de satélite, que proporcionam reduções significativas de tempo e economia de custo.

Portanto, este trabalho tem como objetivo utilizar técnicas de levantamento de campo para a descrição da vegetação e com uso de imagens de satélite e do geoprocessamento elaborar o mapeamento das tipologias de Caatinga na bacia hidrográfica do rio Taperoá.

Material e Métodos

Caracterização da área de estudo

A área de estudo compreende a bacia hidrográfica do rio Taperoá, com uma extensão territorial de 5.686,37 km², localizada sobre o Planalto da Borborema, na posição central do Estado da Paraíba (Figura 1) e seus pontos extremos são cortados pelas coordenadas de 6°51'44" e 7°34'31" de latitude sul e 36°00'10" e 37°14'30" de longitude oeste.

A bacia hidrográfica limita-se, ao norte, com a bacia do rio Seridó, que drena para o Rio Grande do Norte; a nordeste, com as bacias do rio Jacú e Curimataú; a leste, com a sub-bacia do Médio Paraíba; ao sul, com a bacia do Alto Paraíba e a sudoeste, com a bacia do rio Pajeú, no Estado de Pernambuco. O rio Taperoá, de regime intermitente, nasce na Serra do Teixeira e deságua no açude Presidente Epitácio Pessoa (Boqueirão) (FRANCISCO, 2013).



Figura 1. Localização da área de estudo. Fonte: Adaptado de IBGE (2009); AESA (2011).

Os municípios que parcialmente fazem parte da área da bacia são: Assunção, Boa Vista, Cacimbas, Cabaceiras, Cubati, Barra de Santa Rosa, Boqueirão, Serra Branca, Juazeirinho, Taperoá, Tenório, Teixeira, Junco do Seridó, Salgadinho, São João do Cariri, Seridó, Pocinhos e Olivedos, e que estão totalmente inseridos na bacia são os municípios de Desterro, Soledade, Livramento, Gurjão, São José dos Cordeiros, Parari e Santo André (Figura 2).

A cidade de Teixeira, e a sede de município que fica mais a oeste da área, distando 265 km da cidade de João Pessoa, a capital do Estado. Por outro lado, Campina Grande é a sede de município que fica mais a leste da bacia hidrográfica, e dista 125 km da capital.

A população total da área de estudo é de 206.476 habitantes, conforme IBGE (2010). Os municípios com maior população que integram a área de estudo são Pocinhos, Boqueirão, Juazeirinho e Taperoá, e os com menor população são Tenório, Santo André e Parari (Tabela 1).

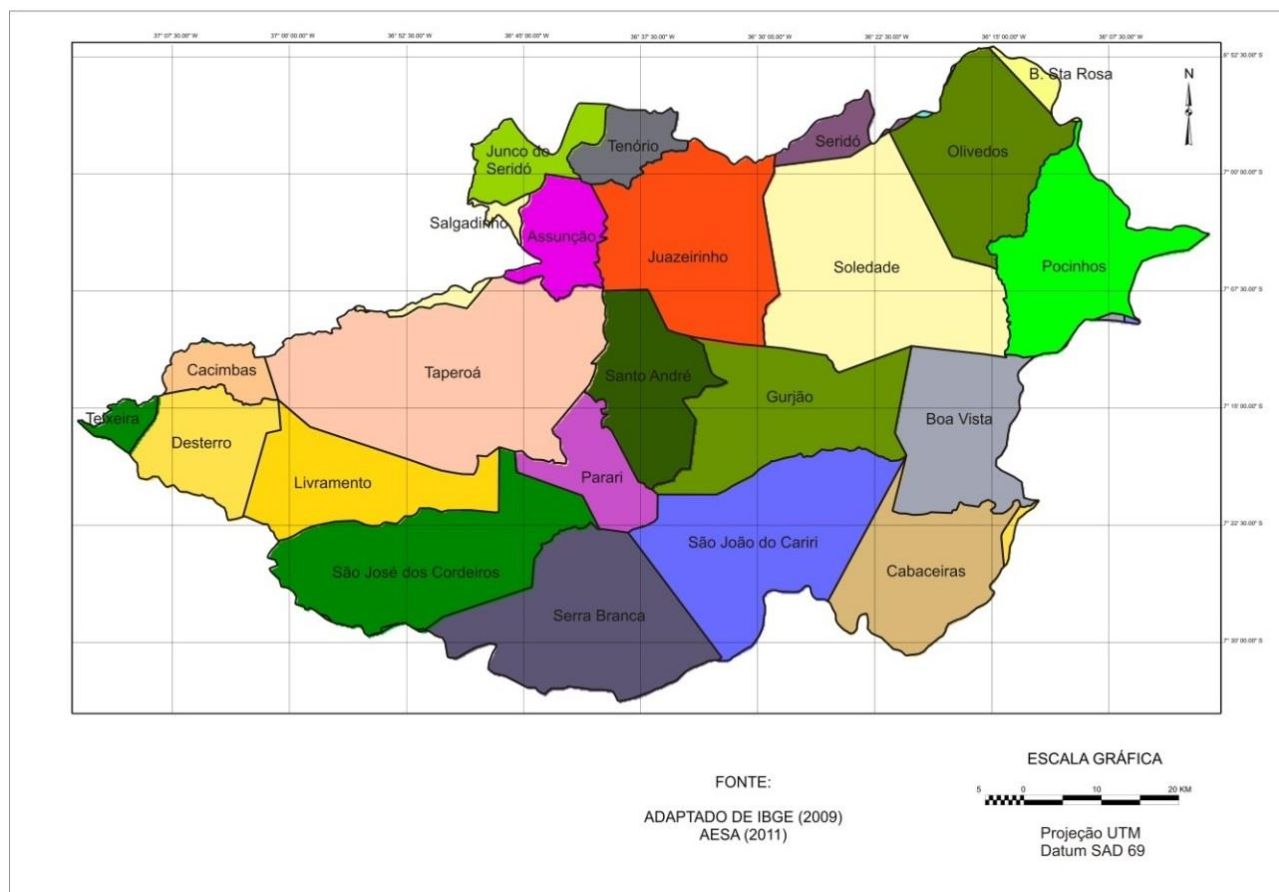


Figura 2. Municípios da área de estudo. Fonte: Adaptado de IBGE (2009); AESA (2011).

Tabela 1. Municípios e população da área de estudo

| Municípios | População | Municípios | População |
|---------------------|-----------|------------------------|-----------|
| Pocinhos | 17.032 | Junco do Seridó | 6.643 |
| Boqueirão | 16.888 | Boa vista | 6.227 |
| Juazeirinho | 16.776 | Cabaceiras | 5.035 |
| Taperoá | 14.936 | São João do Cariri | 4.344 |
| Barra de Santa Rosa | 14.157 | São José dos Cordeiros | 3.985 |
| Teixeira | 14.153 | Olivedos | 3.627 |
| Soledade | 13.739 | Assunção | 3.522 |
| Serra Branca | 12.973 | Salgadinho | 3.508 |
| Seridó | 10.230 | Gurjão | 3.159 |
| Desterro | 7.991 | Tenório | 2.813 |
| Livramento | 7.164 | Santo André | 2.638 |
| Cubati | 6.866 | Parari | 1.256 |
| Cacimbas | 6.814 | Total | 206.476 |

Fonte: IBGE (2010).

A bacia do rio Taperoá, localizada sobre o Planalto da Borborema, encontra-se situada numa linha de confluência de sistemas meteorológicos que atuam na região Nordeste. Pelos dados da Tabela 2 pode-se observar que, na média, os meses mais chuvosos na área da bacia do Taperoá são março e abril, justamente o período de atuação conjunta das duas massas de ar que têm influência sobre a região. Chuvas relacionadas aos efeitos orográficos e formações convectivas, conforme relatam Molion e Bernardo (2000), influenciam na distribuição espacial e temporal das chuvas, contribuindo para aumentar a variabilidade das precipitações.

As médias mensais de temperatura variam pouco na região, sendo mais afetadas pela altitude que por variações de insolação. As variações diárias de temperatura e umidade são bastante pronunciadas, tanto nas áreas mais deprimidas do relevo como nas mais altas do planalto. Nos meses

mais frios do inverno o aporte de umidade é devido significativamente à formação de orvalho (ALVES, 2008).

Tabela 2. Dados de precipitação média mensal e anual de postos da área de estudo, para um período mínimo de trinta anos de observação

| Município / Posto | Jan | Feb | Mar | Abr | Mai | Jun | Jul | Ago | Set | Out | Nov | Dez | Anual |
|------------------------|------|-------|-------|-------|------|------|------|------|-----|-----|------|------|-------|
| Barra de Santa Rosa | 12.5 | 37.2 | 74.3 | 79.0 | 47.6 | 41.4 | 33.4 | 13.4 | 7.4 | 4.7 | 6.1 | 7.9 | 369.7 |
| Boa Vista | 26.0 | 35.2 | 82.3 | 69.4 | 58.7 | 53.0 | 45.9 | 19.2 | 5.5 | 6.6 | 4.3 | 9.4 | 416.3 |
| Cabaceiras | 15.6 | 35.1 | 46.8 | 61.2 | 38.8 | 36.6 | 33.8 | 11.3 | 3.0 | 3.0 | 3.0 | 6.7 | 333.6 |
| Desterro | 35.4 | 87.6 | 138.4 | 120.6 | 45.9 | 13.0 | 7.5 | 0.5 | 0.4 | 2.7 | 5.6 | 12.6 | 498.9 |
| Gurjão | 25.1 | 66.8 | 97.6 | 137.8 | 46.0 | 35.7 | 34.0 | 9.4 | 3.3 | 5.9 | 5.4 | 10.2 | 485.5 |
| Juazeirinho | 34.5 | 84.0 | 111.9 | 138.6 | 43.4 | 21.1 | 37.8 | 8.7 | 2.9 | 7.6 | 4.4 | 16.6 | 522.3 |
| Olivedos | 28.1 | 56.4 | 92.2 | 100.1 | 61.0 | 51.1 | 37.8 | 15.5 | 7.2 | 5.4 | 6.1 | 11.0 | 471.0 |
| Pocinhos | 20.7 | 35.3 | 60.5 | 68.6 | 52.5 | 51.2 | 47.1 | 18.3 | 9.7 | 5.3 | 3.7 | 8.0 | 382.3 |
| Soledade | 23.0 | 52.9 | 94.1 | 89.5 | 39.3 | 33.3 | 27.8 | 8.0 | 2.9 | 5.7 | 3.5 | 9.7 | 391.2 |
| São José dos Cordeiros | 23.6 | 85.1 | 145.2 | 158.5 | 42.0 | 35.3 | 31.5 | 9.1 | 3.2 | 1.9 | 3.9 | 15.8 | 554.5 |
| Salgadinho | 32.1 | 64.8 | 110.6 | 106.0 | 50.0 | 22.8 | 17.4 | 6.6 | 2.2 | 2.1 | 7.1 | 13.2 | 435.8 |
| Serra Branca | 32.1 | 76.8 | 110.8 | 143.8 | 38.4 | 31.8 | 25.7 | 9.7 | 5.6 | 5.1 | 5.5 | 31.8 | 532.8 |
| São João do Cariri | 25.8 | 54.0 | 90.4 | 81.2 | 48.1 | 31.0 | 22.8 | 6.2 | 1.8 | 5.3 | 6.2 | 12.0 | 381.4 |
| Seridó | 27.2 | 97.0 | 85.4 | 118.9 | 45.8 | 21.8 | 22.3 | 3.9 | 2.5 | 1.6 | 2.2 | 7.6 | 465.3 |
| Taperoá | 34.1 | 83.0 | 134.9 | 109.7 | 50.5 | 28.1 | 20.0 | 7.5 | 2.4 | 4.6 | 10.5 | 26.4 | 505.6 |
| Teixeira | 66.9 | 142.5 | 215.4 | 162.9 | 57.1 | 24.9 | 11.2 | 3.3 | 2.6 | 4.8 | 11.8 | 32.6 | 714.6 |

Fonte: Adaptado AESA (2011); SUDENE (1990).

As terras da bacia do rio Taperoá apresentam, em grande parte, um relevo suave ondulado e altitudes que variam de 300 a 500 m (Figura 3). A drenagem voltada para sudeste facilita a penetração uniforme das massas atlânticas de sudeste, propiciando um gradiente adiabático uniforme, fazendo baixar a temperatura e aumentar a precipitação, à medida que se eleva o terreno. No geral, os terrenos da bacia são formados por superfícies de pediplanação, resultantes da exposição a partir de sedimentos do Cretáceo ou Terciário, que cobriam rochas (gnaiesses, granito e xisto) do escudo cristalino brasileiro (AB'SÁBER, 1974).

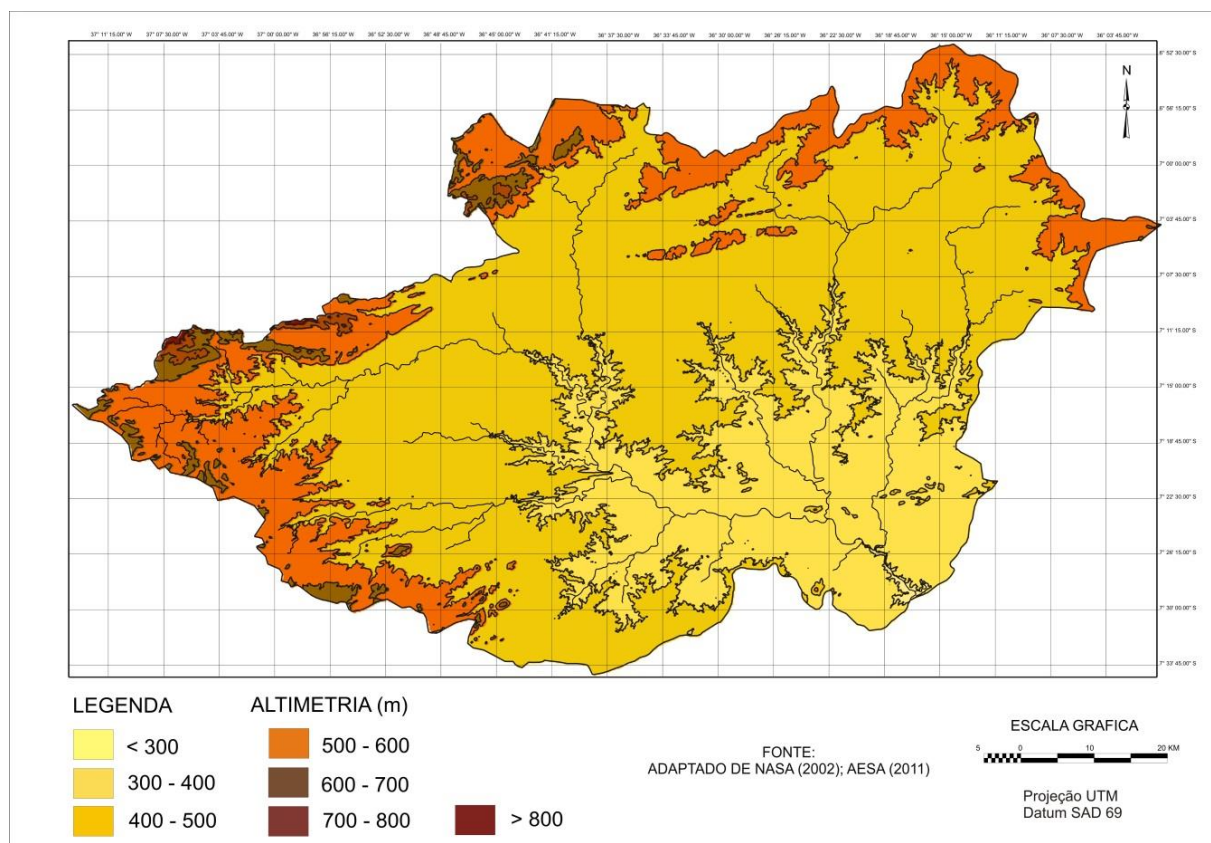


Figura 3. Altimetria da área de estudo. Fonte: Adaptado de NASA (2002); AESA (2011).

Na área de estudo ocorrem rochas pré-cambrianas, sendo complementadas por bacias sedimentares fanerozóicas, rochas vulcânicas cretáceas, coberturas plataformais paleógenas/neógenas e formações superficiais quaternárias (PARAÍBA, 2006).

As características do solo da Caatinga estão controladas pelas condições de clima, geomorfologia, quantidade e intensidade da chuva, radiação solar, temperatura, umidade e declividade do terreno bem como pelas comunidades de plantas que nele se desenvolvem (MALDONADO, 2005).

Os solos que ocorrem na área de estudo (Figura 4) são o Luvissole Crômico Vértico fase pedregosa, relevo suave ondulado, predominante em grande parte da região; os Vertissolos relevo suave ondulado e ondulado que predominam nas partes mais baixas, apresentam problemas de drenagem e elevada presença de argilas de alta atividade química (montmoriloníticas), o que confere, a esses solos, notável capacidade de dilatação quando molhados e contração, quando secos; os Planossolos Nátricos relevo plano e suave ondulado, ao norte, ao longo da BR-230, trecho Campina Grande - Juazeirinho, na bacia do rio Taperoá. Nas áreas mais acidentadas ocorrem os Neossolos Litólicos Eutróficos fase pedregosa substrato gnaisse e granito. Em posição mais elevada, em terrenos mais planos e suave ondulado ocorrem os Neossolos Regolíticos eutróficos, que apresentam textura arenosa e são de mais fácil cultivo, mais profundos, bem drenados e quase sempre favorecidos devido à altitude, pela maior precipitação (BRASIL, 1972; PARAÍBA, 1978).

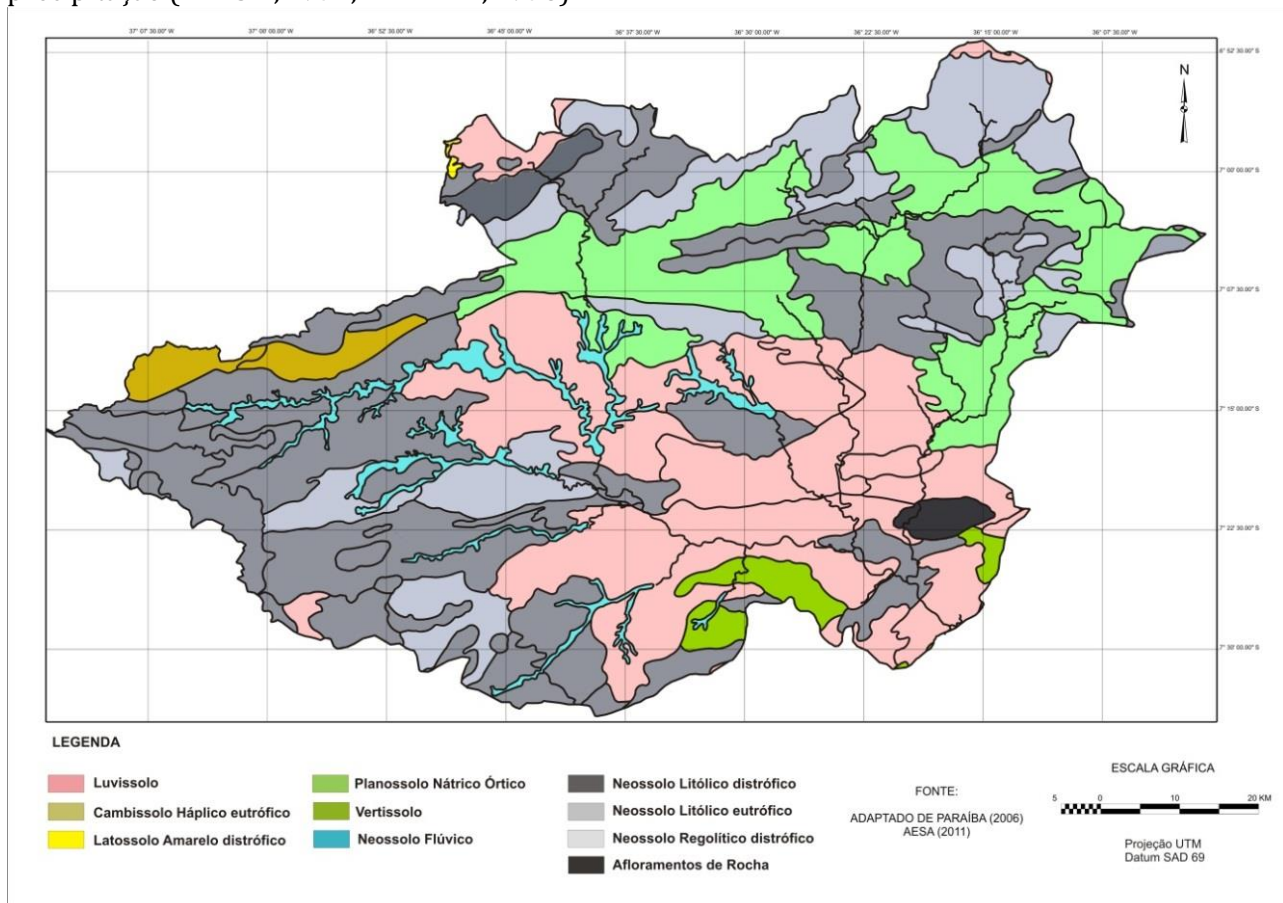


Figura 4. Solos da área de estudo. Fonte: Adaptado de PARAÍBA (2006); AESA (2011).

Em toda a área de estudo a vegetação é do tipo Caatinga hiperxerófila. É uma região tradicionalmente pastoril, onde tem predominado a criação de caprinos. Outrora esta era uma região com produção expressiva de algodão. Na atualidade, é cultivada com palma e culturas alimentares de subsistência (SOUZA et al., 2009; FRANCISCO, 2010).

De acordo com Barbosa et al. (2007) e Paes-Silva et al. (2003), as espécies mais encontradas na Caatinga são: *a Malva (Sida galheirensis* Ulbr.), *Macambira (Bromelia laciniosa* Mart. ex Schult. f.), *Imburana (Commiphora leptophloeos* (Mart.) J.B.Gillett), *Mandacaru (Cereus jamacaru* DC.), *Xique-xique (Pilosocereus gounellei* (F.A.C.Weber) Byles & G.D.Rowley), *Facheiro (Pilosocereus pachycladus* F.Ritter), *Palmatória (Tacinga palmadora* (Britton & Rose) N.P.Taylor & Stuppy), *Mofumbo (Combretum leprosum* Mart.), *Marmeleiro (Croton sonderianus* Müll.Arg.), *Pinhão (Jatropha mollissima* (Pohl) Baill.), *Pinhão (Jatropha ribifolia* (Pohl) Baill.), *Jureminha (Desmanthus virgatus* (L.) Willd.), *Jurema-preta (Mimosa*

tenuiflora (Willd.) Poir.), Catingueira (*Caesalpinia pyramidalis* Tul), Pereiro (*Aspidosperma pyrifolium* Engl.), Marmeleiro (*Croton sonderianus* Muell. Arg.), Pinhão bravo (*Jatropha molíssima* (Pohl.) Mull Arg.) e outras espécies nativas da região, como o Angico (*Anadenathera macrocarpa* (Benth.) Brenan) a Aroeira (*Myracrodruon urundeuva* Allemão) e o Umbu (*Spondias tuberosa*, L.).

Amostragem e descrição dos alvos terrestres

Visando a amostragem da vegetação utilizou-se do programa Google Earth 6.2 online, onde foram pré-selecionados 212 alvos terrestres dos diferentes tipos de uso e cobertura da terra, representativos da região de estudo e com características de vegetação e solos aproximadamente homogêneos (Figura 5). As coordenadas dos pontos foram transferidas ao aparelho GPS, servindo de orientação para localização dos pontos no terreno.

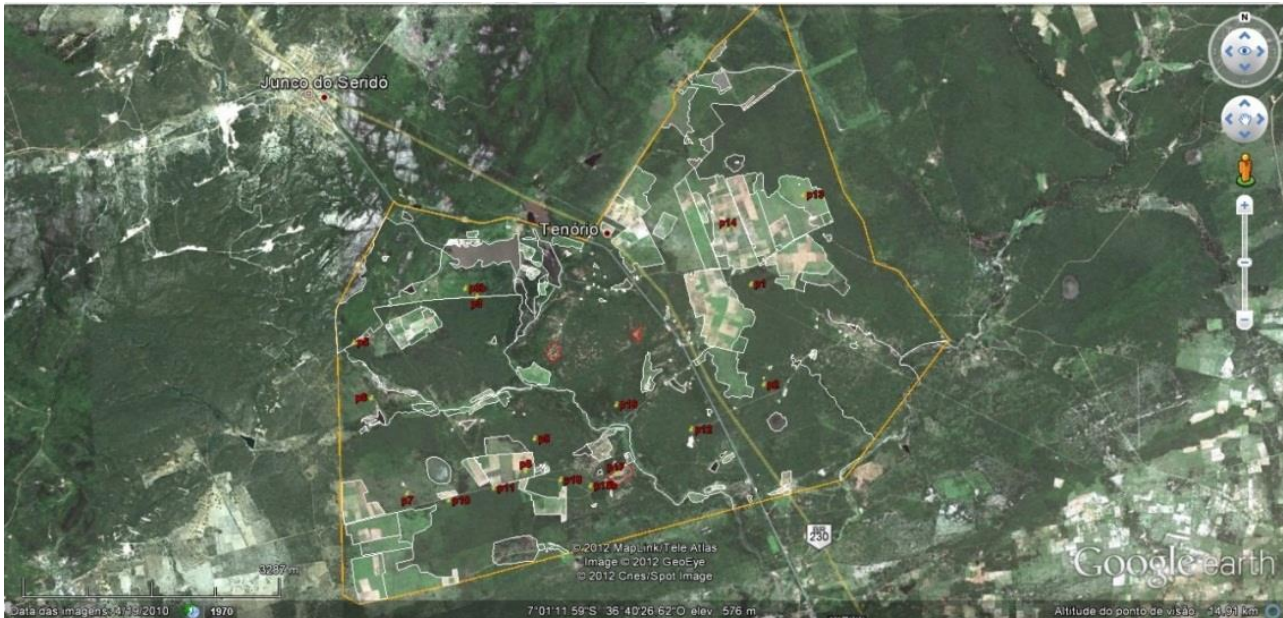


Figura 5. Alvos pré-selecionados para a classificação no campo.

Pelas diferentes tonalidades de cores e formas, foram pré-selecionadas as áreas de visita, levando-se em conta a facilidade de acesso pelas estradas visíveis nas imagens. Procurou-se obter pelo menos 4 repetições para cada padrão de cobertura de vegetação. Áreas agrícolas, campos de pastagens, algarobais e culturas permanentes (capineiras, palma forrageira e campos de sisal) foram identificados, classificados e descritos durante as excursões, em caderneta de campo. Utilizando uma câmera digital com resolução de 3 megapixel, foram registrados os pontos de controle utilizando um GPS Garmim Etrex de navegação, para auxiliar no processamento dos dados.

A época da coleta e descrição dos dados foi do final da primavera ao início do verão, momento final do período seco do ano de 2011, ocasião em que a vegetação está sem folhagem, condição que uniformiza comparativamente as unidades de observação e o manto herbáceo-graminóide está bem reduzido, facilitando o deslocamento e a visualização do conjunto arbustivo-arbóreo. Por outro lado, neste período a identificação de algumas espécies fica dificultada pela ausência das folhas e flores, órgãos característicos, identificadores das plantas. No campo, os alvos foram identificados com base no Índice de Biomassa da Vegetação Lenhosa (IBVL), modelo desenvolvido por Chaves et al. (2008) e utilizado por Oliveira (2009), Guimarães (2009) e Francisco (2013). Na classificação da vegetação são considerados quatro níveis categóricos: Tipo, Grupo, Classe e Subclasse.

Criação da base de dados e processamento

Com o objetivo de elaborar um mapa representativo da vegetação de Caatinga, foram utilizadas imagens disponibilizadas pelo INPE do sensor TM-LANDSAT 5, órbita 215, ponto 65, da data de 28/10/2009. Para o processamento das imagens utilizou-se o SPRING, criando-se uma base de dados com a projeção UTM, Datum/SAD-69. Para a transferência dos dados obtidos com o GPS dos pontos observados em campo, foi utilizado o programa TrackMaker. Com o objetivo de auxiliar o georreferenciamento das imagens, foram importados um arquivo no formato shape da Drenagem, e um

arquivo da Bacia Hidrográfica da área de estudo, para realizar o recorte da imagem, ambos disponibilizados pela AESA.

As bandas 3, 4, 5 do TM foram transformadas do formato GEOTIFF para o formato GRIB utilizando o aplicativo IMPIMA, e em seguida foi realizada a correção geométrica e o recorte das imagens tomando-se como base os limites da bacia hidrográfica em estudo, e exportadas no formato TIFF.

Utilizando o software ERDAS 8.5 as imagens foram empilhadas e utilizou-se do algoritmo para obtenção da correção radiométrica nas diferentes bandas espectrais das imagens de satélite, selecionadas de acordo com o método utilizado por Silva et al. (2005). Para obtenção do Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI) foi utilizada a Equação 1, que está bem descrita em Allen et al. (2002).

$$NDVI = \frac{(rp4 - rp3)}{(rp4 + rp3)} \quad (\text{Eq. 1})$$

Em que: $rp4$ e $rp3$ correspondem às reflectâncias das bandas 4 e 3 do TM-LANDSAT 5.

Análise, classificação e mapeamento

Com o objetivo de analisar as espécies encontradas e a precisão da verdade terrestre a partir do IVDN, utilizando o software ERDAS, foram obtidos na imagem valores de seis pixels do entorno de cada ponto de observação no campo. Para o registro dos dados foi criada uma planilha com as coordenadas dos pontos, valores das leituras, médias desses valores, e informações de campo, com descrição da vegetação quanto ao tipo, classes e subclasses, além da estimativa do valor do IBVL para a vegetação de Caatinga.

Para a classificação da imagem de IVDN foi realizada uma seleção de 24 valores de IBVL, dentre os 212 alvos descritos no campo, obtidos a partir da descrição da classe e subclasse de vegetação. Com esta seleção procurou-se escalonar os valores de IBVL para uma ampla faixa de padrões de biomassa, eliminando-se padrões de vegetação com maior número de repetições.

Em seguida foi utilizada a Linguagem Algébrica do SPRING para gerar o mapa de vegetação e definir as classes. O mapa final foi elaborado em um programa de edição, onde foram manipulados aspectos como título, tamanho, texto, escala, legenda e localização.

Resultados e Discussão

O fluxograma (Figura 6) apresenta as etapas de desenvolvimento deste trabalho.

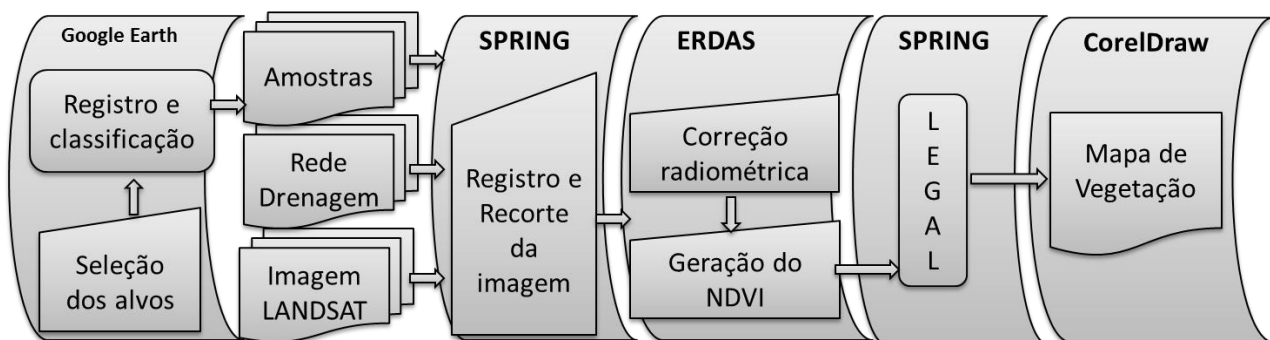


Figura 6. Fluxograma simplificado das etapas de trabalho.

As áreas pré-selecionadas estão marcadas na imagem da Figura 7, representadas por polígonos em linhas vermelhas e pontos de referência em amarelo. Observa-se uma concentração maior de amostras ao norte da bacia, seis áreas com pontos de observação, representando a unidade geoambiental dos solos Regossolos e Planossolos; e no centro, as amostras relativas aos Luvisolos Crômicos vérticos e, mais ao sul, aos solos Litólicos.

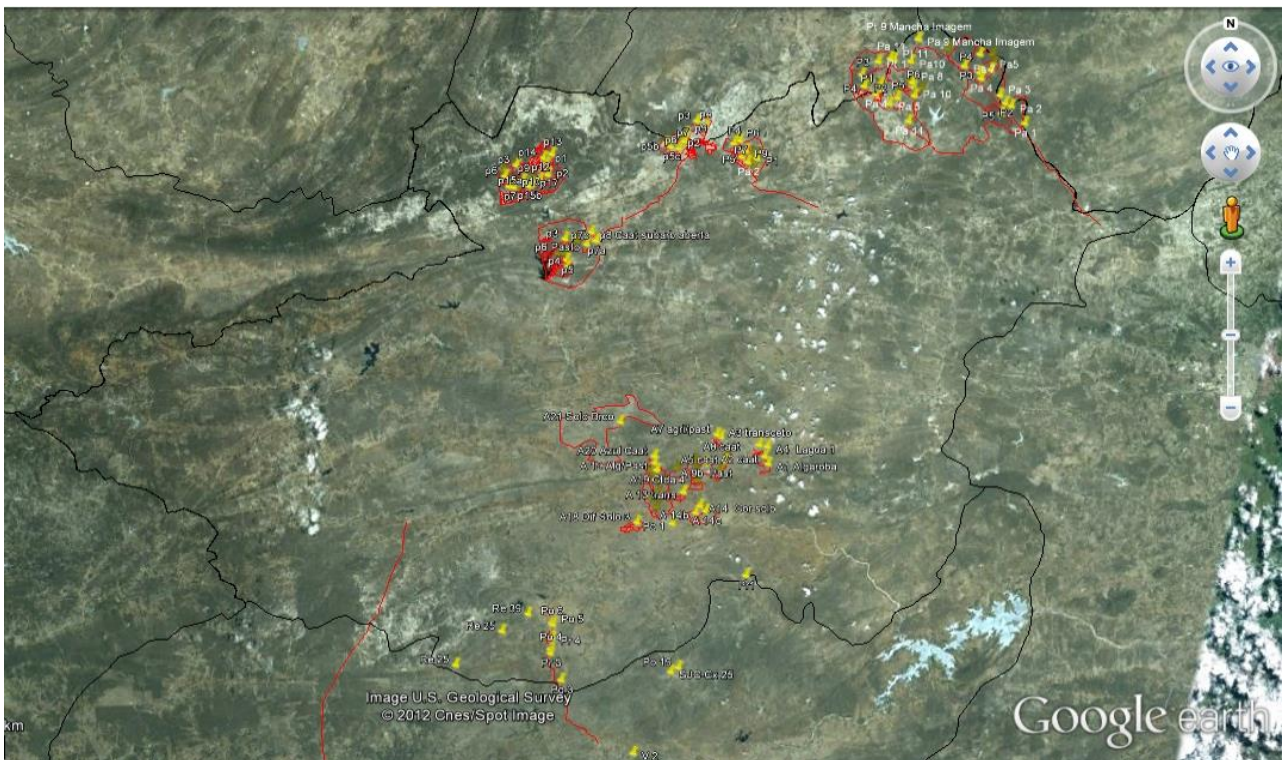


Figura 7. Espacialização dos pontos amostrais na bacia hidrográfica do rio Taperoá, PB.
Fonte: Adaptado de Google Earth online.

Maldonado (1999; 2005) utilizou o transecto em linha como metodologia de descrição e caracterização da vegetação de Caatinga, e descrições fitofisionômicas simples para a coleta de dados com o objetivo de satisfazer requerimentos variados em áreas de vegetação natural, minimizando, sobremaneira, o tempo e o esforço de amostragem.

De acordo com IBGE (2012), os métodos para detectar os tipos de vegetação são conforme a distribuição espacial, por quadrados, por parcelas ou por pontos equidistantes, em transectos ou malhas, para separar unidades de solo. O tipo e o tamanho ideal das unidades amostrais são aqueles que representam com boa precisão, segundo os objetivos e o total da área inventariada (GOLDSMITH, 1986). Esta amostragem pode ter, como principal objetivo temático, a classificação fisionômica-estrutural da vegetação e, secundariamente a obtenção de informação relevante para estimar a dinâmica da cobertura vegetal.

Paes-Silva et al. (2003), utilizaram a técnica de amostragem não aleatória e sistemática para realizar o inventário da cobertura vegetal da bacia hidrográfica do açude Namorados, em São João do Cariri, na Paraíba. Com base na planta topográfica (escala 1:10.000 e curvas de nível a cada 5 metros), foram elaborados os mapas da rede de drenagem e o mapa de declividade. Nesses mapas as delimitações das unidades de vegetação foram realizadas tendo por base de localização as classes de declividade do terreno em cada sub-bacia da drenagem. A cobertura vegetal foi discriminada por tipos, dentre os quais, a vegetação nativa de Caatinga. A vegetação da Caatinga, por sua vez, foi discriminada segundo o porte das plantas e a densidade de recobrimento do terreno. O aperfeiçoamento da descrição da vegetação deste trabalho resultou na metodologia proposta por Chaves et al. (2008) para descrever e avaliar a vegetação da Caatinga em seus diferentes estágios de antropização.

Na descrição dos alvos com vegetação de Caatinga foi utilizada a metodologia proposta por Chaves et al. (2008) (IBVL), adaptando-se os procedimentos às condições dos objetivos da pesquisa. Em cada unidade de observação foram selecionados três a quatro pontos de descrição representativos do padrão de vegetação; procurou-se definir, assim, a classificação quali-quantitativa da vegetação, em termos de combinação de portes, e a percentagem de recobrimento do terreno pelas plantas; e, no entorno de cada ponto de observação e descrição, foram feitas anotações do número de indivíduos das espécies vegetais lenhosas e suculentas pela ordem de predominância, além do registro do grau de erosão, pedregosidade, cor e declividade do terreno.

Esta metodologia de descrição, classificação e estimativa da biomassa lenhosa, proposta por Chaves et al. (2008) e utilizada neste trabalho, mostrou-se eficiente pela sua praticidade e economia,

comparada a outros métodos padrão de descrição e avaliação da Caatinga. Costa et al. (2002) e Maldonado (2005) realizaram estimativas, descrição e avaliação da Caatinga pelos métodos mais tradicionais e trabalhosos, utilizando cortes rasos de parcelas e descrição e avaliações em transectos.

Sá et al. (2008), observam que um levantamento da estrutura florestal in loco colabora para correlacionar os dados de campo com os processados digitalmente e dariam na análise uma maior precisão e qualidade nas avaliações.

Observa-se na Tabela 1 uma seleção de 24 valores de IBVL dentre os 212 alvos descritos no campo, obtidos a partir da descrição das classes e subclasses de vegetação. Com esta seleção procurou-se escalonar os valores de IBVL para uma ampla faixa de padrões de biomassa, eliminando-se padrões de vegetação com maiores números de repetições.

Tabela 1. Valores de índices de biomassa da vegetação lenhosa determinados a partir da classificação da vegetação de Caatinga de alvos terrestres descritos no campo

| N. Or. | Classe | | Subclasse | IBVL | |
|--------|--------------|--------------|-------------|------------|------|
| 1 | Subarbórea | Arbórea | Muito densa | 0,85 | |
| 2 | Arbórea | | Densa | 0,80 | |
| 3 | Arbórea | Subarbórea | Densa | 0,72 | |
| 4 | Subarbórea | Arbórea | Densa | 0,68 | |
| 5 | Subarbórea | | Densa | 0,60 | |
| 6 | Subarbórea | | Densa | 0,60 | |
| 7 | Subarbórea | Arbustiva | Arbórea | Densa | 0,57 |
| 8 | Arbustiva | Arbórea | | Densa | 0,53 |
| 9 | Subarbórea | Arbustiva | | Densa | 0,52 |
| 10 | Arbustiva | Subarbórea | | Densa | 0,48 |
| 11 | Arbustiva | | | Densa | 0,40 |
| 12 | Subarbórea | Arbustiva | | Aberta | 0,39 |
| 13 | Arbustiva | Subarbórea | | Aberta | 0,36 |
| 14 | Arbustiva | Subarbórea | | Aberta | 0,36 |
| 15 | Arbustiva | Subarbórea | | Aberta | 0,36 |
| 16 | Arbustiva | | | Aberta | 0,30 |
| 17 | Arbustiva | Subarbustiva | Subarbórea | Aberta | 0,28 |
| 18 | Arbustiva | Subarbustiva | | Aberta | 0,24 |
| 19 | Arbustiva | | | Rala | 0,20 |
| 20 | Subarbustiva | Arbustiva | | Rala | 0,18 |
| 21 | Subarbustiva | Arbustiva | | Rala | 0,18 |
| 22 | Arbustiva | Subarbustiva | | Muito rala | 0,08 |
| 23 | Subarbustiva | Arbustiva | | Muito rala | 0,06 |
| 24 | Subarbustiva | Arbustiva | | Muito rala | 0,06 |

Na Figura 8 observa-se o esquema da modelagem da calibração radiométrica e geração da imagem de reflectância no software ERDAS.

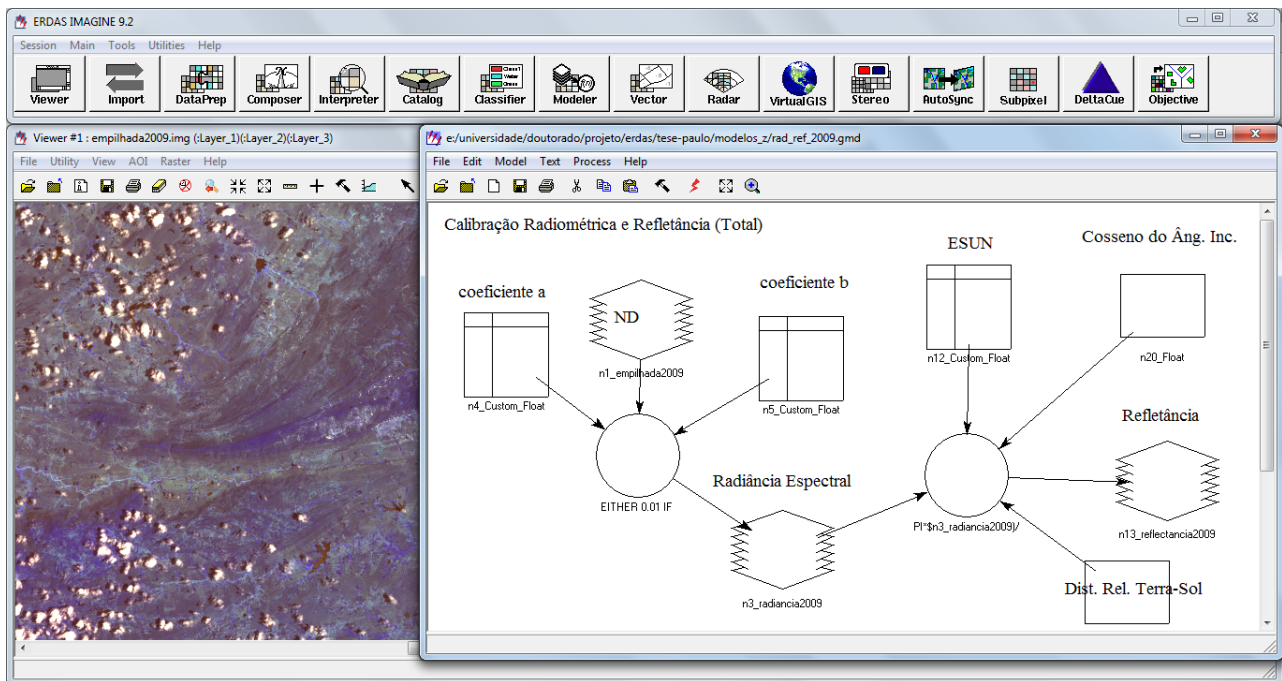


Figura 8. Modelo de calibração e correção atmosférica elaborado no ERDAS.

Na Figura 9 observa-se a imagem de satélite no banco de dados criado e o processamento do recorte, destacando-se a linha vermelha como os limites da bacia em estudo.

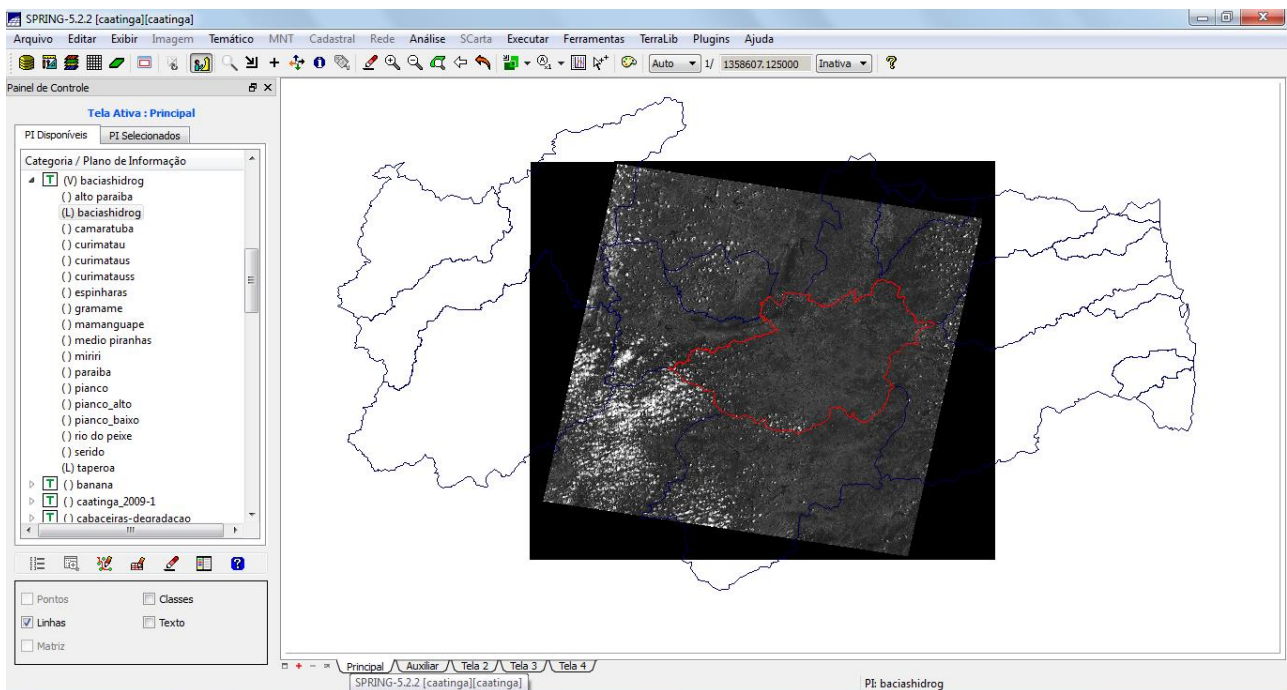


Figura 9. Procedimento do recorte da imagem no SPRING.

Na Figura 10 pode-se observar a janela do SPRING com a linguagem utilizada. Essa linguagem é chamada de LEGAL (Linguagem Espaço-Geográfico baseada em Álgebra) e possibilita a realização de operações algébricas tanto em sentido matemático quanto cartográfico e espacial (FRANCISCO, 2010).

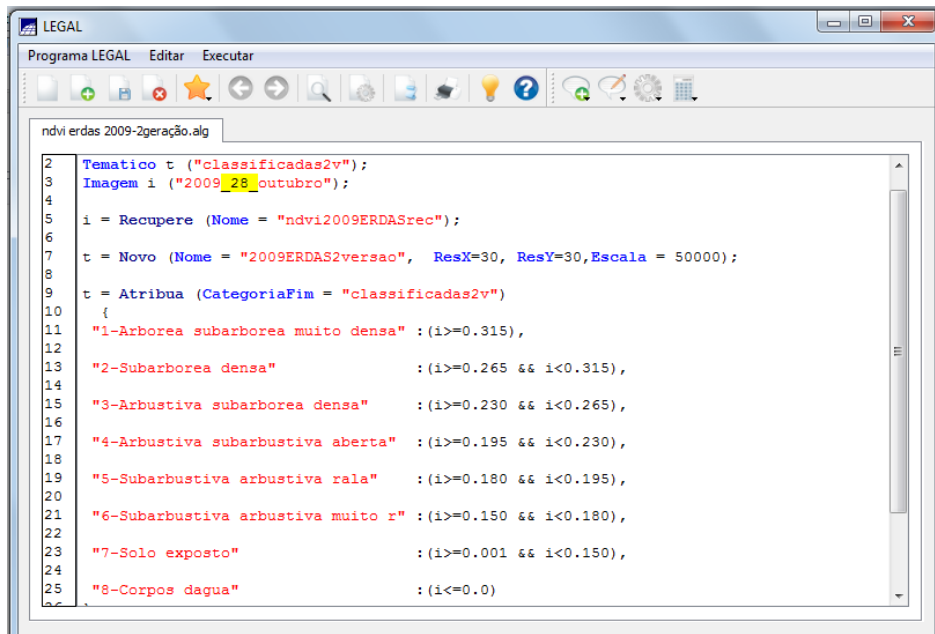


Figura 10. Linguagem Espaço-Geográfico baseada em Álgebra do SPRING.

Na Tabela 3 observa-se as áreas correspondentes às classes mapeadas e na Figura 11 o mapa com a espacialização das tipologias de vegetação.

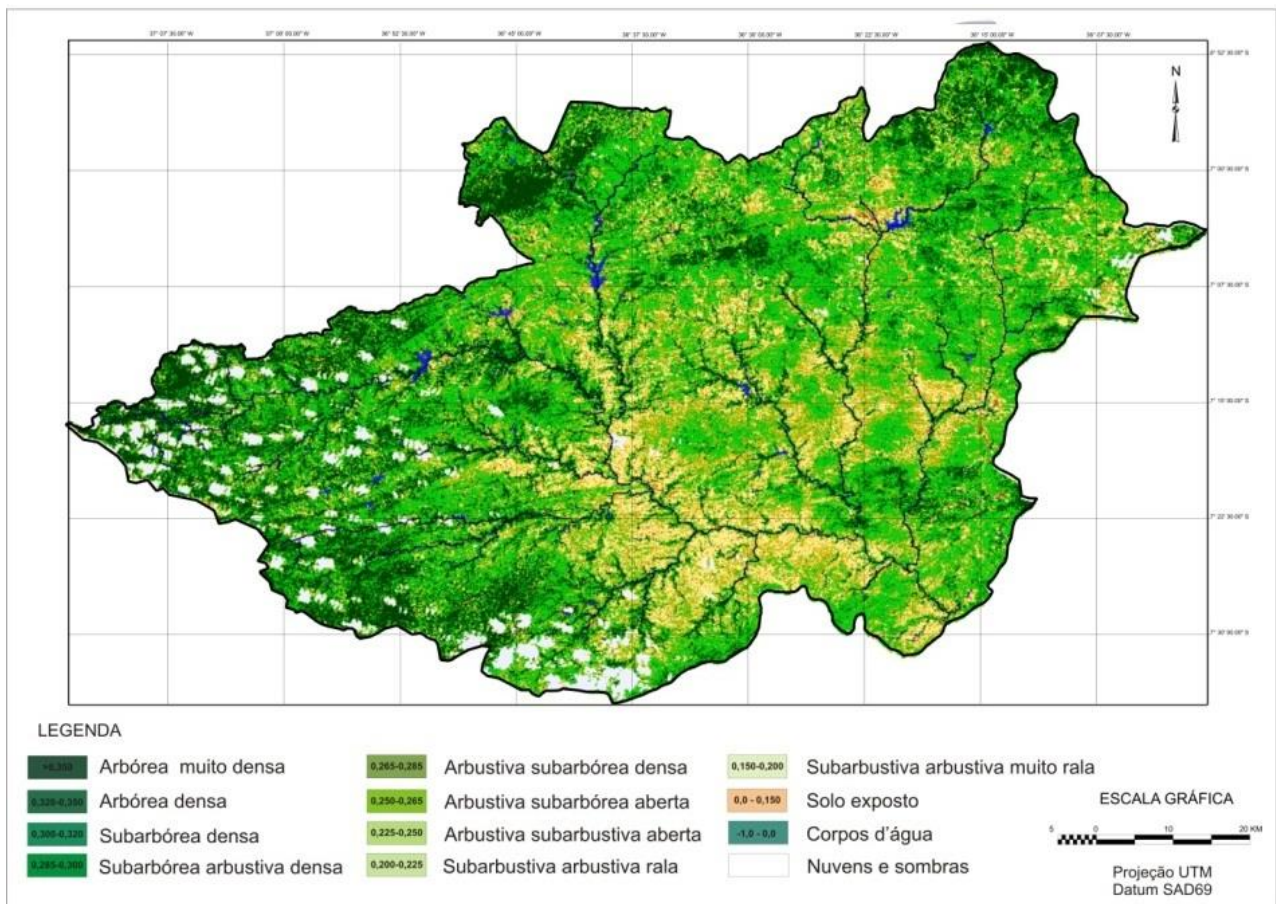


Figura 11. Mapa de tipologias de vegetação de caatinga.

Tabela 3. Áreas de ocupação em km² e porcentagem das classes de vegetação de Caatinga

| Classes | (km ²) | % |
|-----------------------------------|--------------------|--------|
| Arbórea muito densa | 420,54 | 7,39 |
| Arbórea densa | 281,94 | 4,95 |
| Subarbórea densa | 344,79 | 6,07 |
| Subarbórea arbustiva densa | 370,25 | 6,52 |
| Arbustiva subarbórea densa | 668,31 | 11,75 |
| Arbustiva subarbórea aberta | 584,17 | 10,28 |
| Arbustiva subarbustiva aberta | 1.103,70 | 19,41 |
| Subarbustiva arbustiva rala | 917,93 | 16,14 |
| Subarbustiva arbustiva muito rala | 712,90 | 12,53 |
| Solo exposto | 56,26 | 0,99 |
| Corpos d'água | 32,28 | 0,57 |
| Nuvens | 193,30 | 3,40 |
| Área Total | 5.686,37 | 100,00 |

As áreas de palma, agave, algaroba, pastagem, capim, cultura de milho e cultura irrigada não pudera ser separada, devido as respostas espectrais desses alvos serem iguais aos da vegetação de porte arbóreo ou subarbustivo, situação similar encontrada por Guimarães (2009), Chaves et al. (2012) e Francisco (2013).

Para Watzlawick e Kirchner (2004), a folha é a que mais contribui para a reflexão a ser detectada pelos sensores, já que o comportamento espectral atua em função de sua composição química, morfológica e estrutura interna, ocorrendo diferenças no comportamento espectral entre grupos geneticamente diferentes.

Embora seja possível identificar o plantio de palma e agave mais vigorosos, que apresentam valores de IVDN mais altos que a vegetação de caatinga, bem como bosques mais densos de Algarobeiras ao longo dos canais de drenagem, conforme observou Guimarães (2009), optou-se em não representar estes usos, devido a pouca expressão na escala utilizada.

Observa-se que a ocorrência da classe Arbórea muito densa em uma área de 420,54 km², representando 7,39%, se dá em áreas de divisores da bacia localizadas ao norte e oeste e nas áreas de drenagem ao longo da bacia, como também em áreas isoladas de maior elevação e declividade. Este comportamento pode estar relacionado com a ocorrência de maior umidade nestas áreas (FRANCISCO et al., 2012a).

As classes, solo exposto e Subarbustiva arbustiva muito rala, conta com 56,26 km² e 712,9 km² respectivamente, que corresponde a 13,02% da área total da bacia e ocorrem numa grande extensão ao longo do terço médio inferior do rio Taperoá. Enquanto que a classe Subarbustiva arbustiva rala que, isoladamente, ocupa 917,93 km², e corresponde a 16,14% da área total, se distribui em grande parte nos interflúvios mais baixos da drenagem (FRANCISCO et al., 2012a).

As áreas abertas com vegetação das classes Arbustiva subarbustiva aberta, com 1.103,7 km², e Arbustiva subarbórea aberta com 584,37 km², correspondem a 29,69% da área da bacia e se distribuem de forma difusa entre os interflúvios da parte mais alta ao longo das encostas acompanhando a drenagem, e nas áreas de transição da vegetação nos divisores e serras (Francisco et al., 2012b).

A vegetação da bacia hidrográfica apresenta o predomínio das espécies lenhosas, dispostas em associações de indivíduos de acordo com sua adaptabilidade ao clima e solo (GUIMARÃES, 2009).

Concordando com Guimarães (2009), que estudou a sub-bacia do rio Soledade, inserida na bacia em estudo, as variações que surgem nas unidades são devido à presença de espécies com diferentes portes. Nas associações formadas, destacam-se os indivíduos de porte Subarbóreo e Arbustivo, onde a jurema e o marmeleiro são as espécies mais frequentes.

Dos 78 principais pontos de coleta de dados de vegetação de caatinga no campo (Tabela 4), a jurema foi identificada em 39,75 % dos locais de descrição com 50% dos locais com vegetação Subarbórea densa. O marmeleiro foi identificado em 26,92% dos locais descritos, sendo dominante em áreas de vegetação Arbustiva subarbustiva aberta. A catingueira foi identificada em 19,23% dos locais descritos, seguida do pereiro em 10,25% dos locais. As espécies de menor incidência foram o pinhão, seguido pelo faxeiro, xique-xique e cactáceas. Foram identificadas Algarobas em áreas de drenagem, que é espécie exótica do bioma Caatinga.

Tabela 4. Espécies encontradas na área de estudo

| Ponto | IBVL | Grupo | Classe | Subclasse | Ind. Recobr. | Predominância | | |
|-----------|------|--------------|--------------|--------------|--------------|---------------|-------------|---------------|
| 11 | 0,85 | Subarbórea | Arbórea | | Muito densa | Catingueira | Marmeleiro | Jurema |
| GPS 01 | 0,72 | Arbórea | Subarbórea | | Densa | Catingueira | Pereiro | Umburana |
| 20 GPS 32 | 0,60 | Subarbórea | | | Densa | Catingueira | Jurema | Pereiro |
| GPS19-20 | 0,47 | Arbustiva | Subarbórea | | Densa | Catingueira | Jurema | Pereiro |
| 13 GPS 23 | 0,37 | Arbustiva | Subarbustiva | Subarbórea | Densa | Catingueira | Pereiro | Marmeleiro |
| GPS 8 | 0,50 | Arbórea | Subarbórea | Arbustiva | Aberta | Catingueira | Jurema | Faxeiro |
| GPS 30 | 0,43 | Subarbórea | Arbustiva | Arbórea | Aberta | Catingueira | Pereiro | Angico |
| GPS 27 | 0,33 | Arbustiva | Subarbórea | Subarbustiva | Aberta | Catingueira | Mufumbu | Pinhão |
| 3 | 0,30 | Arbustiva | | | Aberta | Catingueira | Pereiro | Xique-xique |
| 4 | 0,21 | Subarbustiva | Arbustiva | | Aberta | Catingueira | Marmeleiro | Jurema |
| 2 fech | 0,21 | Subarbustiva | Arbustiva | | Aberta | Catingueira | Marmeleiro | Pereiro |
| 2 | 0,21 | Subarbustiva | Arbustiva | | Aberta | Catingueira | Jurema | Umburana |
| GPS 17 | 0,18 | Subarbustiva | Arbustiva | | Rala | Catingueira | Pereiro | Xique-xique |
| 2 | 0,16 | Arbustiva | Subarbustiva | | Rala | Catingueira | Pereiro | Xique-xique |
| 5 | 0,24 | Arbustiva | Subarbórea | | Rala | Catingueira | Mufumbu | Marmeleiro |
| GPS 21 | 0,80 | Arbórea | | | Densa | Jurema | Pereiro | Umburana |
| 4 | 0,80 | Arbórea | | | Densa | Jurema | Catingueira | Pereiro |
| 6 | 0,68 | Subarbórea | Arbórea | | Densa | Jurema | Marmeleiro | Catingueira |
| 15a | 0,60 | Subarbórea | | | Densa | Jurema | Marmeleiro | |
| 16 | 0,60 | Subarbórea | | | Densa | Jurema | | |
| 3a | 0,60 | Subarbórea | | | Densa | Jurema | Marmeleiro | Catingueira |
| 10 | 0,57 | Subarbórea | Arbustiva | Arbórea | Densa | Jurema | Marmeleiro | Catingueira |
| 14x | 0,53 | Subarbórea | Arbustiva | | Densa | Jurema | Pereiro | Catingueira |
| GPS 4 | 0,52 | Subarbórea | Arbustiva | | Densa | Jurema | Marmeleiro | Catingueira |
| 9 | 0,52 | Subarbórea | Arbustiva | | Densa | Jurema | Catingueira | Pereiro |
| 6 GPS 04 | 0,52 | Subarbórea | Arbustiva | | Densa | Jurema | Pinhão | |
| 12 | 0,48 | Arbustiva | Subarbórea | | Densa | Jurema | Marmeleiro | Catingueira |
| 7 GPS 15 | 0,47 | Arbustiva | Subarbórea | | Densa | Jurema | Catingueira | Marmeleiro |
| A | 0,40 | Arbustiva | | | Densa | Jurema | Marmeleiro | Xique-xique |
| GPS 12 | 0,40 | Arbustiva | | | Densa | Jurema | Pereiro | Palmatoria |
| 2 | 0,37 | Arbustiva | Subarbustiva | Subarbórea | Densa | Jurema | Marmeleiro | Catingueira |
| 4 | 0,51 | Subarbórea | Arbórea | | Aberta | Jurema | Algaroba | |
| P10GPS 5 | 0,39 | Subarbórea | Arbustiva | | Aberta | Jurema | Marmeleiro | Catingueira |
| 7 | 0,39 | Subarbórea | Arbustiva | | Aberta | Jurema | Marmeleiro | Catingueira |
| 3 | 0,36 | Arbustiva | Subarbórea | | Aberta | Jurema | Marmeleiro | Catingueira |
| 3b | 0,36 | Arbustiva | Subarbórea | | Aberta | Jurema | Marmeleiro | Catingueira |
| 12 | 0,36 | Arbustiva | Subarbórea | | Aberta | Jurema | Catingueira | Pereiro |
| 7 | 0,36 | Arbustiva | Subarbórea | | Aberta | Jurema | | |
| 7 GPS 14 | 0,36 | Arbustiva | Subarbórea | | Aberta | Jurema | Pereiro | Catingueira |
| 2 GPS 13 | 0,28 | Arbustiva | Subarbustiva | Subarbórea | Aberta | Jurema | Pereiro | Catingueira |
| 3b | 0,24 | Arbustiva | Subarbustiva | | Aberta | Jurema | Marmeleiro | Pereiro |
| 21 GPS 33 | 0,27 | Subarbórea | Arbustiva | | Rala | Jurema | Pereiro | Mufumbu |
| 5a | 0,24 | Arbustiva | Subarbórea | | Rala | Jurema | Marmeleiro | |
| 17 | 0,22 | Subarbórea | Subarbustiva | Arbustiva | Rala | Jurema | Marmeleiro | Xique-xique |
| 1 | 0,20 | Arbustiva | | | Rala | Jurema | Malva | Capim panasco |
| A6 | | Subarbórea | Arbustiva | | Densa | Jurema | Catingueira | Agave |
| 5 | 0,72 | Arbórea | Subarbórea | | Densa | Marmeleiro | Jurema | Catingueira |
| 1 | 0,60 | Subarbórea | | | Densa | Marmeleiro | Jurema | |
| GPS 28 | 0,47 | Arbustiva | Subarbórea | | Densa | Marmeleiro | Catingueira | Pereiro |
| GPS 21 | 0,37 | Arbustiva | Subarbustiva | Subarbórea | Densa | Marmeleiro | Catingueira | Jurema |
| 1 | 0,45 | Subarbórea | | | Aberta | Marmeleiro | Catingueira | Jurema |
| GPS 26 | 0,40 | Arbustiva | Subarbórea | Arbórea | Aberta | Marmeleiro | Catingueira | Jurema |
| 10 | 0,39 | Subarbórea | Arbustiva | | Aberta | Marmeleiro | Jurema | Catingueira |
| GPS 29 | 0,36 | Arbustiva | Subarbórea | | Aberta | Marmeleiro | Pereiro | Catingueira |
| 2 | 0,30 | Arbustiva | | | Aberta | Marmeleiro | Pinhão | Canafistula |
| 14xx | 0,24 | Arbustiva | Subarbustiva | | Aberta | Marmeleiro | Pereiro | Catingueira |
| 5a | 0,24 | Arbustiva | Subarbustiva | | Aberta | Marmeleiro | Catingueira | Canafistula |
| 15c | 0,24 | Arbustiva | Subarbustiva | | Aberta | Marmeleiro | Jurema | Catingueira |
| GPS 03 | 0,21 | Subarbustiva | Arbustiva | | Aberta | Marmeleiro | Pereiro | Catingueira |
| 1 | 0,22 | Subarbustiva | Arbórea | | Rala | Marmeleiro | Catingueira | Baraúna |
| 8 | 0,18 | Subarbustiva | Arbustiva | | Rala | Marmeleiro | Jurema | Catingueira |
| GPS 16 | 0,18 | Subarbustiva | Arbustiva | | Rala | Marmeleiro | Pereiro | Xique-xique |
| 15 GPS 25 | 0,06 | Subarbustiva | Arbustiva | | Muito rala | Marmeleiro | Pereiro | Xique-xique |
| GPS 5 | 0,16 | Arbustiva | Subarbustiva | | Rala | Marmeleiro | Xique-xique | Pereiro |
| GPS 31 | 0,05 | Subarbustiva | | | Muito rala | Marmeleiro | Catingueira | Jurema nanica |
| X | | Subarbustiva | | | | Marmeleiro | Jurema | Pinhão |
| 14b | | Arbórea | Subarbórea | | | Marmeleiro | Jurema | |
| 19 p1 | | Subarbustiva | Arbórea | | Aberta | Marmeleiro | Pinhão | Catingueira |
| 6 | 0,24 | Arbustiva | Subarbustiva | | Aberta | Marmeleiro | Jurema | Catingueira |
| 17 | 0,35 | Arbustiva | Subarbustiva | | Aberta | Pereiro | Jurema | Catingueira |
| 17 | 0,35 | Arbustiva | Subarbustiva | | Aberta | Pereiro | Jurema | Catingueira |
| GPS 02 | 0,33 | Arbustiva | Subarbórea | Subarbustiva | Aberta | Pereiro | Catingueira | Marmeleiro |
| 1 | 0,30 | Arbustiva | | | Aberta | Pereiro | Catingueira | Marmeleiro |
| 14-4x | 0,30 | Arbustiva | | | Aberta | Pereiro | Catingueira | Jurema |
| 3 GPS 16 | 0,30 | Arbustiva | | | Aberta | Pereiro | Catingueira | Marmeleiro |
| 3 GPS 15 | 0,28 | Arbustiva | Subarbustiva | Subarbórea | Aberta | Pereiro | Catingueira | Marmeleiro |
| GPS 18 | 0,24 | Arbustiva | Subarbustiva | | Aberta | Pereiro | Marmeleiro | Catingueira |
| GPS 22 | 0,06 | Subarbustiva | Arbustiva | | Muito rala | Pinhão | Xique-xique | Palmatoria |

Fonte: Francisco (2013).

Conclusão

Com o uso de imagens de satélite de média resolução espacial, do IVDN e do IBVL, além dos programas ERDAS e SPRING, foi possível classificar e mapear as tipologias de vegetação de Caatinga na área de estudo com boa precisão e agilidade, obtendo-se resultados satisfatórios. Estudos espaço-temporais com técnicas de análise e tratamento de dados devem ser aplicados, para que seja possível discriminar diferentes tipos de uso e cobertura das terras sobre vegetação de caatinga.

Referências

- AB'SÁBER, A. N. O domínio morfoclimático semiárido das caatingas brasileiras. *Série Geomorfologia*, 43. São Paulo: USP, 1974. 37p.
- AESA. Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba. Disponível em: <http://www.aesa.pb.gov.br>. Acesso em 25 de março de 2011.
- ALLEN, R.; BASTIAANSEN, W.; WATERS, R.; TASUMI, M.; TREZZA, R. Surface energy balance algorithms for land (SEBAL). Idaho implementation – Advanced Training and User's Manual, 97p. 2002.
- ALVES, J. J. A. Biogeografia. João Pessoa: Ed. Fotograf, 2008. 108p.
- BARBOSA, M. R. V.; LIMA, I. B. DE; LIMA, J. R.; CUNHA, J. P. DA; AGRA, M. DE F.; THOMAS, W. W. Vegetação e flora no Cariri paraibano. *Oecol. Bras.*, v.11, n.3, p.313-322, 2007.
- BRASIL. Ministério da Agricultura. Levantamento Exploratório e de Reconhecimento dos Solos do Estado da Paraíba. Rio de Janeiro. Convênio MA/CONTA/USAID/BRASIL, 1972 (Boletins DPFS-EPE-MA, 15 - Pedologia, 8).
- CARVALHO, C. C. N; ROCHA, W. F; UCHA, J. M. Mapa digital de solos: Uma proposta metodológica usando inferência fuzzy. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.13, n.1, p.46–55, 2009.
- CÂMARA, G.; MEDEIROS, J. S. DE. Geoprocessamento para projetos ambientais. INPE. São José dos Campos, 1996. 39p.
- CHAVES, I. DE B.; LOPES, V. L.; FFOLLIOTT, P. F.; PAES-SILVA, A. P. Uma classificação morfo-estrutural para descrição e avaliação da biomassa da vegetação da caatinga. *Revista Caatinga*, v.21, n.2, p.204-213, 2008.
- CHAVES, I. DE B.; GUIMARÃES, A. P.; LIMA, E. R. V. DE; FRANCISCO, P. R. M. Índices Espectrais e Diagnóstico da Degradação da Caatinga na Bacia Hidrográfica do Açude Soledade, Paraíba-BR. In: Reunião Brasileira de Manejo e Conservação do Solo e da Água, 19, 2012, Lajes-SC. Anais...Lajes, 2012.
- COSTA, T. C. C.; ACCIOLY, L. J. O.; OLIVEIRA, M. A. J.; BURGOS, N.; SILVA, F. H. B. B. Phytomass mapping of the Seridó caatinga vegetation by the plant area and the normalized difference vegetation indices. *Scientia Agrícola*, v.59, n.4, p.707-715, 2002.
- FAO/UNESCO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. World Soil Classification. Rome, Italy, 1974.
- FERNANDES, M. F; BARBOSA, M. P; SILVA, M. J. DA. O uso de um sistema de informações geográficas na determinação da aptidão agrícola das terras de parte do setor leste da bacia do Rio Seridó, PB. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.2, n.2, p.195-198, 1998.
- FRANCISCO, P. R. M. Classificação e mapeamento das terras para mecanização do Estado da Paraíba utilizando sistemas de informações geográficas. 122f. Dissertação (Manejo de Solo e Água). Centro de Ciências Agrárias. Universidade Federal da Paraíba. Areia, 2010.
- FRANCISCO, P. R. M.; CHAVES, I. B.; LIMA, E. R. V.; BANDEIRA, M. M.; SILVA, B. B. Mapeamento da caatinga com uso de geotecnologia e análise da umidade antecedente em bacia hidrográfica. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v.5, n.3, p.676-693. 2012a.
- FRANCISCO, P. R. M.; CHAVES, I. DE B.; CHAVES, L. H. G.; LIMA, E. R. V. DE. Detecção de mudança de vegetação de caatinga. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v.5, n.6, p. 1473-1487. 2012b.
- FRANCISCO, P. R. M. Modelo de mapeamento da deterioração do Bioma Caatinga da bacia hidrográfica do Rio Taperoá, PB. 97f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola). Centro de Tecnologia e Recursos Naturais. Universidade Federal de Campina Grande, 2013.
- GIANEZINI, M.; SALDIAS, R. Geotecnologia aplicada ao agronegócio: conceitos, pesquisa e oferta. In: Congresso Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural, 48. Campo Grande, 2010.
- GUIMARÃES, A. P. Dinâmica da resposta espectral da vegetação de caatinga na bacia hidrográfica do açude Soledade, utilizando técnicas de sensoriamento remoto. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal da Paraíba. Areia, 2009.

- GOLSMITH, F. B.; HARRISON, C. M.; MORTON, A. J. Description and analysis of vegetation. In *Methods in plant ecology* (P. D. Moore and S. B. Chapman). Blackwell, London, p.437-524, 1986.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2009. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br>. Acesso em: 12 março de 2011.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2010. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br>. Acesso em: 28 dezembro de 2012.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Diretoria de Geociências Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. Manuais Técnicos em Geociências número 1. Manual Técnico da Vegetação Brasileira. Sistema fitogeográfico, Inventário das formações florestais e campestres, técnicas e manejo de coleções botânicas, Procedimentos para mapeamentos. 2012. Disponível em: ftp://geoftp.ibge.gov.br/documentos/recursos_naturais/manuais_tecnicos/manual_tecnico_. Acesso em: 28 dezembro de 2012.
- LIMA, D. F. B. DE; REMPEL, C.; ECKHARDT, R. R. Análise Ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Taquari - Proposta de Zoneamento Ambiental. *Revista Geografia*, v.16, n.1, 2007.
- MALDONADO, F. D. Desenvolvimento e avaliação de uma metodologia de detecção de mudanças na cobertura vegetal do semiárido. 311p. Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto). São José dos Campos: INPE, 2005.
- MALDONADO, F. D. Análise por componentes principais (ACP) na caracterização da dinâmica do uso da terra em área do semiárido brasileiro: Quixaba - PE, Brasil. (INPE-7180-TD/680). 116p. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto). Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. São José dos Campos: INPE, 1999.
- MOLION, L. C. B.; BERNARDO, S. DE O. Dinâmica das chuvas no Nordeste Brasileiro. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, 11, 2000, Rio de Janeiro. Anais... Rio de Janeiro, 2000. p.1334-1342.
- NASA. USGS. SRTM - Shuttle Radar Topography Mission Home page. 2002.
- OLIVEIRA, W. M. DE; CHAVES, I. DE B.; LIMA, E. R. V. DE. Índices espectrais de vegetação de caatinga em um neossolo litólico do semiárido paraibano. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 14, 2009, Natal. Anais... Natal: INPE, 2009. p.2103-2110.
- PAES-SILVA, A. P.; CHAVES, I. B.; SAMPAIO, E. V. S. B. Cobertura vegetal da bacia hidrográfica do Açude Namorado no cariri oriental paraibano. *Agropecuária Técnica*. v.24, n.1, p.47-59, 2003.
- PARAÍBA. Secretaria de Estado da Ciência e Tecnologia e do Meio Ambiente. Agência Executiva de Gestão de Águas do Estado da Paraíba, AESA. PERH-PB: Plano Estadual de Recursos Hídricos: Resumo Executivo e Atlas. Brasília, 2006. 112p.
- PARAÍBA. Governo do Estado - Secretaria de Agricultura e Abastecimento - CEPA - PB. Zoneamento Agropecuário do Estado da Paraíba. Relatório ZAP-B-D-2146/1. UFPB-EletroConsult Ltda. Dez, 1978. 448p.
- PONTES, M. A. G. GIS e geoprocessamento. Apostila de Topografia. FACENS. Sorocaba, 2002.
- SÁ, I. I. S.; GALVÍNIO, J. D.; MOURA, M. S. B. DE; SÁ, I. B. Uso do índice de vegetação da diferença normalizada (IVDN) para caracterização da cobertura vegetal da Região do Araripe Pernambucano. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v.1, n.1, p.28-38, 2008.
- RIBEIRO, G. DO N.; MARACAJÁ, V. P. B.; BARROS, D. F. Utilização de técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento no estudo dos recursos naturais. *Revista Verde*, v.3, n.1, p.22-41, 2008.
- SILVA, B. B.; LOPES, G. M.; AZEVEDO, P. V. Determinação do albedo de áreas irrigadas com base em imagens LANDSAT 5-TM. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, v.13, n.2, p.11-21, 2005.
- SOUZA, B. I. DE; SUERTEGARAY, D. M. A.; LIMA, E. R. V. DE. Desertificação e seus efeitos na vegetação e solos do Cariri Paraibano. *Mercator*, v.8, n.16, p.217-232, 2009.
- WATZLAWICK, L. F.; KIRCHMER, F. F. Estimativas de biomassa e carbono utilizando imagens de satélite de alta resolução. In: *Fixação de carbono: atualizações, projetos e pesquisas*. Curitiba, 2004. p.133-151.

Capítulo 14**USO DE IMAGENS LANDSAT NA CARACTERIZAÇÃO DOS SISTEMAS DE PRODUÇÃO DE CAPRINOS E OVINOS NA CHAPADA DAS MANGABEIRAS NO ESTADO DO PIAUÍ****¹Luciano Cavalcante de Jesus França****²João Batista Lopes da Silva****²Luanna Chácara Pires**¹ Doutorando em Engenharia Florestal, UFLA, Lavras-MG, lucianodejesus@florestal.eng.br² Professores, UFSB/IHAC/CPF/Campus Teixeira de Freitas-BA, silvajbl@ufsb.edu.br, luanna.ufsb@gmail.com**Introdução**

As geotecnologias espaciais de alguns tempos à atualidade, tornaram-se aliadas a trabalhos de âmbito urbano, agrícola e de conservação da natureza. O termo Geotecnologia, de acordo com Filho e Costa (2003), reúne o conjunto de ciências e tecnologias relacionadas à aquisição, armazenamento em bancos de dados, processamento e desenvolvimento de aplicações utilizando informações georreferenciadas ou geoinformações. Para Burrough (1986), os Sistemas de Informações Geográficas (SIG), são sistemas capazes de armazenar, manipular, transformar, analisar e exibir informações georreferenciadas, contidas em mapas e/ou bancos de dados, gerando novas informações, que, por sua vez, auxiliam o processo de tomada de decisões.

Segundo Rocha (2007) apud Nery (2010), o uso de imagens obtidas por técnicas de sensoriamento remoto tem se multiplicado devido à evolução dos sensores, com resoluções cada vez melhores, associadas às técnicas de extração das informações advindas do processamento dessas imagens. Com esse advento dos sistemas de informações geográficas, em conjunto com as imagens obtidas por sensoriamento remoto, facilitam o trabalho de manejo de recursos naturais e obtenção de mais informações em regiões brasileiras de grandes extensões, como é o caso da região semiárida do Piauí.

Parte do estado do Piauí encontra-se uma parte da Mesorregião da Chapada das Mangabeiras, uma área de 156.324 km² que possui população estimada em 428.522 habitantes, abrangendo 39 municípios, e nesta mesorregião, existem poucos estudos com pequenos ruminantes e grande desconhecimento dos sistemas de produções da caprinocultura e ovinocultura, atividades de grande importância econômica para a região. Outrora, esta região foi conhecida e rotulada como um local de pobreza e dificuldades. Os municípios que fazem parte da Chapada das Mangabeiras estão ligados basicamente às atividades do setor primário, principalmente a agricultura e pecuária, tendo a agricultura familiar e criação de caprinos e ovinos, o grande enfoque econômico desta mesorregião (MDA, 2015).

Existem alguns trabalhos realizados sobre esta temática, levantamento dos sistemas de produção de caprinos e ovinos, em regiões com características climáticas bem diferentes do Nordeste, e segundo Azevedo et al. (2000), devido as poucas informações sobre sistemas de produção pecuária e índices zootécnicos em municípios do Pará, foi preconizado em 1976 um sistema de produção para Marajó (Ilha de Marajó). Ludovino (1996) realizou um diagnóstico do sistema de produção envolvendo apenas pequenas propriedades dos municípios de Salvaterra, Soure e Cachoeira do Arari, também no estado do Pará. Já os autores Arima e Uhl (1996) também realizaram um diagnóstico, só que envolvendo grandes propriedades, relatando dados zootécnicos e econômicos. Enquanto, Azevedo et al. (2000) realizou trabalho semelhante, onde conseguiu caracterizar fisicamente algumas propriedades, através de mapas temáticos elaborados através de imagens do LANDSAT TM 5 e imagens de Radar, na escala de 1:100.000, onde foram identificadas e classificadas as classes de solos dominantes, classes de vegetação, regime de inundação e localização das propriedades.

Tendo em vista as poucas informações e poucos estudos disponíveis sobre os sistemas de produção pecuária dos municípios da Chapada das Mangabeiras, no que diz respeito a características zootécnicas, econômicas e na forma como se maneja estes sistemas de produção. Desta forma, é importante caracterizar os sistemas de produção de caprinos e ovinos na referida mesorregião do estado do Piauí, de modo mais rápido, como por meio de imagens de satélite. Tal mecanismo geoespacial está sendo utilizado como forma de obter resultados completos e concretos para que assim se viabilize metodologias que venham ajudar produtores rurais e seus produtos, bem como que se tenha referencial teórico acerca do perfil dos criadores e das principais raças e populações de caprinos e ovinos, além da

caracterização das propriedades incluídas nesta mesorregião do estado do Piauí (FRANÇA & SILVA, 2013).

Neste sentido, o objetivo deste trabalho foi caracterizar os sistemas de produção de caprinos e ovinos na mesorregião da Chapada das Mangabeiras no Estado do Piauí e na região litorânea no estado do Maranhão por meio de imagens LANDSAT 5 TM e complementadas com imagens da plataforma de mapas do Google Earth.

Material e Métodos

Realizou-se diagnóstico dos sistemas de criação de caprinos e ovinos em três propriedades na cidade de Redenção do Gurguéia-PI, duas na cidade Colônia do Gurguéia-PI e três propriedades distribuídas em três cidades no litoral do Maranhão, Raposa, Paço do Lumiar e São José de Ribamar (Figura 1).

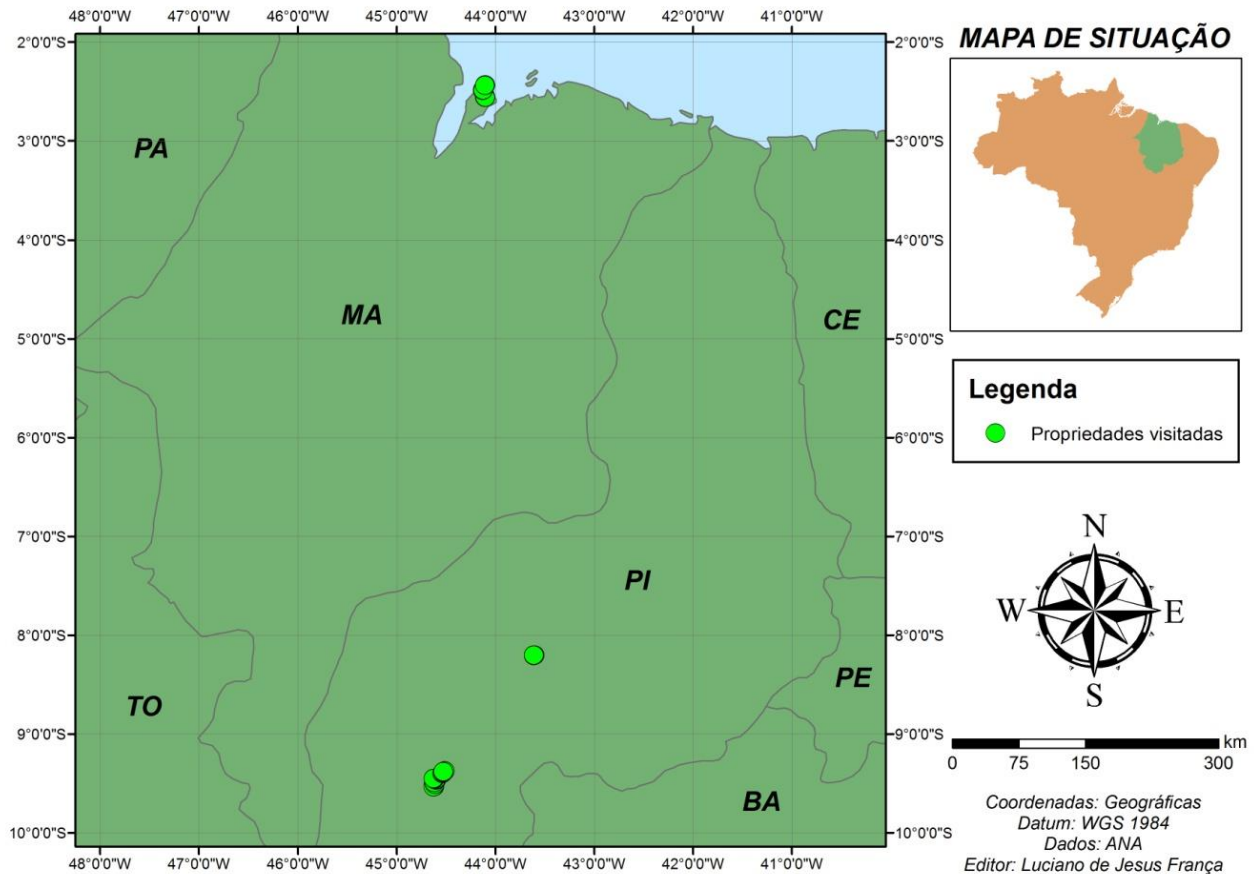


Figura 1. Localização das propriedades levantadas.

Em todas as propriedades visitadas foram realizados questionários e levantamentos de campo acerca de: perfil de cada criador; principais raças e populações de caprinos e ovinos; características das propriedades; fisionomia vegetal; e dados técnicos e econômicos da propriedade.

A classificação dos sistemas de produção foi realizada com auxílio de pontos de controle obtidos por GPS (Sistema de Posicionamento Global) em campo, assim pode-se obter as imagens de satélite, LANDSAT 5 TM, mais recentes da localidade, cenas dos dias 27-05-2010, 04-07-2009 e 11-06-2004, nas quais foram utilizadas as bandas espectrais 3, 4 e 2 para composição RGB 342, como também foi feita a aquisição de imagens da plataforma de mapas do Google Earth para auxiliar na interpretação e análise. As imagens orbitais do satélite LANDSAT 5 TM, foram obtidas junto ao Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE).

O processamento das imagens foi realizado com auxílio do software ArcGIS 10. As imagens obtidas no Google Earth foram utilizadas para auxílio, tendo em vista dificuldade na fotointerpretação de algumas propriedades com imagens LANDSAT, devido à resolução espacial da imagem de 30 m.

Fez-se a análise visual das imagens, na finalidade de identificar as características visíveis da área dos sistemas de produção, em que consistiu em analisar além da localização, classes de vegetação e regime de pastagem, em que se buscou classificá-los de acordo com os níveis tecnológicos apontados

por Guimarães Filho e Nogueira (2006); Araújo et al. (2009); Costa et al. (2009a; 2009b). Os sistemas de produção foram classificados de acordo com dois grupos: (a) nível tecnológico; e (b) forma de produção. No grupo nível tecnológico os sistemas de produção foram classificados em duas classes distintas: (i) tecnificado; e (ii) não tecnificado. No grupo forma de produção os sistemas de produção foram classificados em três classes distintas: (1) extensivo; (2) semi-intensivo; e (3) intensivo.

Também para facilitar a análise e interpretação das imagens calculou-se índices de vegetação (IV) das propriedades levantadas, a fim de diagnosticar a situação vegetal em cada área visitada. O índice de vegetação utilizado foi IVR (Índice de Vegetação da Razão), calculado pela divisão da banda 4 (infravermelho próximo) pela banda 3 (vermelho) do LANDSAT TM.

Após o cálculo do IVR para cada propriedade, fez-se a classificação do nível da vegetação para auxiliar na determinação no nível tecnológico e sistema de produção das propriedades (Tabela 1).

Tabela 1. Classificação do Índice de Vegetação da Razão

| Valor | Descrição |
|--------|----------------------|
| 0 - 1 | Solo exposto |
| 2 - 3 | Vegetação rala |
| 4 - 10 | Vegetação Média |
| > 11 | Vegetação exuberante |

Resultados e Discussão

Características dos Sistemas de Produção

Nas propriedades visitadas observou-se que predominam pastagens exóticas cultivadas e fazem parte da composição botânica da fisionomia vegetal do bioma cerrado e caatinga (Tabela 2). A vegetação predominante nas propriedades no sul do Piauí é cerrado-caatinga (ecótono), sendo registrado cactáceas em todos os locais visitados nessa região, a exemplo o Mandacará. Já a vegetação predominante nas propriedades do norte do Maranhão foi vegetação litorânea, a mesma diversificada, desde espécies de gramíneas até componentes arbóreos e arbustivos, e devido à localização em faixa litorânea, verificou ocorrência destas propriedades próximas a área de mangue (MDA, 2015).

O tipo de pastagem exótica cultivada mais predominante observada foi (*Brachiaria humidicola*), registrada em cinco das propriedades visitadas.

Com áreas relativamente extensas, as propriedades localizadas no Piauí apresentaram certo grau de degradação das pastagens, devido ao as condições climáticas da região, exposição do solo e ausência de sistema de irrigação.

Tendo em vista as características regionais do sul do Piauí, em que o desenvolvimento de sistemas de produção sustentáveis nestas regiões semiáridas é bem mais complexo do que em outras regiões do país. É preciso considerar a fragilidade dos biomas cerrado e caatinga, que quando manejados inadequadamente causam prejuízos ao produtor e ao próprio sistema, sendo preciso atenção com as adversidades edafoclimáticas e a necessidade de conservação de recursos naturais (MDA, 2015).

As propriedades visitadas possuem algumas características semelhantes, tais como, topografia, energia utilizada, forma de abastecimento de água, até mesmo o número de animais criados, já no que diz respeito a atividades agropecuárias, as propriedades do sul do Piauí assemelham-se entre si (Tabelas 2 e 3).

Tabela 2. Fisionomia vegetal das propriedades e espécies vegetais encontradas

| | Prop. 01 | Prop. 02 | Prop. 03 | Prop. 04 | Prop. 05 | Prop. 06 | Prop. 07 | Prop. 08 |
|---|--|---|---|---|---|-------------------------------|---|-------------------------------|
| Fisionomia vegetal | De chapada Arbustiva-arbórea nativa da caatinga Herbácea nativa de campo ou de várzea Transição (Cerrado/Caatinga) | Cerrado Transição (Cerrado/Caatinga) | Arbustiva-arbórea nativa da caatinga Herbácea nativa de campo ou de várzea Transição (Cerrado/Caatinga) | De chapada Mata Arbustiva-arbórea nativa da Caatinga Transição (Cerrado/Caatinga) | Mata (densa ou não, com ou sem babaçu) Transição (Cerrado/Caatinga) | Vegetação Litorânea | Vegetação Litorânea | Vegetação Litorânea |
| Árvores e arbustos Nativos forrageiros | Jurema preta Mororó/Pata de Vaca Catingueira Marfim Faveira Pequiheiro Cajú | Jurema Preta Mororó/Pata de Vaca Pau D'arco Faveira Pequiheiro Cajú/Caju Amargoso Caatinga de porco | Jurema Preta Mororó/Pata de Vaca Carnaubeira | Jurema Preta Mororó/Pata de vaca Catingueira Marfim Maniçoba Pau D'arco Faveira Pequiheiro e Cajú | Jurema Preta Mororó/Pata de vaca Catingueira Pau D'arco Mirandiba Faveira Pequiheiro e Cajú Outro: Oiti | Pau D'arco Carnaúba | Pau D'arco Faveira Carnaúba Tuncuzeiro Outros: Janaúba Outros: Cansação | Pau D'arco Tuncuzeiro |
| Cactáceas nativas forrageiras | Mandacaru Coroa-de-frade | Não identificado | Mandacará | Mandacará | Mandacará Palma Forrageira | Não tem | Não tem | Não tem |
| Herbáceas nativas forrageiras | Não identificado | Feijãozinho Velame Capim Mimoso Mata Pasto Feijão Bravo Malva Vassourinha | Capim Mimoso Mata Pasto Feijão Bravo Malva Vassourinha | Relógio Velame Capim Mimoso Mata Pasto Malva Vassourinha Quebra-faca | Velame Capim Mimoso Mata Pasto Malva Vassourinha | Outros: Capim elefante e feno | Outros: Capim elefante e feno | Outros: Capim elefante e feno |
| Pastagem exótica cultivada | Braquiária humidícola Braquiarão Andropogom | Braquiária decumbens Braquiária humidícola Braquiarão Capim buffel Andropogom Massai Rio de Janeiro | Braquiária decumbens Braquiária humidícola Andropogom | Braquiária decumbens Braquiária humidícola | Braquiária humidícola Andropogom Mambaça Búfalo Tanzan | Braquiarão | Braquiarão Outras: Pícula | Braquiarão |
| Forrageiras cultivadas | Cana-de-açúcar Comecon | Cana-de-açúcar | Cana de açúcar | Mandacará Maniva de Mandioca | Cana de açúcar Mandacará Outro: Capim de Corte | Não identificado | Capim Elefante | Não identificado |
| Cultivo Agrícola | Milho | Mandioca Fruticultura (Mamão, Goiaba, Manga) | Arroz e Milho | Arroz, Milho, feijão, Mandioca Fruticultura (Melancia, laranja e tanja) | Arroz, Milho, Feijão, Mandioca Fruticultura (acerola, melancia e melão) | Não identificado | Milho, Feijão Fruticultura (Limão, caju, mamão, coco) | Não identificado |

Tabela 3. Características das propriedades

| | Município | Área total (ha) | APP (ha) | Atividades agropecuárias | Solo | Topografia | Energia | Água |
|---|--------------------------|-----------------|----------|---|----------------|------------|----------|-------------------------|
| Propriedade 01 Fazenda Buriti Grande | Redenção do Gurguéia, PI | 1.400 | 150 | Lavoura Extrativismo Bovinocultura Caprinocultura Ovinocultura Avicultura | Franco Arenoso | Plana | Elétrica | Subsolo e água encanada |
| Propriedade 02 Fazenda Angical III | Redenção do Gurguéia, PI | 420 | 126 | Bovinocultura Caprinocultura Ovinocultura Avicultura | Arenoso | Plana | Elétrica | Subsolo e água encanada |
| Propriedade 03 Fazenda Bom Sucesso | Redenção do Gurguéia, PI | * | * | Lavoura Bovinocultura Caprinocultura Ovinocultura Outras: Milho e arroz em pequena quantidade | Arenoso | Plana | Elétrica | Subsolo |
| Propriedade 04 Fazenda da Paz | Colônia do Gurguéia, PI | 56 | 11,2 | Lavoura Bovinocultura Caprinocultura Ovinocultura Avicultura Suinocultura | Arenoso | Plana | Elétrica | Água encanada |
| Propriedade 05 Fazenda Barros | Colônia do Gurgueia, PI | 100 | 20 | Lavoura Bovinocultura Caprinocultura Avicultura Suinocultura | Arenoso | Plana | Elétrica | Água encanada |
| Propriedade 06 Estância Liberdade | Raposa, MA | 36 | 7,2 | Caprinocultura Ovinocultura E venda de Feno desidratado | Franco Arenoso | Plana | Elétrica | Subsolo |
| Propriedade 07 Rancho Ana Beatriz | Paço do Lumiar, MA | 20 | 4 | Ovinocultura Avicultura Suinocultura | Arenoso | Plana | Elétrica | Subsolo |
| Propriedade 08 Aprisco Bacuris | São José de Ribamar, MA | 15 | 3 | Caprinocultura Ovinocultura | Franco Arenoso | Plana | Elétrica | Subsolo |

*Na propriedade 03 o proprietário não soube informar a área da propriedade e nem área de preservação permanente.

Tabela 4. Descrição dos animais nas propriedades

| | Município | Número de Caprinos | Número de Ovinos | Total |
|---|--------------------------|--------------------|------------------|-------|
| Propriedade 01 Fazenda Buriti Grande | Redenção do Gurguéia, PI | 211 | 182 | 393 |
| Propriedade 02 Fazenda Angical III | Redenção do Gurguéia, PI | 114 | 95 | 209 |
| Propriedade 03 Fazenda Bom Sucesso | Redenção do Gurguéia, PI | 101 | 173 | 274 |
| Propriedade 04 Fazenda da Paz | Colônia do Gurguéia, PI | 38 | 80 | 118 |
| Propriedade 05 Fazenda Barros | Colônia do Gurgueia, PI | 55 | 446 | 501 |
| Propriedade 06 Estância Liberdade | Raposa, MA | 52 | 127 | 179 |
| Propriedade 07 Rancho Ana Beatriz | Paço do Lumiar, MA | * | 35 | 35 |
| Propriedade 08 Aprisco Bacuris | São José de Ribamar, MA | 121 | 75 | 196 |

*Proprietário não criava Caprinos no período de visita em campo.

Análise das Imagens LANDSAT e Google Earth

As imagens LANDSAT das propriedades foram analisadas separadamente, comparando-as com as imagens do Google Earth (Figura 2).

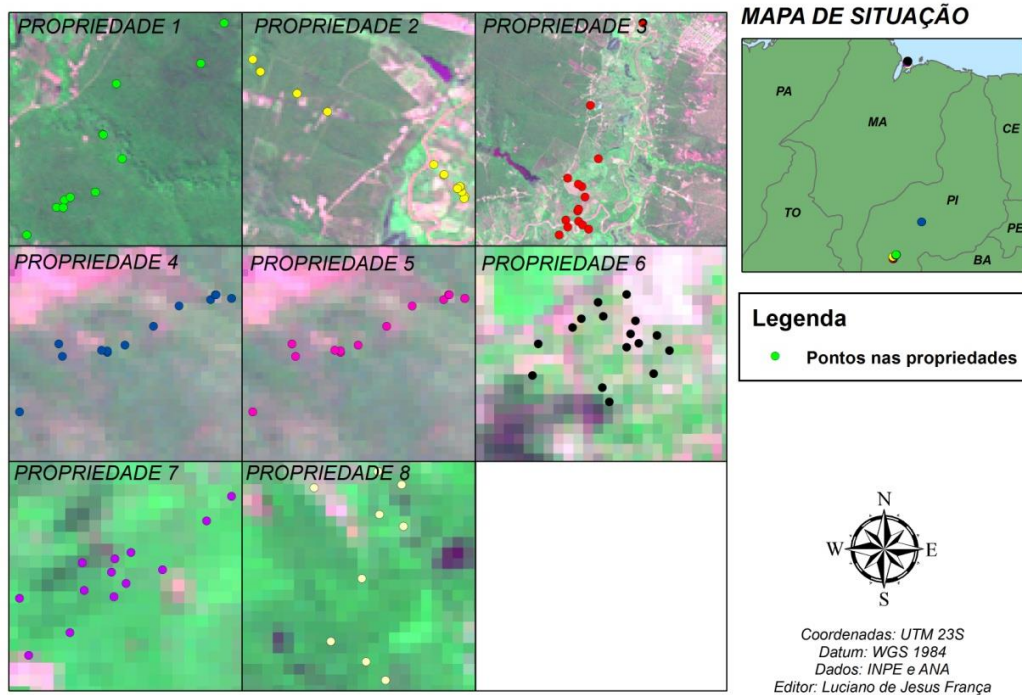


Figura 2. Localização das propriedades nas imagens LANDSAT TM 5.

Analisando a cena do dia 27-05-2010, da imagem LANDSAT 5 TM (Figura 3), a propriedade 1 com área de 1.400 ha e área de preservação permanente de 150 ha, observa-se que o uso da terra é pouco definido, é possível visualizar algumas áreas de pastagens soltas e delimitadas no início da propriedade, assim como área vegetada no decorrer da estrada não pavimentada. Desse modo, com base nos dados observados em campo e com base na interpretação da imagem, a propriedade 01 apresenta nível tecnológico não tecnificado, tendo em vista que não foram observadas variedades de benfeitorias, máquinas, silo, pastagem cultivada, nem pasto irrigado. A topografia plana favorece a criação dos animais soltos, sendo assim, à forma de produção ou sistema de criação caprino/ovino se classifica como extensiva, pois os animais são criados soltos na área da propriedade, e se alimentam de pastagens e não recebem maiores cuidados (Figura 4).

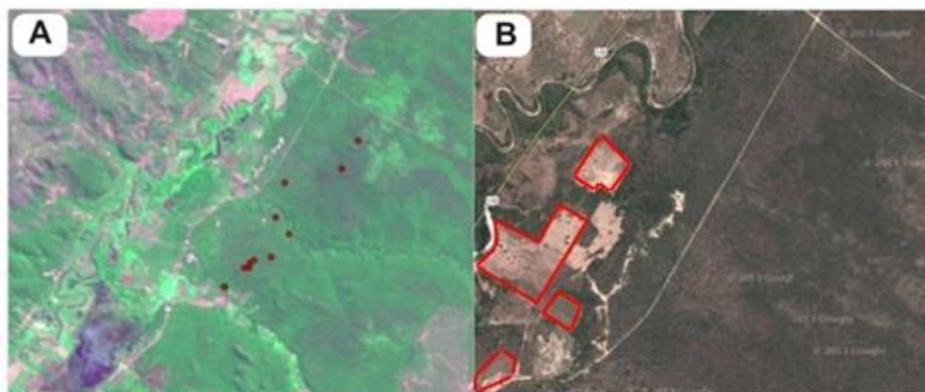


Figura 3. Propriedade 01 – Fazenda Buriti Grande, localizada no município de Redenção do Gurguéia, Piauí: (A) Imagem LANDSAT 5 TM, composição RGB 342 (cena do dia 27-05-2009) com os pontos visitados e levantados na propriedade 01; (B) Imagem do Google Earth aproximada para auxiliar na interpretação, onde os polígonos em vermelho são áreas de pastagem.



Figura 4. Criação extensiva na cidade de Redenção do Gurgueia, Piauí, com topografia plana propícia a este tipo de criação.

Na imagem do Google Earth (Figura 3B), é possível observar com riqueza de detalhes as características visíveis da propriedade, onde, comparando-a a imagem LANDSAT (Figura 3A) verifica-se um grau de diferença das características da área analisada. Contudo, em ambas as cenas se observa a proximidade da propriedade com um curso de água bem como, observa-se alguns fragmentos de solo exposto, todavia, apenas na imagem do Google Earth consegue-se observar claramente estas áreas de solo exposto, caracterizando as áreas de pastagem com alto nível de degradação.

Na propriedade 2 (Figura 5A), cena de 27/05/2010 do LANDSAT, com área de 420 ha e área de preservação permanente de 126 ha, observa-se que há uma grande área de pastagem definida na parte inicial da propriedade. Porém, apresenta nível tecnológico não tecnificado, devido ao fato da pastagem apresentar alto nível de degradação, como também, não sendo constatado benfeitorias, máquinas, silo e pasto irrigado em campo. A forma de produção ou sistema de criação caprino/ovino se classifica como extensiva, pois os animais são criados soltos na área da propriedade.



Figura 5. Propriedade 02 – Fazenda Angical II, localizada no município de Redenção do Gurgueia, Piauí: (A) Imagem LANDSAT 5 TM, composição RGB 342 (cena do dia 27/05/2010) com os pontos visitados e levantados na propriedade 02 para a caracterização do sistema de produção; (B) Imagem do Google Earth com visualização aproximada (Polígonos em vermelho representam as pastagens).

Na imagem do Google Earth (Figura 5B) é possível observar com maior resolução espacial, os detalhes da propriedade, onde, comparando a imagem LANDSAT (Figura 5A) é possível verificar diferenças nas características da área analisada. Apenas na imagem do Google Earth é possível observar que a área de pastagem marcada, apresenta alto grau de degradação, constatando a ausência de manejo e recuperação da pastagem.

A propriedade 3, cena do dia 27/05/2010, com área não informada pelo proprietário, observa-se que o uso da terra apresenta apenas uma área definida, ou seja, é possível visualizar região de pastagem

animal definida no decorrer da estrada (Figura 6). Contudo, apresenta nível tecnológico não tecnificado, devido à degradação elevada da pastagem, como também, não foi observado em campo o uso de tecnologias ou benfeitorias, e à forma de produção ou sistema de criação caprino/ovino se classifica como extensiva, tendo animais criados soltos na propriedade.

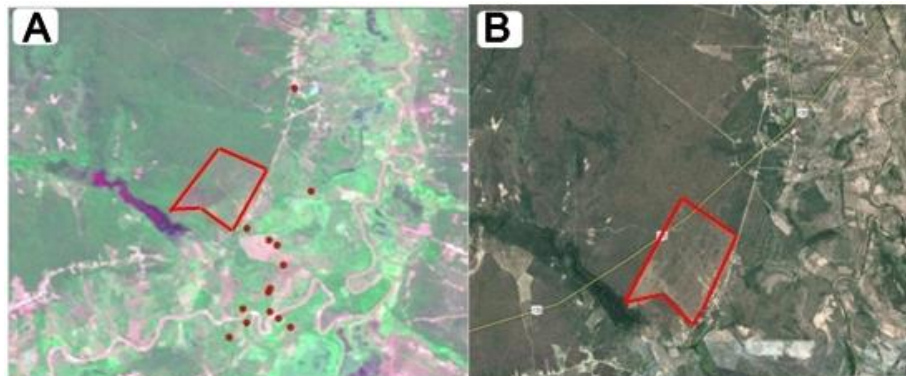


Figura 6. Propriedade 03 – Fazenda Bom Sucesso, localizada no município de Redenção do Gurguéia, Piauí: (A) Imagem LANDSAT 5 TM, composição RGB 342 (cena do dia 27/05/2010) com os pontos visitados e levantados na propriedade 03 para a caracterização do sistema de produção. (B) Imagem do Google Earth (Polígonos em vermelho representam as pastagens).

Nas duas imagens (Figuras 6A e 6B) não apresentam muitas diferenças na visualização da área da propriedade, contudo, na imagem do Google Earth é possível observar com maior riqueza de detalhes que a área de pastagem também apresenta vestígios de processo de degradação.

Na propriedade 4 (Figura 7A), cena do dia 04/07/2009 com área de 56 ha e área de preservação permanente de 11,2 ha, observa-se, que a propriedade é dividida com cercas, no que diz respeito a área de pastagem animal e culturas de milho, arroz e mandioca, conforme observado em campo (Figura 8). Observa-se na imagem oriunda do Google Earth (Figura 7B) que há diferenças entre áreas dentro da propriedade. Contudo, também não se observou benfeitorias em campo, assim como pasto irrigado ou tecnologias semelhantes, apresentando, portanto, nível tecnológico não tecnificado, apesar da pastagem estar em melhores condições que as propriedades anteriores (Figuras 3, 5 e 6). A forma de produção ou sistema de criação caprino/ovino se classifica como extensiva, pois os animais são criados soltos na área da propriedade. A visualização da propriedade na imagem LANDSAT mostra-se mais complexa (Figura 7A), contudo ao compará-la com a imagem do Google Earth (Figura 7B), observa-se diferenças, principalmente na riqueza de detalhes da área analisada, observa-se também melhores condições do solo quando comparado as propriedades anteriores.

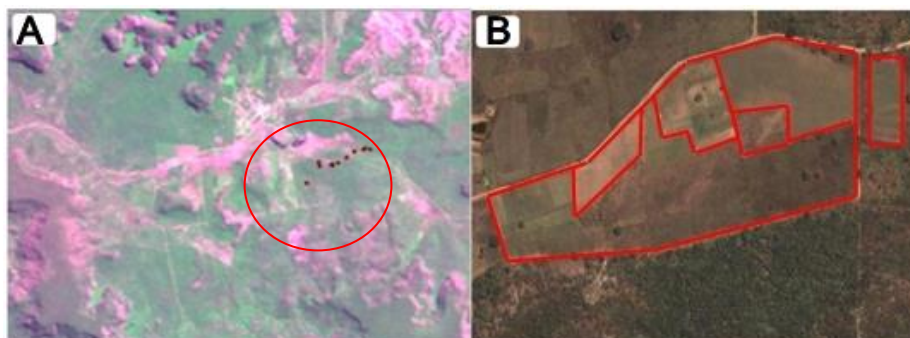


Figura 7. Propriedade 04 – Fazenda da Paz, localizada no município de Colônia do Gurguéia, Piauí: (A) Imagem LANDSAT 5 TM, composição RGB 342 (cena do dia 04/07/2009) com os pontos visitados e levantados na propriedade 4 para a caracterização do sistema de produção; (B) Imagem do Google Earth (Polígonos em vermelho representam as pastagens).



Figura 8. Conforme observado em campo, cada área da propriedade é dividida com cerca, para pasto e culturas.

A propriedade 5 (Figura 9), cena do dia 04/07/2009, com área de 100 ha e área de preservação permanente de 20 ha, logo, observa-se pelas imagens (Figuras 9A e 9B), que a propriedade é dividida com cercas, no que diz respeito a área de pastagem animal e cultivo agrícola. Observa-se na imagem aproximada (Figura 9B) que há distinção entre áreas dentro da propriedade. Porém, não se observou variedades de benfeitorias em campo, bem como pasto irrigado ou tecnologias semelhantes, assim como pelas imagens também não se constatou benfeitorias, apresentando, portanto, nível tecnológico não tecnificado. A forma de produção ou sistema de criação caprino/ovino se classifica como extensiva caracterizada pelo não confinamento animal. Na imagem do Google Earth (Figura 9B) é possível observar com riqueza de detalhes as características da propriedade, onde é possível ver muitas divisões na área, como observado em campo, também há divisões por cerca de pastagem animal e para cultivos agrícolas. É possível verificar complexidade na interpretação da cena LANDSAT (Figura 9A), quando comparado à imagem aproximada, levando em consideração a resolução espacial.

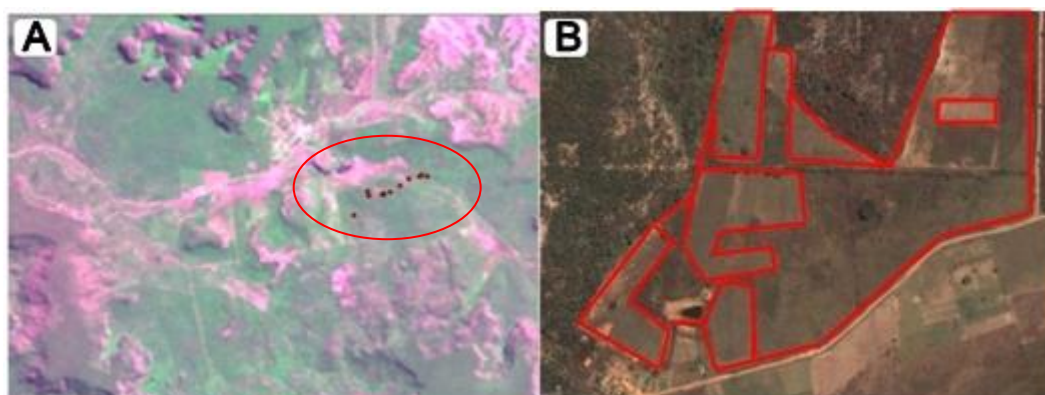


Figura 9. Propriedade 05 – Fazenda Barros, localizada no município de Colônia do Gurguéia, Piauí: (A) Imagem LANDSAT 5 TM, composição RGB 342 (cena do dia 04/07/2009) com os pontos visitados e levantados na propriedade 05 para a caracterização do sistema de produção; (B) Imagem do Google Earth (Áreas em polígonos demarcando diferenças de uso do solo da propriedade).

Na propriedade 6, cena do dia 11/06/2004, imagem LANDSAT 5 sensor TM (Figura 10A), e imagem adquirida no Google Earth, onde há uma maior resolução espacial (Figura 10B), a propriedade 6 com área de 36 ha e área de preservação permanente de 7,2 ha, apresenta uso da área muito bem definido, e de acordo com os dados levantados em campo, é possível observar regiões mais expostas referentes a produção de feno desidratado em distintas épocas do ano, assim como é possível observar área de preservação permanente. Desse modo, a propriedade apresenta nível tecnológico tecnificado, tendo em vista que se observou variedades de benfeitorias, máquinas, pastagem cultivada, bem como

pasto irrigado (Figura 11). Já a forma de criação/produção classifica-se como semi-intensiva, pois há confinamento animal. É preciso destacar que ao comparar a imagem LANDSAT (Figura 10A) à imagem do Google Earth (Figura 10B), observa-se grande diferença na resolução espacial de ambas as cenas. Não é possível realizar uma interpretação visual concreta na imagem LANDSAT, devido ao pequeno tamanho da propriedade, todavia, na imagem do Google Earth é possível observar com alta riqueza de detalhes as características visuais da propriedade, onde se consegue observar cada divisão na área, como observado em campo, áreas de produção de feno desidratado, APP, pastagem cultivada e irrigada.

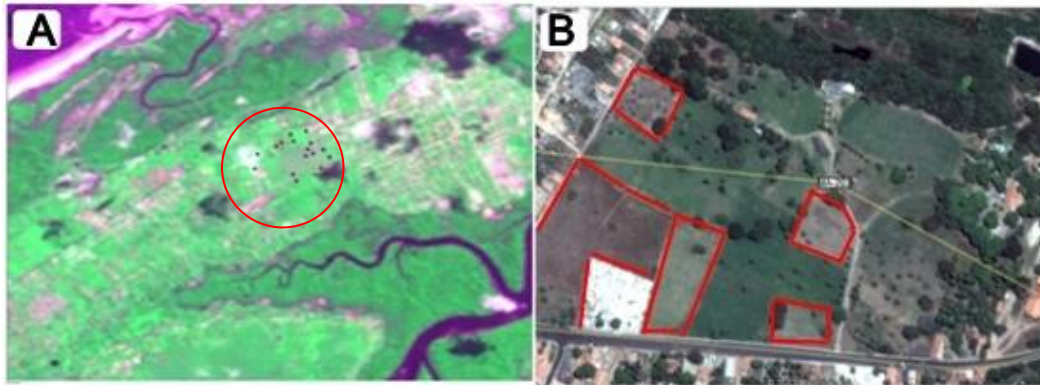


Figura 10. Propriedade 06 – Fazenda Estância Liberdade, localizada no município de Raposa, Maranhão: (A) Imagem LANDSAT 5 TM, composição RGB 342 (cena do dia 11/06/2004) com os pontos visitados e levantados na propriedade 6 para a caracterização do sistema de produção; (B) Imagem do Google Earth (Polígonos em vermelho delimitam as áreas de pastagem).



Figura 11. Propriedade 06 localizada em região litorânea do estado do Maranhão. Pastagem cultivada e áreas irrigadas, produção de feno com benfeitorias, máquinas e algumas áreas delimitadas por cerca.

A propriedade 7 (Figura 12), cena de 11/06/2004 com área de 20 ha e área de preservação permanente de 4 ha, observa-se que o uso da área também é bem definido, e de acordo com os dados levantados em campo, é possível visualizar regiões mais expostas referentes a pastos cercados e fruticultura, assim, como é possível observar uma área de preservação permanente. Desse modo, a propriedade apresenta nível tecnológico tecnificado, tendo em vista que se observou variedades de benfeitorias, máquinas, pastagem cultivada, bem como pasto irrigado. Já a forma de criação/produção

classifica-se como semi-intensiva. Ao comparar a imagem LANDSAT (Figura 12A) à imagem do Google Earth (Figura 12B), não é possível realizar uma interpretação concreta na imagem LANDSAT, devido ao pequeno tamanho da propriedade, todavia, na imagem do Google Earth é possível observar os detalhes da propriedade, onde se consegue ver cada divisão na área, como observado em campo.

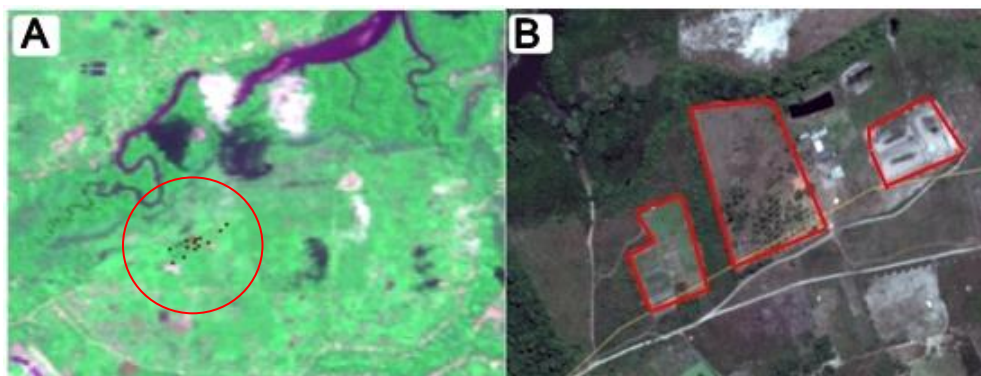


Figura 12. Propriedade 07 – Fazenda Rancho Ana Beatriz, localizada no município de Paço do Lumiar, Maranhão: (A) Imagem LANDSAT 5 TM, composição RGB 342 (cena do dia 11/06/2004) com os pontos visitados e levantados na propriedade 07 para a caracterização do sistema de produção. (B) Imagem do Google Earth (Polígonos em vermelho demarcando áreas da propriedade).

A propriedade 8 (Figura 13), cena do dia 11/06/2004 com área de 15 ha e área de preservação permanente de 3 ha, apresenta uso da área bem definido, e de acordo com os dados levantados em campo, é possível visualizar regiões mais expostas referentes a área de pasto para animais ou culturas agrícolas, como também é possível visualizar área de preservação permanente (APP). Desse modo, a propriedade apresenta nível tecnológico tecnificado, tendo em vista que se observou variedades de benfeitorias, máquinas, pastagem cultivada, bem como pasto irrigado. Já a forma de criação/produção classifica-se também como semi-intensiva, tendo animais criados em sistema de confinamento (Figura 14). Devido a pequena área territorial desta propriedade, a imagem LANDSAT (Figura 13A) não se mostra adequada na visualização da suas características e divisões, todavia, à imagem do Google Earth (Figura 13B), devido a uma melhor resolução espacial, consegue-se ver cada divisão na área, como observado em campo.

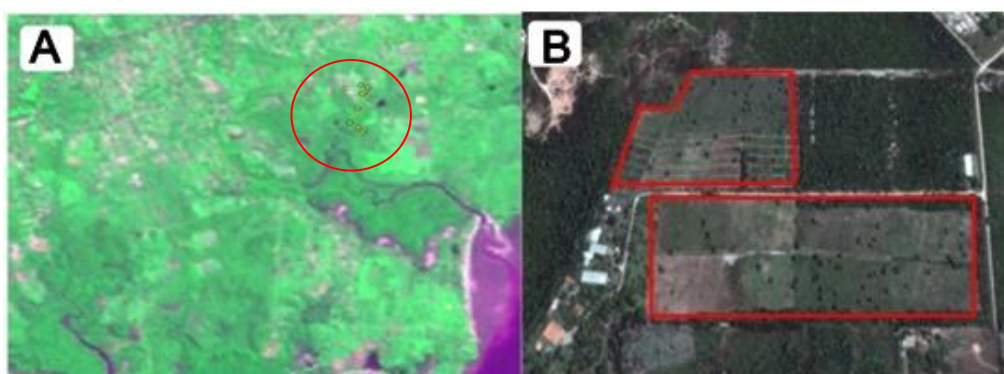


Figura 13. Propriedade 08 – Fazenda Aprisco Bacuris, localizada no município de São José de Ribamar, Maranhão: (A) Imagem LANDSAT 5 TM, composição RGB 342 (cena do dia 11/06/2004) com os pontos visitados e levantados na propriedade 08 para a caracterização do sistema de produção. (B) Imagem do Google Earth. (Polígonos em vermelho destacando área de pastagem e culturas agrícolas).

Entre as propriedades levantadas, foi possível com o uso das imagens LANDSAT a delimitação de pastagens degradadas das grandes propriedades, devido ao aparecimento contínuo de solo exposto, como também as áreas de pastagens não apresentavam polígonos regulares, definindo desta forma

baixo nível tecnológico da propriedade. Diferente das propriedades com alto nível tecnológico, que apresentam pastagens bem delimitadas e não degradadas.

Azevedo et al. (2000) fez uma caracterização do sistema de produção pecuário em quatro municípios no estado do Pará, e além da localização das propriedades e, através de mapas temáticos elaborados com imagens do LANDSAT TM 5 e imagens de Radar, foram identificadas e classificadas as classes de solos dominantes, classes de vegetação, regime de inundação. Neste trabalho, os sistemas de produção foram semi-intensivos, com nível tecnológico não tecnificado.



Figura 14. Máquinas em campo e animais em confinamento na Fazenda Aprisco Bacuris (propriedade 08).

Índice de Vegetação da Razão

O Índice de vegetação é apresentado em uma escala de 0 a 16, apresentando menor presença de vegetação quanto mais próximo de 0 (coloração verde mais claro), e apresentando vegetação mais densa, quanto mais próximo de 16 (coloração verde mais escuro) (Figura 15). Assim, observa-se que as propriedades com nível tecnológico mais alto, apresentam vegetação mais densa, devido à irrigação de pasto e presença de área de preservação permanente mais concentrada.

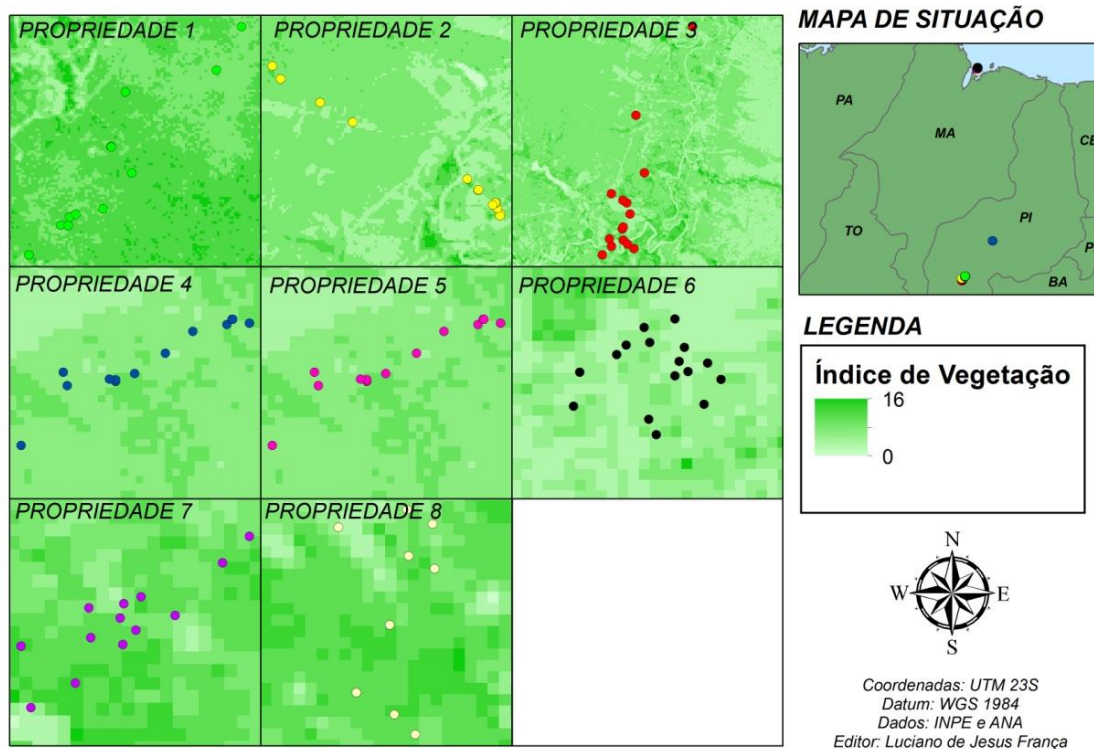


Figura 15. Índices de vegetação das propriedades levantadas.

Para facilitar a análise, elaborou-se a classificação do índice de vegetação (Figura 16). Observa-se que as propriedades visitadas no sul do Piauí, apresentaram grande presença de solo exposto e vegetação rala, tendo em vista as grandes extensões territoriais das propriedades sem sistemas de irrigação ou maiores cuidados, bem como localizadas em região semiárida, e ainda por apresentar sinais de pastagens degradadas, corroborando com Andrade et al. (2013), que, com uso do sensoriamento remoto verificou que as áreas classificadas como pastagem fortemente degradada correspondem as áreas que apresentam solo exposto. Em comparação às propriedades visitadas no norte do Maranhão, apresentaram grande presença de vegetação média, o que comprova a presença dos sistemas de irrigação dos pastos e lavouras, bem como áreas de preservação permanentes mais concentradas e mais densas.

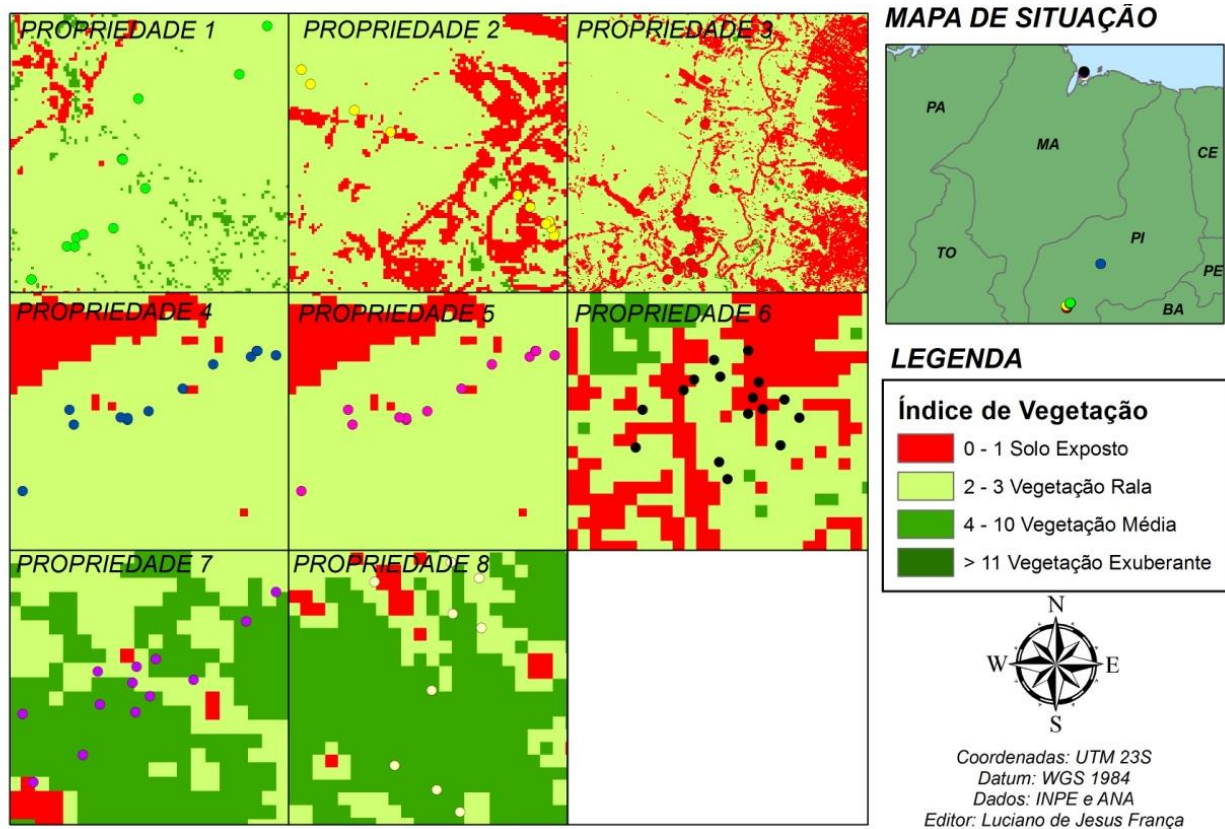


Figura 16. Classes do Índice de Vegetação das propriedades levantadas.

Conclusão

O uso de Imagens LANDSAT TM 5 na caracterização dos sistemas de produção animal é mais eficaz na análise de propriedades com grandes áreas territoriais, mostrando deficiência no que diz respeito a propriedades com pequenas áreas. Enquanto, as imagens do sistema de mapas do Google Earth são melhores na caracterização de sistemas de produção animal, principalmente em pequenas propriedades.

O índice de vegetação das propriedades corroborou com a presença dos sistemas de irrigação nas propriedades com nível altamente tecnológico, bem como a presença mais frequente de chuvas, mostrando eficiência na caracterização de pequenas e grandes propriedades.

As propriedades visitadas no Sul do Piauí (em área correspondente a Chapada das Mangabeiras) apresentam nível tecnológico pouco tecnificado, mais precisamente, não tecnificado, e formas de criação dos caprinos e ovinos na classe extensiva. Quando se tratando das propriedades visitadas na região norte do estado do Maranhão, estas apresentam características semelhantes umas das outras, tais como nível tecnológico altamente tecnificado e forma de produção dos caprinos e ovinos como semi-intensivo.

Referências

- ARAÚJO, A. M.; COSTA, M. da S.; ABREU, U. P.; BRANCO, J. F. C.; MACHADO, T. M. M.; PIRES, L. C.; CAMPELO, J. E. G. Perfil sócio-econômico dos criatórios de caprinos tradicionais no estado do Piauí e composição genética dos rebanhos. In: Simpósio de Recursos Genéticos para América Latina y el Caribe, 7, 2009, Pucón. Anais...VII SIRGEALC, Pucón: INIA, 2009. p.225-226.
- ARIMA, E.; UHL, C. Pecuária na Amazônia Oriental: Desempenho atual e perspectivas futuras. Belém: IMAZON, 1996. 44p.
- AZEVEDO, G. C. P de; CAMARÃO, A. P.; MESQUITA T. da C. Características dos sistemas de produção pecuários dos municípios de Soure, Salvaterra e Cachoeira do Arari, Ilha de Marajó, Pará. Belém: Embrapa Amazônica Oriental, 2000. 38p.
- BURROUGH, P. A. Principles of geographical information systems for land resources assessment. Clarendon Press. Oxford, 1986.
- COSTA, M. da S.; ARAÚJO, A. M.; CASTELO BRANCO, J. da F.; CAMPELO, J. E. G.; MACHADO, T. M. M.; PIRES, L. C.; CAVALCANTE, D. H.; CAVALCANTE, A. E. Localização geográfica de caprinos de ecótipo Gurguéia no estado do Piauí. Brasil. In: Simpósio de Recursos Genéticos para América Latina y el Caribe, 7, 2009, Pucón. Anais... VII SIRGEALC, Pucón: INIA, 2009a. p.167-168.
- COSTA, M. da S.; CASTELO BRANCO, J. da F.; ARAÚJO, A. M.; CAMPELO, E. G.; MACHADO, T. M. M.; SARMENTO, J. L.; EGITO, A. A. Levantamento geográfico de caprinos Nambi no estado do Piauí. In: Simpósio de Recursos Genéticos para América Latina y el Caribe, 7, 2009b, Pucón. Anais...VII SIRGEALC, Pucón: INIA, 2009b. p.165-166.
- FILHO, C. R. de S. F.; CRÓSTA, A. P. C.; Geotecnologias Aplicadas à Geologia. Revista Brasileira de Geociências, v.33, p.04, 2003.
- FRANÇA, L. C. J.; SILVA, J. B. L. Uso de imagens LANDSAT na caracterização de sistemas de produção de caprinos e ovinos na chapada das Manguabeiras no Estado do Piauí e norte do Maranhão. In: XXII Seminário de Iniciação Científica, 2013, Teresina. Anais... XXII Seminário de Iniciação Científica. Teresina: UFPI, 2013.
- GUIMARÃES FILHO, C.; NOGUEIRA, A. O cabrito do Vale do São Francisco, valorizando o bioma Caatinga. Bahia Agrícola, v.7, n.3, p.31-38, 2006.
- GUIMARÃES FILHO, C.; SOARES, J. G. G.; ARAÚJO, G. G. L. de. Sistemas de produção de carnes caprina e ovina no semi-árido nordestino. In: Simpósio Internacional sobre caprinos e ovinos de corte, 1, 2000, João Pessoa. Anais... João Pessoa: EMEPA-PB, 2000. v.1, 266p.
- LUDOVINO, R. M. R. Agricultura e pecuária em Marajó (Pará - Brasil) - Diagnóstico dos sistemas de produção da agricultura familiar. 174p. Dissertação (Mestrado). Universidade Técnica de Lisboa. Lisboa, 1996.
- MDA. Ministério de Desenvolvimento Agrário. Perfil Territorial – Chapada das Mangabeiras – PI. Brasília (DF); 2015.
- NERY, C. V. M. Uso de imagens do satélite CBERS 2B para detecção de áreas desmatadas no norte de Minas Gerais. In: III Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, 2010, Recife, PE. Anais... Recife: Faculdades Santo Agostinho – FASA, 2010. v.1, 04p.
- ROCHA, C. H. B. Geoprocessamento: Tecnologia Transdisciplinar. Juiz de Fora: Ed. do Autor, 2007.

Capítulo 15**USO DE GEOTECNOLOGIAS NAS RELAÇÕES ENTRE ATRIBUTOS FÍSICOS E QUÍMICOS DO SOLO E USO DA ÁGUA EM ARROZ VERMELHO NO VALE DO PIANCÓ****¹Guttemberg da Silva Silvino****²Fabiana Donato Soares Lisboa****³Haile Silvino Guimarães****⁴Saulo Cabral Gondim****⁵Maurício Javier De Leon****⁶Maria Cristina Santos Pereira de Araújo**¹Professor Associado, UFPB/CCA/DSER/Campus II Areia, guttembergs@gmail.com²Consultora Ambiental, fdslisboa@gmail.com³Acadêmico em Agronomia, CCA/UFPB/ Campus II Areia, hailesguimaraes@gmail.com⁴Professor Associado, UFPB/CCA/DSER/Campus II Areia, saulogondim@gmail.com⁵Professor Adjunto, UFPB/CCA/DSER/Campus II Areia, mjleon@gmail.com⁶Técnica Administrativa, UFPB/CCA/DSER/Campus II Areia, mariacristina@yahoo.com.br**Introdução**

O arroz (*Oryza sativa L.*) há muito tempo, constitui o mais importante cereal para o consumo humano, e é considerada uma das mais importantes culturas cultivadas em todo mundo, proporcionando uma fonte alimentar para praticamente metade da população global (FAO, 2013). Em algumas regiões do Brasil e principalmente no Nordeste, em particular nos estados da Paraíba, Rio Grande do Norte, Pernambuco e Ceará, o arroz de pericarpo vermelho chamado popularmente como arroz vermelho, constitui um dos principais pratos da culinária regional tendo maior teor de nutrientes que o arroz branco, fazendo parte da dieta alimentar de grande parte da população do semiárido do nordeste, apesar de ser considerada uma praga no Sul do Brasil (FONSECA et al., 2004; PEREIRA et al., 2009).

De acordo com dados do IBGE (2007), a região do Vale do Piancó inserido na mesorregião do Sertão Paraibano, composto das microrregiões de Itaporanga e de Piancó, que reúnem 20 municípios, Itaporanga, Santana dos Garrotes, Olho d'Água e Pedra Branca, são os maiores produtores de arroz vermelho do estado da Paraíba e juntos correspondem por quase 60% da produção, possuindo a maior área plantada de arroz vermelho no país, em torno de 5.000. O sistema de cultivo é bastante rudimentar, feito por meio de sequeiro (PEREIRA, 2004). No entanto existe a redução de áreas plantadas e na produtividade devido a fatores como êxodo rural, baixo nível de conhecimentos técnicos, a concorrência com a indústria do arroz branco e a baixa remuneração dos produtores.

O solo é a base fundamental dos sistemas de produção agrícola, e as alterações nas suas propriedades e que afetem a sustentação do crescimento vegetal, e, conseqüentemente o rendimento das culturas. Então, torna-se necessário buscar alternativas que sejam sustentáveis ao longo do tempo, de forma que melhorem ou mantenham uma estrutura física capaz de exercer as suas funções para o crescimento e ancoragem das raízes, bem como favorecer o suprimento de água, oxigênio e nutrientes (BLAINSKI et al., 2008). Para Imhoff et al. (2000), a qualidade física do solo é um importante fator para a manutenção da produtividade e sustentabilidade dos ecossistemas agrícolas, e sua alteração pode influenciar na maioria dos fenômenos que ocorrem no solo como quantidade de água, calor e resistência mecânica.

Um dos fatores que limitam o uso de agricultura de precisão é o número de amostras necessárias para representar espacialmente a distribuição do nutriente ou insumo a ser distribuído de forma variada.

Os agricultores, visando a aplicação de insumos a taxas variadas, são limitados pelos custos de amostragem. Kerry e Oliver (2008) sugerem que uma determinada amostra seja a menor possível e espacialmente dependente, a fim de produzir resultados aceitáveis na construção de zonas de manejo

específico e na aplicação de insumos a taxas variadas. Assim, uma variograma de confiança deve ser construída com um mínimo de 100 a 150 pontos quando estimado pelo método dos momentos de Matheron (WEBSTER & OLIVER, 1992; KERRY & OLIVER, 2007; KERRY & OLIVER, 2008).

Nesse sentido, o objetivo do presente trabalho é a utilização geotecnologias na espacialização de dados de áreas produtoras de arroz vermelho quanto às propriedades físicas do solo.

Material e Métodos

A bacia hidrográfica do Rio Piancó possui solos naturalmente muito férteis e um potencial hídrico de acumulação de água relevante, em relação as demais bacias do Estado.

A Sub-bacia do Rio Piancó localiza-se no sudoeste do Estado da Paraíba, limitando-se ao norte com as regiões do Médio e Alto Curso do Rio Piranhas, ao sul com o Estado de Pernambuco, a leste com o Estado de Pernambuco e a sub-bacia do Rio Espinharas e a oeste com o Estado do Ceará e a região do Alto curso do Rio Piranhas, entre os paralelos 6°43'52" e 7°50'28" Sul e meridianos 37°26'56" e 38°42'56" a Oeste de Greenwich. A sub-bacia abrange uma área aproximada de 9.205,17 km² (SILVA et al., 2015).

A área de estudo (Figura 1), está localizada nos municípios de Pedra Branca e Nova Olinda, situados no Vale do Piancó, Estado da Paraíba, cujas coordenadas são respectivamente, latitude 7° 25' 35,55" S e 7° 28' 17,59" S e longitude 38° 03' 53,58" O e 38° 02' 18,78" O. Os municípios estão inseridos na mesorregião do Sertão e microrregião de Itaporanga e Piancó, respectivamente. O clima é Aw denominado clima de savanas, com inverno seco e chuvas máximas no verão segundo Köppen. Na região do Vale do Piancó há uma dominância dos solos rasos com substrato cristalino, pedregoso, ou seja, os Luvisolos em combinação com os Neossolos (EMBRAPA, 2006).

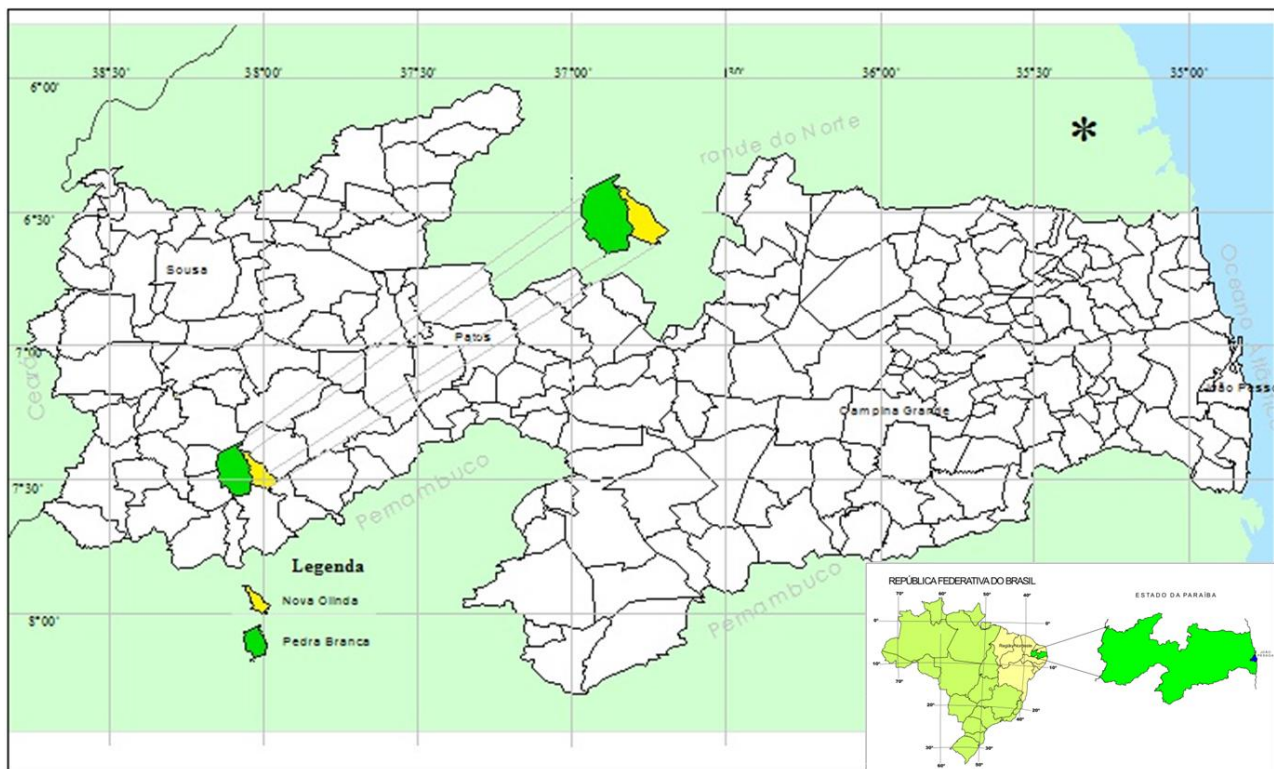


Figura 1. Localização geográfica da área de estudo.

A ferramenta utilizada para gerar a análise gráfica e estatística foi o programa SURFER, versão 12 Demo, onde os dados foram submetidos à análise estatística e espacialização geográfica na geração de mapas.

O estudo da variabilidade espacial dos atributos do solo é particularmente importante em áreas sob diferentes manejos. A análise geoestatística pode indicar alternativas de manejo, não só para reduzir

os efeitos da variabilidade do solo sobre a produção das culturas Trangmar et al. (1985), como também para aumentar a possibilidade de estimar respostas das culturas a determinadas práticas de manejo.

A Krigagem é um método geoestatístico que leva em consideração as características espaciais de autocorrelação de variáveis regionalizadas. Este método pode ser aplicado para fenômenos naturais como a distribuição de biomassa das formações vegetais porque, como na maioria dos dados ecológicos, existe certo grau de autocorrelação espacial entre eles Fortin et al. (2002). Avaliações desta natureza refletem a importância individual de cada ecossistema regional no que se refere à distribuição do estoque de carbono terrestre, podendo modelar mudanças do estoque em função de gradientes de relevo, fitofisionomias ou diferentes tipos de solo Sales et al. (2007).

Vários trabalhos comprovam a eficiência do método por krigagem para estudos de variabilidade espacial com propriedades do solo, onde avaliaram a variabilidade espacial e confeccionaram mapas de necessidade de calcário de uma área de Latossolo Vermelho, localizada na Embrapa Agropecuária Oeste (em Dourados-MS), com base em técnicas de geoestatística. Por meio de um semivariograma dos dados, confeccionou-se uma malha utilizando a técnica de krigagem (FORTIN et al., 2002).

A Análise de Componentes Principais é o mais antigo dos métodos de ordenação, o mais conhecido e com mais exemplos de aplicação em Geologia. A análise dos componentes principais nada mais é que o cálculo dos autovalores e correspondentes autovetores de uma matriz de variâncias-covariâncias ou de uma matriz de coeficientes de correlação entre variáveis. Na atualidade, é mais utilizada para a síntese de dados ambientais, ou seja, na ordenação de sítios a partir de variáveis ambientais Kent e Coker (1992). Como exemplo de seu uso com variáveis de solo, Gomes et al. (2004) estudando análise de componentes principais de atributos físicos, químicos e mineralógicos de solos verificaram que a análise de componentes principais auxiliou o entendimento das diferenças e similaridades dos ambientes pedológicos separados no campo.

Resultados e Discussão

A Tabela 1 apresenta os resultados das análises físicas dos solos da área em estudo, onde a partir da mesma foram realizadas as análises estatísticas.

A Interpolação espacial consiste em gerar estimativas para áreas não amostradas baseadas nos valores conhecidos das amostras coletadas na vizinhança. Existem vários métodos de interpolação para dados coletados em pontos com localização conhecida, incluindo o geoestatístico que leva em consideração as características espaciais de autocorrelação de variáveis regionalizadas, chamado comumente de Krigagem ou “predição ótima”. Este método pode ser aplicado para fenômenos naturais como a distribuição de biomassa das formações vegetais porque, como na maioria dos dados ecológicos, existe certo grau de autocorrelação espacial entre eles (FORTIN et al., 2002).

A análise geoestatística dos dados foi realizada através do software GS+ versão 9, utilizando os métodos de interpolação Kriging.

O componente principal foi gerado através do software estatístico SAEG 9.1, onde foram obtidas novas variáveis (scores) que representam em grande parte a variabilidade dos dados originais.

Tabela 2. Resultado das análises físicas dos solos em estudo

| Produtores | DA g cm ⁻³ | DP g cm ⁻³ | ADAg Kg ⁻¹ | GF % | Porosidade m ³ m ⁻³ | COT % | Areia % | Silte % | Argila % | Classe Textural |
|------------|--------------------------|--------------------------|-----------------------|---------|--|----------|---------|---------|----------|-----------------|
| 10 | 1,03 | 2,63 | 251 | 47 | 0,61 | 1,10 | 8,7 | 43,0 | 48,3 | AS |
| 52 | 0,97 | 2,18 | 381 | 27 | 0,56 | 0,90 | 8,4 | 41,2 | 50,4 | AS |
| 16 | 1,12 | 2,25 | 25 | 73 | 0,50 | 0,80 | 51,6 | 38,2 | 10,2 | Franco |
| 34 | 1,02 | 2,29 | 91 | 45 | 0,55 | 0,90 | 42,3 | 41,6 | 16,1 | Franco |
| 33 | 1,02 | 2,34 | 170 | 51 | 0,56 | 1,10 | 19,1 | 46,4 | 34,5 | FA |
| 17 | 1,20 | 2,41 | 38 | 72 | 0,50 | 0,70 | 51,8 | 34,0 | 14,2 | Franco |
| 26 | 1,09 | 2,43 | 76 | 50 | 0,55 | 0,90 | 48,6 | 35,2 | 16,2 | Franco |
| 32 | 0,92 | 2,45 | 209 | 51 | 0,62 | 1,40 | 9,4 | 49,4 | 41,2 | AS |
| 44 | 0,99 | 2,46 | 214 | 59 | 0,60 | 1,00 | 9,7 | 40,3 | 50,0 | AS |
| 15 | 1,28 | 2,47 | 13 | 22 | 0,48 | 0,60 | 74,9 | 17,6 | 7,5 | FAR |
| 22 | 1,05 | 2,47 | 77 | 64 | 0,57 | 1,20 | 32,4 | 46,4 | 21,2 | Franco |
| 38 | 1,00 | 2,47 | 399 | 17 | 0,60 | 1,20 | 5,6 | 46,5 | 47,9 | AS |

| | | | | | | | | | | |
|----|------|------|-----|----|------|------|------|------|------|--------|
| 18 | 1,18 | 2,48 | 13 | 86 | 0,52 | 0,50 | 60,6 | 29,5 | 9,8 | FAR |
| 31 | 1,01 | 2,48 | 104 | 67 | 0,59 | 1,20 | 15,3 | 54,6 | 30,0 | FAS |
| 20 | 1,06 | 2,50 | 77 | 62 | 0,58 | 1,10 | 14,8 | 65,2 | 20,0 | FS |
| 27 | 1,19 | 2,55 | 103 | 62 | 0,53 | 1,10 | 42,3 | 30,9 | 26,9 | FA |
| 24 | 1,03 | 2,56 | 132 | 39 | 0,60 | 1,00 | 41,2 | 36,9 | 21,9 | Franco |
| 25 | 1,01 | 2,56 | 106 | 72 | 0,61 | 1,00 | 13,5 | 50,2 | 36,3 | FAS |
| 35 | 1,00 | 2,57 | 118 | 66 | 0,61 | 1,70 | 30,3 | 34,9 | 34,9 | FA |
| 37 | 1,01 | 2,57 | 103 | 49 | 0,61 | 1,20 | 16,7 | 62,5 | 20,8 | FS |
| 40 | 0,97 | 2,57 | 239 | 56 | 0,62 | 1,00 | 4,8 | 43,5 | 51,7 | AS |
| 51 | 0,93 | 2,57 | 185 | 60 | 0,64 | 1,40 | 6,9 | 47,9 | 45,2 | AS |
| 12 | 1,04 | 2,58 | 101 | 54 | 0,60 | 0,80 | 30,1 | 46,6 | 23,3 | Franco |
| 14 | 1,11 | 2,58 | 25 | 72 | 0,57 | 0,60 | 57,9 | 32,2 | 9,9 | FA |
| 50 | 0,96 | 2,59 | 270 | 50 | 0,63 | 1,00 | 11,1 | 38,9 | 50,0 | Argila |
| 53 | 0,98 | 2,59 | 263 | 40 | 0,62 | 1,10 | 6,6 | 50,1 | 43,3 | AS |
| 19 | 1,23 | 2,60 | 25 | 71 | 0,53 | 0,50 | 69,7 | 21,5 | 8,8 | FAR |
| 21 | 1,08 | 2,61 | 51 | 69 | 0,59 | 0,70 | 23,5 | 60,1 | 16,4 | FS |
| 30 | 1,06 | 2,62 | 116 | 50 | 0,60 | 1,20 | 28,9 | 47,8 | 23,3 | Franco |
| 39 | 0,99 | 2,63 | 211 | 52 | 0,62 | 0,90 | 11,6 | 45,5 | 42,9 | AS |
| 36 | 0,99 | 2,64 | 210 | 53 | 0,63 | 1,10 | 10,0 | 45,0 | 45,0 | AS |
| 47 | 1,06 | 2,64 | 116 | 64 | 0,60 | 1,20 | 30,2 | 36,9 | 32,8 | FA |
| 29 | 1,06 | 2,65 | 51 | 56 | 0,60 | 1,20 | 49,2 | 38,4 | 12,4 | Franco |
| 46 | 0,93 | 2,65 | 331 | 35 | 0,65 | 1,50 | 6,9 | 42,6 | 50,6 | AS |
| 43 | 1,01 | 2,66 | 195 | 42 | 0,62 | 1,30 | 30,1 | 36,2 | 33,7 | FA |
| 42 | 1,03 | 2,67 | 182 | 71 | 0,61 | 1,00 | 17,4 | 17,7 | 64,9 | MA |
| 48 | 0,98 | 2,68 | 211 | 51 | 0,63 | 1,30 | 17,4 | 39,3 | 43,3 | Argila |
| 41 | 1,05 | 2,69 | 184 | 50 | 0,61 | 1,00 | 23,7 | 39,5 | 36,8 | FA |
| 23 | 1,07 | 2,72 | 52 | 79 | 0,61 | 1,00 | 27,3 | 48,5 | 24,2 | Franco |
| 55 | 0,99 | 2,72 | 104 | 66 | 0,64 | 1,80 | 24,9 | 45,9 | 29,2 | FA |
| 45 | 1,01 | 2,77 | 239 | 51 | 0,64 | 1,10 | 9,0 | 44,1 | 46,9 | AS |
| 28 | 1,06 | 2,81 | 90 | 10 | 0,62 | 1,00 | 54,5 | 35,1 | 10,4 | FAR |
| 13 | 1,02 | 2,83 | 103 | 45 | 0,64 | 1,10 | 29,2 | 52,1 | 18,7 | FS |
| 49 | 1,14 | 3,05 | 113 | 47 | 0,63 | 0,70 | 43,3 | 33,5 | 23,2 | Franco |

DA - Densidade Aparente; DP - Densidade de Partículas; ADA - Argila Dispersa em Água; GF - Grau de Flocculação; COT - Carbono Orgânico Total; AS - Argiloso Siltoso; FA - Franco Argiloso; FAR - Franco Arenoso; FAS - Franco Argiloso Siltoso; MA - Muito Argiloso.

Estatística descritiva

A Tabela 2 apresenta os resultados da análise estatística descritiva para as variáveis analisadas. Os valores da média e da mediana para os atributos estão próximos, indicando que estes dados seguem uma distribuição simétrica. Segundo Cambardella et al. (1994), os valores da média sendo próximos daqueles da mediana, é um indicativo de que as medidas de tendência central são dominadas por valores típicos na distribuição.

De acordo com dados da densidade aparente pode-se perceber, que em relação à média, mediana e moda, seus dados variam entre o menor valor da moda e o maior, e a média ficando entre 1.01 g cm^3 a 1.042 g cm^3 , sendo que o valor mediano foi o que apresentou melhor resposta, que foi de 1.02 g cm^3 . Desta maneira, pode-se levar em consideração que, a mediana representa melhor conjunto de dados da densidade aparente, enquanto que, o desvio padrão em relação à média dista 0,08 da média, indicando a variação média de cada valor em torno da média desses valores da densidade aparente.

Já para a densidade de partícula, observou-se que os valores da média e da moda ficaram muito próximos em torno de $2,57 \text{ cm}^3$, enquanto a mediana foi o maior resultado apresentado na análise, que ficou com $2,58 \text{ cm}^3$, já o desvio padrão ficou $0,15 \text{ cm}^3$ em torno da média.

No caso da argila dispersa em água, encontrou-se valores máximos e mínimos para a média e a mediana, em torno de $146,2 \text{ g kg}^{-1}$ e 116 g kg^{-1} , enquanto que o valor modal ficou bastante disperso em relação a moda e a mediana, em torno de 25 g kg^{-1} , e seu desvio padrão ficou com $95,12 \text{ g kg}^{-1}$.

Tabela 2. Resultados das análises estatística descritiva

| Variáveis | Média | Mediana | Moda | Desvio padrão |
|--|--------|---------|-------|---------------|
| Densidade Aparente (g cm^3) | 1.04 | 1.02 | 1.01 | 0.08 |
| Densidade de Partículas (cm^3) | 2.57 | 2.58 | 2.57 | 0.15 |
| Argila Dispersa em Água (g Kg^{-1}) | 146.20 | 116.00 | 25.00 | 95.17 |
| Grau de Floculação % | 53.97 | 53.00 | 50.00 | 15.82 |
| Porosidade m^3m^{-3} | 0.59 | 0.61 | 0.60 | 0.04 |
| Carbono Orgânico Total % | 1.04 | 1.00 | 1.00 | 0.27 |
| Areia % | 27.26 | 23.70 | 6.90 | 19.09 |
| Silte% | 41.82 | 42.60 | 36.90 | 10.01 |
| Argila% | 30.91 | 30.00 | 23.30 | 15.11 |

Na Figura 2 observa-se as distribuições de frequências da média e o desvio padrão. De acordo com dados do grau de floculação, percebeu-se que, em relação à média, mediana, seus dados variam entre o menor valor da moda e o maior valor que foi a média, ficando entre 53,97% a 53%, sendo que o valor da moda foi o que apresentou valor fora da faixa da média e da mediana, seu desvio padrão foi de 15,82%.

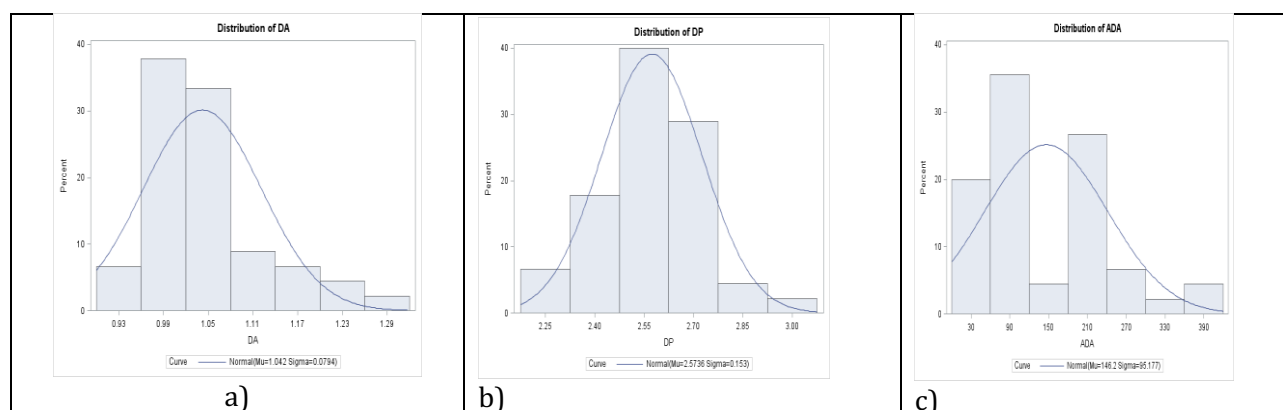


Figura 2. Distribuição de frequência da densidade aparente, densidade de partícula e densidade da argila dispersa em água.

Para a porosidade, observou-se que a moda ficou entre os valores da média e da mediana, onde temos 0,59 e 0,61 m^3m^{-3} , enquanto que a moda apresentou um valor de 0,60 m^3m^{-3} , e seu desvio padrão apresentou 0,04 m^3m^{-3} , em torno da média.

Já para o carbono orgânico total, encontrou-se valores iguais tanto para a mediana quanto para a moda, sendo que valor da média apresentou 1,04%, e medidas já citadas ficaram com 1% cada uma, seu desvio padrão apresentou 0,27% em torno da média.

A Figura 3, mostra a distribuição de frequência a) e b) sem achatamento e a c) com achatamento a esquerda. De acordo com dados de areia percebeu-se, que em relação à média, mediana e a moda, os maiores valores dessas medidas de dispersão ocorrerão com a média e a mediana, sendo que a moda foi o valor que teve seu menor valor observado, onde os valores variaram entre 6,9% para a moda, 23,7% para a mediana e 27,26% para a média, seu desvio padrão foi de 19,09%.

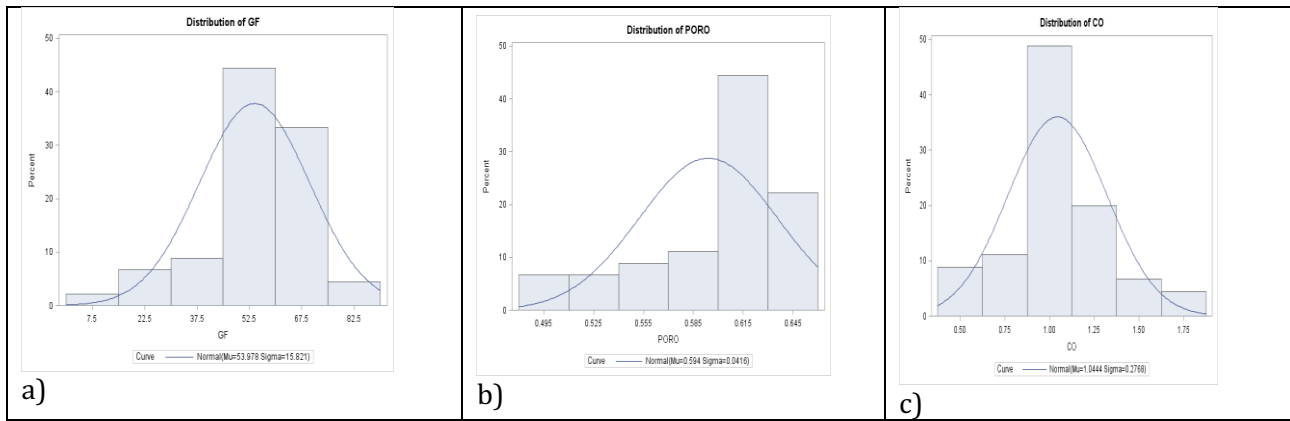


Figura 3. Distribuição de frequência do grau de floculação, porosidade e carbono orgânico total.

No caso da Figura 4, nota-se que distribuição a) mostrou com achatamento a direita e demais sem achatamento. Para a análise do silte, observou-se que a média ficou entre a média e a mediana, onde a moda apresentou 36,9%, a média 41,82% e a mediana 42,6%, onde seu desvio padrão foi de 10,07%.

No caso da argila, encontrou-se a mediana próxima da média, onde a média ficou 30,91%, a mediana com 30% e a moda com 23,3%, já o desvio padrão em torno da média ficou 15,11%.

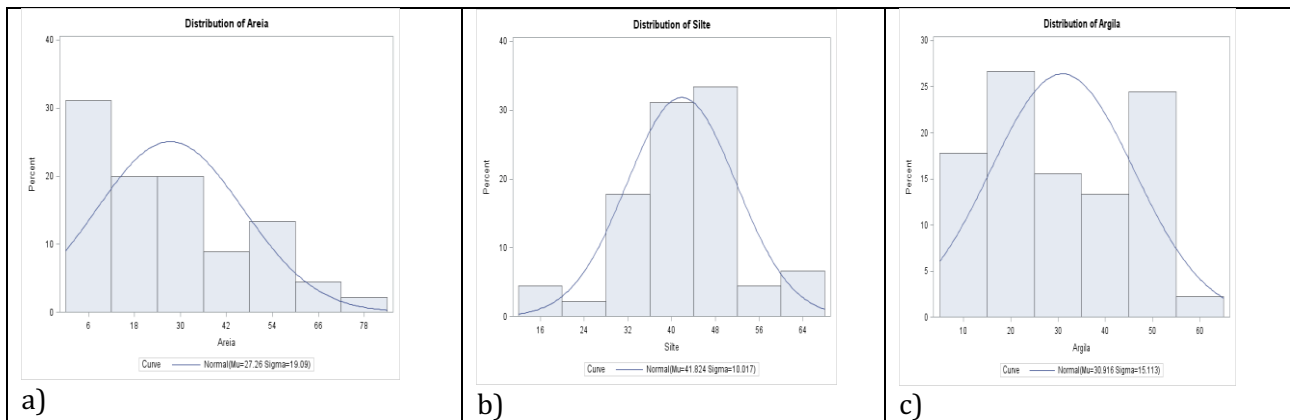


Figura 4. Distribuição de frequência da areia, silte e argila.

Na Figura 5, observa-se os resultados da análise de Componentes Principais dos parâmetros analisados, Densidade Aparente (gcm^3), Densidade de Partículas (cm^3), Argila Dispersa em Água (g Kg^{-1}), Grau de Floculação %, Porosidade m^3m^{-3} , Carbono Orgânico Total %, Areia %, Silte%, Argila%.

Verifica-se que os dois primeiros componentes principais explicam 67,5% da variância total do conjunto de dados. Solos com elevada percentagem de argila e de CO apresentam elevados valores de porosidade e de argila dispersa em água (ADA). Por outro lado, solos com elevada percentagem de areia apresentam maiores valores de densidade aparente.

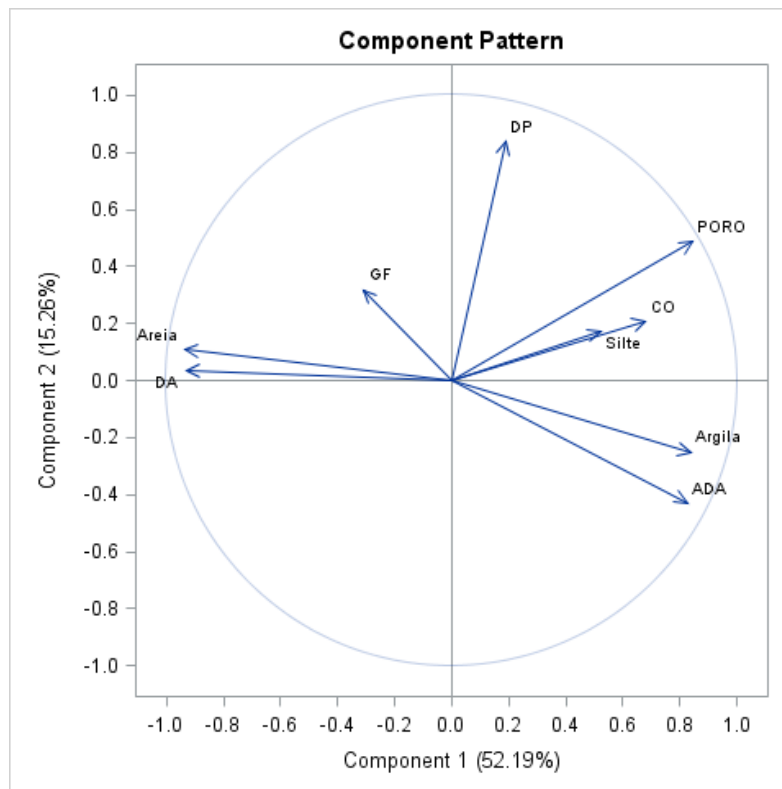


Figura 5. Análise de Componentes Principais dos parâmetros analisados.

A Figura 6, apresenta resultados dos Escores da Análise dos Componentes Principais, Densidade Aparente (g cm^3), Densidade de Partículas (cm^3), Argila Dispersa em Água (g Kg^{-1}), Grau de Flocculação %, Porosidade m^3m^{-3} , Carbono Orgânico Total %, Areia %, Silte%, Argila%.

Observa-se que os locais 4 até 9 apresentaram maiores percentagens de areia, enquanto que a 36 maior percentagem de argila.

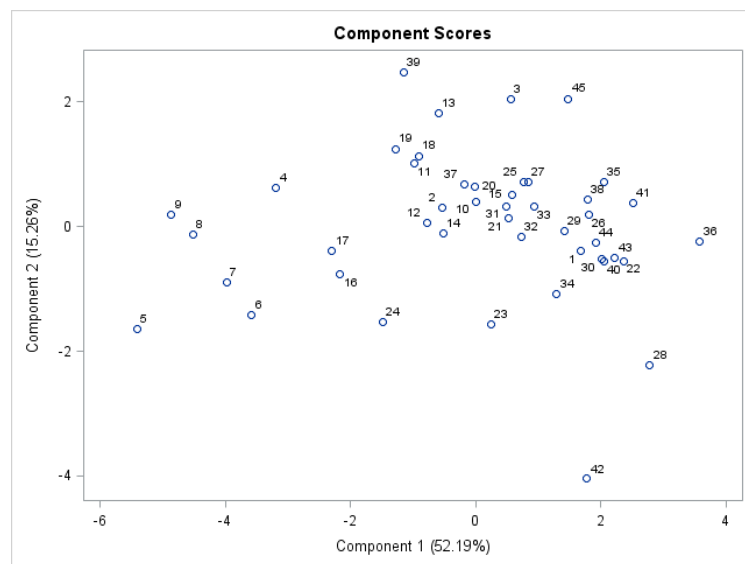


Figura 6. Escores da Análise dos Componentes Principais.

Espacialização por Krigagem

A Figura 7 (a e b), apresentam respectivamente os resultados da espacialização da Densidade Aparente, Densidade das Partículas utilizando o método de interpolação krigagem.

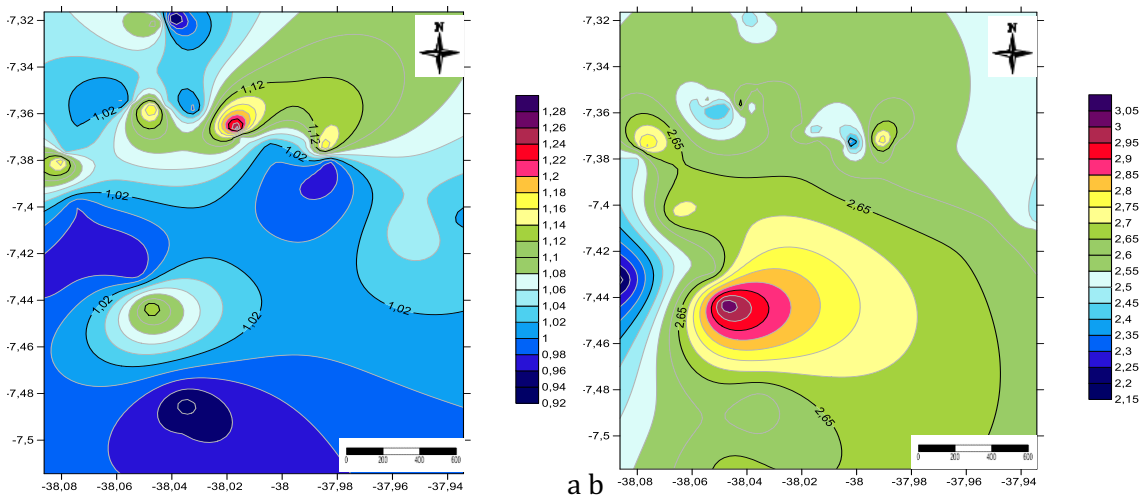


Figura 7. Isolinhas dos dados da Densidade Aparente (a) e Densidade de Partículas (b).

A Figura 8 (a e b), apresentam respectivamente os resultados da espacialização da Argila Dispersa em Água e do Grau de flocculação, realizados utilizando o método de interpolação krigagem.

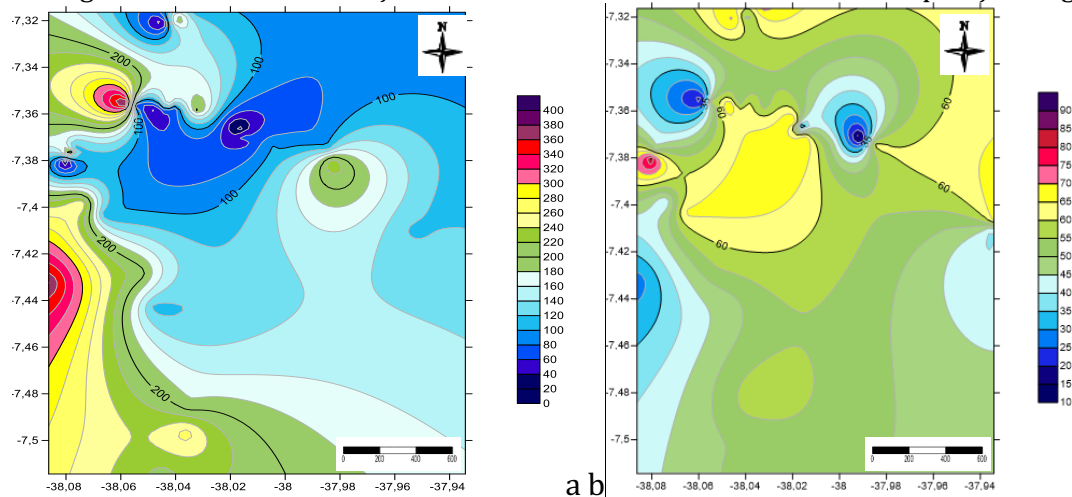


Figura 8. Isolinhas dos dados da Argila Dispersa em Água (a) e do Grau de Flocculação (b).

A Figura 9 (a e b), apresentam respectivamente os resultados da espacialização da Porosidade e Carbono orgânico total, realizados utilizando o método de interpolação krigagem.

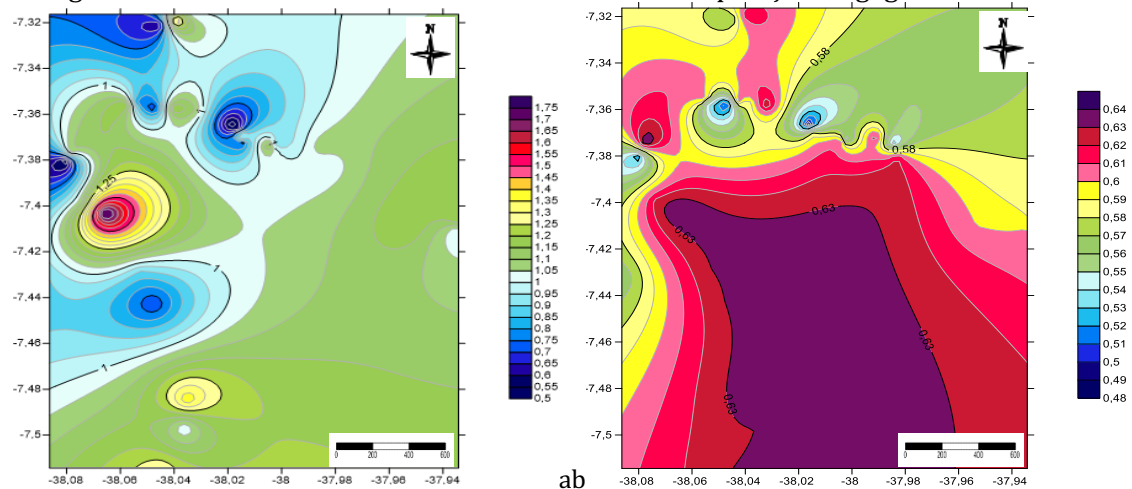


Figura 9. Isolinhas dos dados da Porosidade (a) e do Carbono orgânico total (b).

A Figura 10 (a e b), apresentam respectivamente os resultados da espacialização da Areia e Silte, realizados utilizando o método de interpolação krigagem.

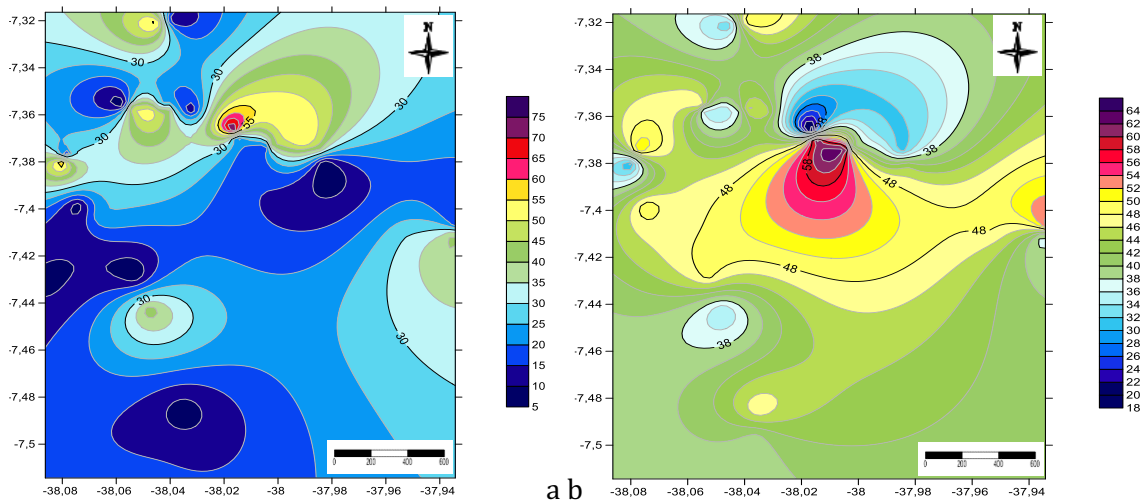


Figura 10. Isolinhas dos dados de Areia (%) (a) e do Silte (%) (b).

A Figura 11, apresenta os resultados da espacialização de argila, realizados a utilizando o método de interpolação krigagem.

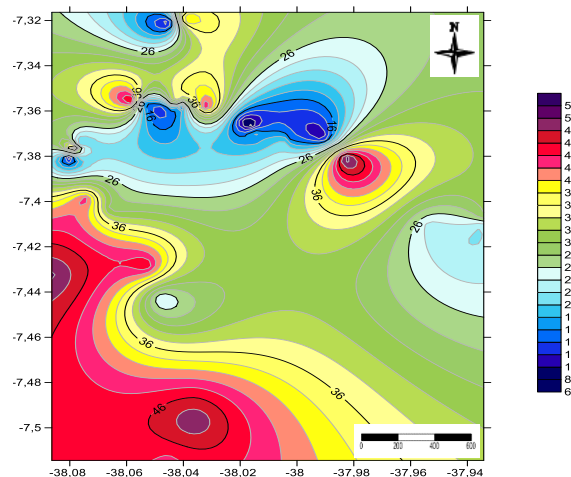


Figura 11. Isolinhas dos dados de Argila (%).

Conclusão

O modelo de amostragem foi apropriado para as análises da variabilidade espacial dos respectivos atributos, Densidade Aparente, Densidade de Partículas, Argila Dispersa em Água, Grau de Floculação, Porosidade, Carbônico Orgânico Total e Textura do Solo, podendo afirmar que todos os atributos analisados apresentaram dependência espacial.

O Software versão demo do SURFER 12, foi primordial para geração dos mapas de espacialização dos atributos físicos do solo da área de estudo.

A dinâmica do processo de degradação da área de estudo pode ser mais bem compreendida através da análise espacial dos atributos físicos do solo.

Referências

BLAINSKI, E.; TORMENA, C. A.; FIDALSKI, J.; GUIMARÃES, R. M. L. Quantificação da degradação física do solo por meio da curva de resistência do solo a penetração. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.32, p.975-983, 2008.

- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análise de solos. Rio de Janeiro, 1997. 212p.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 2.Ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos. 2006. 305p.
- FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nation. Disponível em: <http://www.fao.org/newsroom/en/news/2008/1000820/index.htm/>. Acesso em: 25 de agosto de 2013.
- FONSECA, J. R.; VIEIRA, E. H. N.; PEREIRA, J. A.; CUTRIM, V. A. Descritores morfoagronômicos de cultivares tradicionais de arroz coletados no Maranhão. *Revista Ceres*, v.51, n.293, p.45-56. 2004.
- FORTIN, M. J.; DALE, M. R. T.; VERHOEF J. Spatial Analysis in Ecology. In: EL-SHAARAWI, A. H.; PIEGORSCH, W. (Eds), *Encyclopedia of Environmetrics*. John Wiley & Sons, Ltd, Chichester, v.4, p.2051–2058, 2002.
- GOMES et al. Análise de componentes principais de atributos físicos, químicos e mineralógicos de solos do bioma cerrado. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.28, p.137-153, 2004.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Diretoria de Pesquisas, Coordenação de Agropecuária. *Produção Agrícola Municipal*, 2007.
- KENT, M.; COKER, P. *Vegetation description and analysis*. Baffins Lane, John Wiley & Sons, 1992. 363p.
- KERRY, R.; OLIVER, M. A. Comparing sampling needs for variograms of soil properties computed by the method of moments and residual maximum likelihood. *Geoderma*, v.140, n.4, p.383-396, 2007.
- KERRY, R.; OLIVER, M. A. Determining nugget: sill ratios of standardized variograms from aerial photographs to kriging sparse soil data. *Precision Agriculture*, v.9, n.1-2, p.33-56, 2008.
- PEREIRA, J. A.; RAMOS, S. R. R. *Cultura do arroz-vermelho (Oryza sativa L.) no Brasil*. Teresina I: Embrapa Meio-Norte, 2004. 6p.
- YEOMANS, J. C.; BREMNER, J. M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. v.19, n.13, p.1467-1476, 1988.
- PEREIRA, J. A.; BASSINELLO, P. Z.; CUTRIM, V. dos A.; VALDENIR, Q. R. Comparação entre características agronômicas, culinárias e nutricionais em variedades de arroz branco e vermelho. *Revista Caatinga*, v.22, n.1. p.243-248, 2009.
- WEBSTER, R.; OLIVER, M. A. Sample adequately to estimate variograms of soil properties. *Soil Science*, v.43, n.1, p.117-192, 1992.
- PRADO, R. DE M.; NATALE, W. Alterações na granulometria, grau de floculação e propriedades químicas e de um Latossolo Vermelho distrófico, sob plantio direto e reflorestamento. *Acta Scientiarum: Agronomy*, v.25, n.1, p.45-52, 2003.
- PEREIRA, D. DOS R.; RIBEIRO, D. P. Influência da textura do solo sobre os parâmetros dos modelos de Van Genuchten e Brooks e Corey. In: XIV Encontro Latino Americano de Iniciação Científica e X Encontro Latino Americano de Pós-Graduação, Viçosa, UFV, 7p. 2005.
- SALES, M. H.; SOUZA JR, C. M.; KYRIAKIDIS, P. C.; ROBERTS, D. A.; VIDAL, E. Improving spatial distribution estimation of forest biomass with geostatistics: A case study for Rondônia. *Ecological Modelling*, v.205, p.221-230, 2007.
- SILVA, G. F.; SANTOS, D.; SILVA, A. P.; SOUZA, J. M. indicadores de qualidade do solo sob diferentes sistemas de uso na mesorregião do agreste paraibano. *Revista Caatinga*, v.28, n.3, p.25-35, 2015.
- TRANGMAR, B. B.; YOST, R. S.; UEHARA, G. Application of geostatistics to spatial studies of soil properties. *Advances in Agronomy*, Newark, v.38, p.45, 1985.

Capítulo 16**USO DE GEOTECNOLIGIAS PARA APLICAÇÃO URBANA****Virgínia Mirtes de Alcântara Silva¹****Carlos Antonio Costa dos Santos²**¹Doutoranda, PPGRN UFCG, Campus Campina Grande, virginia.mirtes2015@mail.com²Professor do PPGRN/UFCG, Campina Grande, carlostorn@gmail.com**Introdução**

A industrialização representa um marco de transformação do espaço mundial e uma relação complexa entre economia e sociedade. A organização e o estabelecimento das classes dominantes dentro dessa organização complexa emitem a importância do urbano para o processo capitalista, no passado e atualmente. Assim, a cidade é uma expressão do processo de produção dos seres humanos sob o desenvolvimento da reprodução das relações capitalistas (CARLOS, 2011).

Nesse sentido, o espaço urbano é formado pelas relações de mercado, representando uma mercadoria e o ambiente construído é formado pelo capital e renda, afirmando mais uma vez que as transformações que historicamente se desenvolveram, firmaram cada vez mais o modo de produção capitalista. A cidade nunca fora um espaço tão importante e nem a urbanização um processo tão expressivo e extenso a nível mundial, como a partir do capitalismo (SPÓSITO, 2000).

Assim, processos antigos como as ocupações são reforçados pela disseminação de uma lógica estritamente capitalista. Onde a mercantilização da terra, a especulação imobiliária e a financeirização da moradia são marcas cada vez mais presentes (ROLNIK, 2015).

No Brasil, desde meados do século XIX, a urbanização vem intensificando as relações econômicas, sociais e ambientais nas cidades. Esses fatores direcionaram e organizaram uma nova distribuição espacial e socioeconômica da população, com implicações diretas nas políticas públicas e principalmente nas questões socioambientais.

Maricato (2001), afirma que as mudanças na economia brasileira influenciaram diretamente o padrão de produção da cidade, atraindo imenso contingente de população rural (dada as condições precárias de vida no campo e as dificuldades de acesso aos meios de produção), mas mantendo as intensas desigualdades que impunham à população mais pobre à moradia em áreas completamente inadequadas ao desenvolvimento urbano racional.

Maricato (1995) considera que, especialmente nas regiões metropolitanas, esse processo de ocupação do solo concretizou a exclusão socioambiental pela quantidade muito grande de pessoas, resultando em um cenário de profundas contradições e desigualdades. Ainda afirma que, Recife, área de estudo da presente pesquisa, é a metrópole brasileira que apresenta a maior proporção de moradores de favela em sua população.

O processo de urbanização no Brasil, ocorreu de forma acelerada e desorganizada, nas metrópoles esse processo hierarquizou e segregou a população evidenciando desigualdades sócio espaciais cada vez mais intensificadas pela ausência de políticas públicas. Na atualidade com o adensamento populacional, a ocupação nas áreas de risco, a falta de planejamento urbano, o pouco investimento em saúde e educação, associadas às baixas condições socioeconômicas da população, os desastres naturais têm assumido proporções desastrosas (FRAGOSO, 2015).

A atual crise urbana em curso impõe desafios para o desenvolvimento de políticas sociais acerca dos processos que envolvem a relação: população urbana e desigualdades sociais. Conhecer a dinâmica e crescimento da população, suas realocações no território, suas necessidades e suas condições de vida é tarefa primordial para os gestores e planejadores de ações públicas voltadas para distintos contingentes populacionais. Desde 1970, o tema segregação urbana tem sido objeto de estudos, embora com o enfoque em periferias urbanas, como também sob a influência do capitalismo periférico (BONDUKI & ROLNIK, 1982; KOWARICK, 1979). Assim, a vulnerabilidade passou a ser interpretada

através do estudo das relações entre segregação urbana e as desigualdades sociais (KOWARICK, 2009; TELLES & CABANNES, 2006; LAGO, 2000).

A cidade do Recife, como as demais metrópoles brasileiras, tem passado por intensas transformações econômicas, sociais e espaciais nos últimos anos. De acordo com o censo demográfico de 2010, a cidade apresenta uma população urbana de 1.537,704 habitantes, representando ainda o terceiro município mais populoso da região Nordeste, onde as áreas de maior concentração da população ainda são as Zonas Sul e Norte com uma densidade populacional de 7.037,61 hab/km² (IBGE, 2010).

Recife tem como característica, a ocupação em áreas de mangue e também em morros. As situações de precariedade são frutos das intervenções públicas que foram realizadas na cidade durante a segunda metade do século XX, o que reforçou a expansão periférica das áreas urbanas, intensificando os problemas habitacionais (SILVA, 2017).

Segundo o censo demográfico do IBGE (2010), é possível observar a dimensão que o processo de urbanização que a cidade do Recife adquiriu nas últimas décadas. Em 1960, a população que era de aproximadamente três milhões de habitantes, alcançou cerca de 16 milhões no ano de 2010, sendo 76% da população localizada em núcleos urbanos, o que representou taxas de crescimento demográfico superiores às médias do restante do país.

Através da demografia, pode-se verificar comportamentos bastantes específicos da população e subsidiar políticas públicas nas pesquisas sobre segregação social e espacial, observando a população de um determinado setor, em relação a população total do município.

O aprimoramento das Geotecnologias tem promovido cada vez mais o avanço no desenvolvimento dos estudos ambientais, principalmente os relacionados com o planejamento urbano. Atualmente os padrões demográficos representam um ponto de estudo primordial uma vez que a população mundial aumenta a cada ano ficando imperativo o estudo desse tema. Entretanto, a mudança dos regimes demográficos, a produção e reprodução do espaço urbano e as implicações socio espaciais da distribuição e reprodução da população no território ainda não têm sido frequentemente abordadas de forma conjunta (SILVA & MONTE-MOR, 2010).

No Brasil, um aspecto importantíssimo do processo de urbanização refere-se as metrópoles brasileiras pois a absorção pelas cidades pelo aumento da população representa um desafio ao planejamento urbano no desenvolvimento de políticas públicas, principalmente pela dificuldade de acesso à terra regular para habitação.

A presente pesquisa visa contribuir para uma breve caracterização da dinâmica demográfica intramunicipal do Recife. Assim, objetivou-se comparar através do Censo Demográfico 2010, bairros do Recife, pertencente a Região Político Administrativa VI (RPA6) localizada na zona sul da cidade da RPA3 e a RPA2 localizada na Zona Norte. Levando-se em consideração suas principais características tais como: área territorial, a população residente, densidade demográfica, números de domicílios e quantidade de ZEIS instaladas nos bairros e espacializar esses dados através de geotecnologias na elaboração de mapas de densidade das três RPAs citadas.

Material e Métodos

O município de Recife, capital do Estado de Pernambuco, localiza-se nas coordenadas geográficas de 8° 04' 03" S de latitude e 34° 55' 00" W de longitude, com altitude de 4 metros. Situa-se no litoral nordestino e ocupa uma posição central, a 800 km das outras duas metrópoles regionais, Salvador e Fortaleza, disputando com elas o espaço estratégico de influência na Região. Limita-se ao norte com as cidades de Olinda e Paulista, ao sul com o município de Jaboatão dos Guararapes, a oeste com São Lourenço da Mata e Camaragibe, e a leste com o Oceano Atlântico (Figura 1).

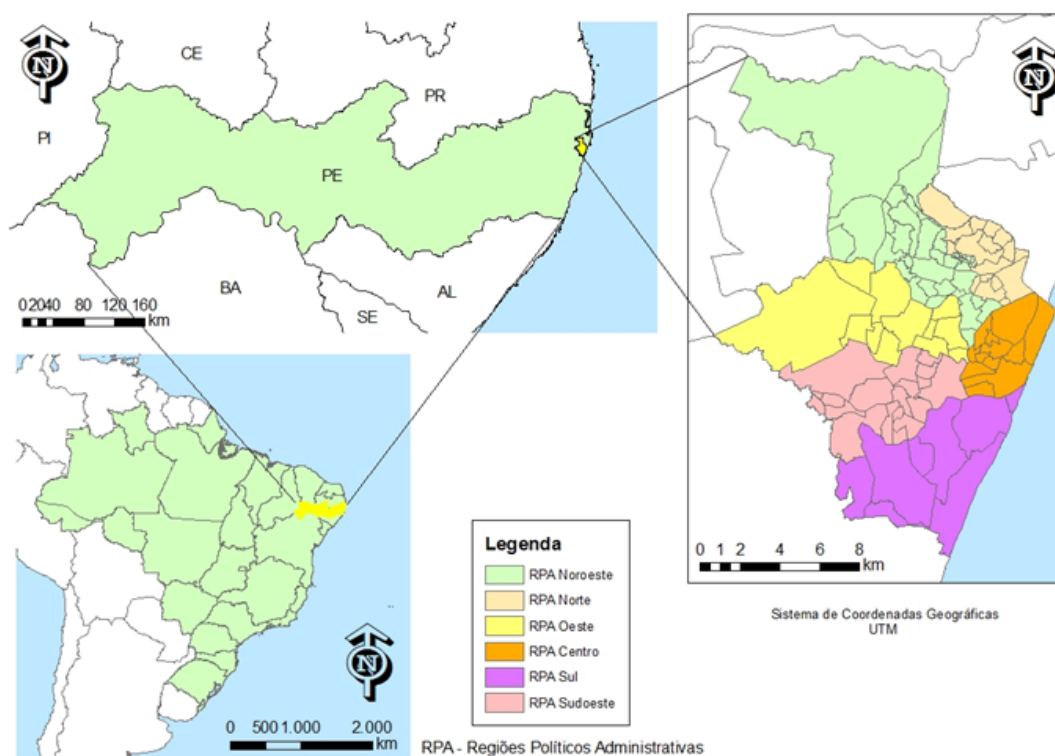


Figura 1. Localização espacial das seis Regiões-Política-Administrativa do município do Recife, com os respectivos bairros.

Do ponto de vista de sua extensão, a cidade de Recife possui uma área aproximada de 218.435km², em 2000 sua população era de 1.422.905 habitantes, e atualmente possui uma população estimada em 2016 de 1.625.583 habitantes, apresentando uma densidade demográfica de 7.039,64 hab/km², representa 7,2% da área metropolitana e concentra 41,6% dos habitantes dessa região (IBGE,2010).

A composição da área territorial é formada por Morros (67,43%), Planícies (23,26%) e zonas Aquáticas (9,31%), destacando-se dentro destas áreas as Zonas Especiais de Preservação Ambiental – ZEPA (5,58%) e a extensão de praia de 8,6 km. O município do Recife possui 66 Zonas Especiais de Interesse Social - ZEIS, disseminadas pelo espaço urbano. Frente à existência de 490 favelas, representando 15% da área total do município e 25% da área ocupada, as ZEIS agregam cerca de 80% delas, revelando a necessidade de encarar o problema social (PREFEITURA DO RECIFE, 2010).

Observa-se que a cidade se insere em uma malha urbana heterogênea, evidenciando uma segregação socioespacial, diferentes classes sociais e diferentes malhas de divisões territoriais que evidenciam tensões sociais dentro de um mesmo espaço.

Em termos de distribuição espacial, a caracterização geral da cidade apresenta 94 bairros subdivididos através das suas seis Regiões Político-Administrativas – RPAs, a saber: RPA 1 - Centro: 11 bairros; RPA 2 - Norte: 18 bairros; RPA 3 - Noroeste: 29 bairros; RPA 4 - Oeste: 12 bairros; RPA 5 - Sudoeste: 16 bairros; RPA 6 - Sul: 8 bairros; e 66 Zonas Especiais de Interesse Social – ZEIS.

Para espacialização dos mapas de densidade dos bairros nas três RPAs, utilizou-se ferramentas computacionais de geoprocessamento, chamadas de Sistemas de Informação Geográfica (SIGs), os mesmos permitem realizar análises complexas, ao integrar dados de diversas fontes criando banco de dados georreferenciados, como foi realizado na seguinte pesquisa. Para elaboração do mapa quantitativo de densidade populacionais nos bairros de Recife utilizou-se o software Qgis, versão 2.14.11 - Essen. Os shapes foram adquiridos nos sites da Prefeitura Municipal de Recife (2014) e do IBGE (2015), a tabulação dos dados foi realizada em planilha Excel com dados censitários do bairro de Recife exportados do IBGE para espacialização das informações.

Resultados e Discussão

O município de Recife se constitui de 94 bairros, distribuídos em seis regiões político administrativas (RPA's) de acordo a Divisão Territorial do Município de Recife-PE, pela lei 16.293/97. A dinâmica demográfica apresenta-se de forma bastante heterogênea, embora as RPA6 e RPA3, apresentem características bem distintas da RPA2 que está localizada na região norte. A Região Político Administrativa VI (RPA6), é composta pelos bairros: Boa Viagem; Brasília Teimosa; Imbiribeira; Ipsep; Pina; Ibura; Jordão; Cohab (Tabela 1).

Tabela 1. Principais bairros da RPA6 do Recife

| Região Político Administrativa (RPA6) | | | | | |
|--|-------------------------|-----------------------------|--|-------------------|-------------|
| Bairros | Área Territorial | Pop. Residente (hab) | Densidade Demográfica (hab/hec) | Domicílios | ZEIS |
| Boa Viagem | 753 | 122.922 | 163,17 | 42.272 | 3 |
| Brasília Teimosa | 61 | 18.334 | 302,81 | 5.464 | 0 |
| Cohab | 426 | 67283 | 157,97 | 19.534 | 0 |
| Ibura | 1.019 | 50.617 | 49,69 | 15.078 | 0 |
| Imbiribeira | 666 | 48.512 | 72,85 | 14.969 | 0 |
| Ipsep | 180 | 25.029 | 139,27 | 7.692 | 0 |
| Jordão | 158 | 20.777 | 131,49 | 6.018 | 3 |
| Pina | 629 | 29.176 | 46,38 | 9.457 | 4 |

Fonte: IBGE (2010).

De acordo com a Tabela 1 e a Figura 2, o bairro Brasília Teimosa apresenta uma população residente de 18.334, enquanto que o bairro do Jordão possui uma população residente de 20.777, sendo a diferença um pouco mais de 2.000 habitantes. Usando como critério a densidade demográfica dos bairros da RPA6, (Figura 2) verifica-se que o bairro Brasília Teimosa, Jordão e Cohab possuem respectivamente as maiores densidades demográficas 302,8, 131,49, 157,97. Entretanto, o bairro de Brasília Teimosa, apresenta uma área quatro vezes menor do que a Cohab, o maior dentre esses três. Portanto, o bairro Brasília Teimosa, que é considerada uma ZEIS, possui uma população de 18.334 habitantes em um adensamento horizontal.

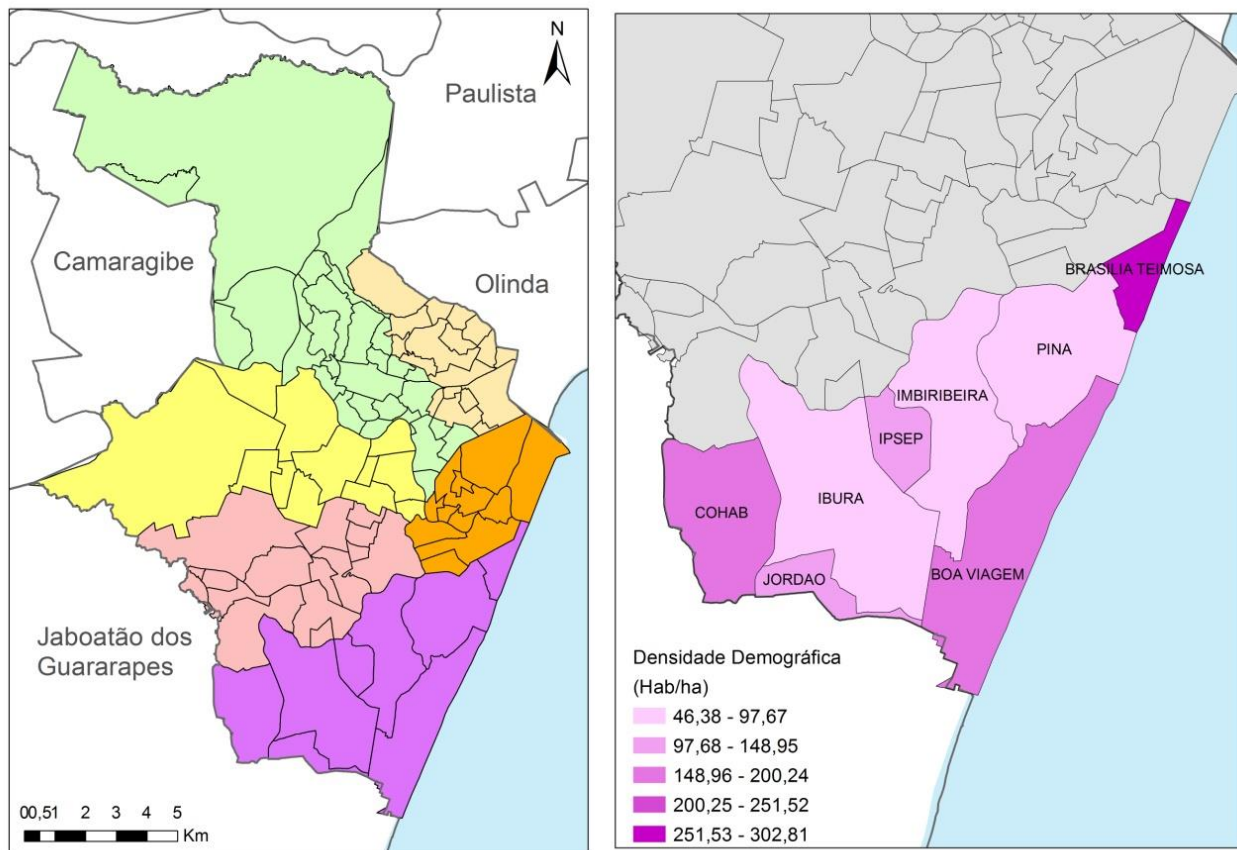


Figura 2. Espacialização da Regiões-Política-Administrativa 6 - RPA6 com os seus respectivos bairros e densidades.

A Região Político Administrativa VI (RPA3) (Figura 3), representada na Tabela 2, é composta pelos bairros: Aflitos; Alto do Mandu; Alto José Bonifácio; Alto José do Pinho; Apipucos; Brejo da Guabiraba; Brejo de Beberibe; Casa Amarela; Casa Forte; Córrego do Jenipapo; Derby; Dois Irmãos; Espinheiro; Graças; Guabiraba; Jaqueira; Macaxeira; Monteiro; Nova Descoberta; Parnamirim; Passarinho; Pau-Ferro; Poço da Panela, Santana; Sítio dos Pintos; Tamarineira; Mangabeira; Morro da Conceição; e Vasco da Gama.

Tabela 2. Principais bairros da RPA3 do Recife

| Região Político Administrativa (RPA3) | | | | | |
|---------------------------------------|------------------|----------------------|---------------------------------|------------|------|
| Bairros | Área Territorial | Pop. Residente (hab) | Densidade Demográfica (hab/hec) | Domicílios | ZEIS |
| Aflitos | 31 | 5.7773 | 187,63 | 1.937 | 0 |
| Alto do Mandu | 25 | 4.655 | 184,89 | 1.351 | 3 |
| Alto José Bonifácio | 57 | 12.462 | 219,00 | 3.570 | 0 |
| Alto José do Pinho | 41 | 12.334 | 298,40 | 3.510 | 2 |
| Apipucos | 134 | 3.342 | 25,01 | 991 | 4 |
| Brejo da Guabiraba | 75 | 11.362 | 155,50 | 3.426 | 0 |
| Brejo do Beberibe | 64 | 8.292 | 129,86 | 2.459 | 2 |
| Casa Amarela | 188 | 29.180 | 155,09 | 9.296 | 2 |
| Casa Forte | 56 | 6.750 | 120,24 | 2.192 | 0 |
| Córrego do Jenipapo | 61 | 9.246 | 150,74 | 2.732 | 0 |
| Derby | 47 | 2.071 | 43,85 | 656 | 0 |

| | | | | | |
|--------------------|-------|--------|--------|-------|---|
| Dois Irmãos | 585 | 2.566 | 4,39 | 737 | 0 |
| Espinheiros | 43 | 10.438 | 142,56 | 3.602 | 0 |
| Graças | 144 | 20.538 | 143,08 | 7.015 | 0 |
| Guabiraba | 4.617 | 6.330 | 1,37 | 1.779 | 0 |
| Jaqueira | 24 | 1.591 | 66,31 | 529 | 0 |
| Macaxeira | 125 | 20.313 | 162,25 | 5.807 | 0 |
| Mangabeira | 29 | 6.950 | 240,43 | 2.116 | 0 |
| Monteiro | 53 | 5.917 | 11,61 | 1.742 | 0 |
| Morro da Conceição | 38 | 10.182 | 265,24 | 2.955 | 0 |
| Nova Descoberta | 180 | 34.212 | 189,91 | 9.958 | 0 |
| Parnamirim | 61 | 7.636 | 124,30 | 2.458 | 0 |
| Passarinho | 406 | 20.305 | 49,98 | 5.792 | 1 |
| Pau Ferro | 44 | 72 | 1,65 | 16 | 0 |
| Poço da Panela | 81 | 4.615 | 56,74 | 1.463 | 0 |
| Santana | 47 | 3.054 | 64,65 | 978 | 0 |
| Sítio dos Pinto | 180 | 7.276 | 40,49 | 2.132 | 0 |

Fonte: IBGE (2010).

De acordo com a Tabela 2 e Figura 3, o bairro dos Aflitos apresenta uma população residente de 5.773, enquanto que o bairro da Mangabeira possui uma população residente de 6.950, sendo a diferença um pouco mais de 900 habitantes. Usando como critério a densidade demográfica dos bairros da RPA2, verifica-se que Aflitos e Mangabeira, possuem respectivamente as maiores densidades demográficas 187,63 e 240,43. Entretanto, o bairro de Mangabeira, apresenta em sua área parte de Casa Amarela considerada uma ZEIS.

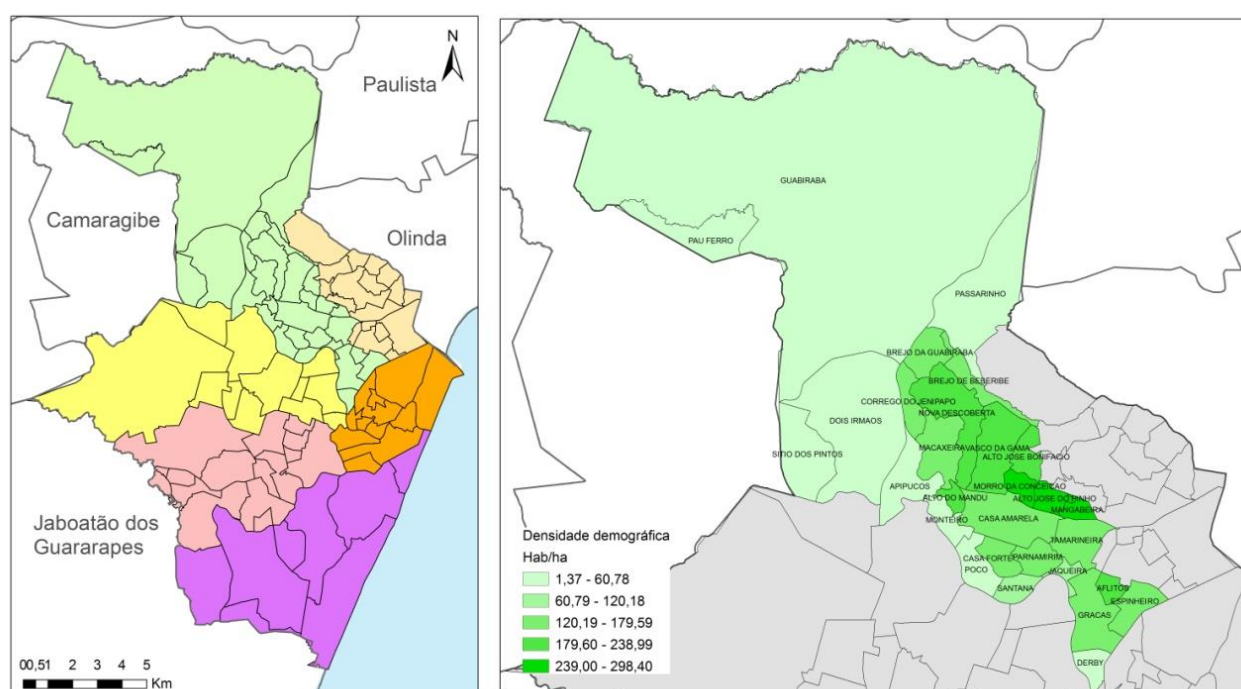


Figura 3. Espacialização da Regiões-Política-Administrativa 3 - RPA3 com os seus respectivos bairros e densidades.

A Região Político Administrativa II (RPA2) é composta pelos bairros: Arruda; Campina do Barreto; Encruzilhada; Hipódromo; Peixinhos; Ponto de Parada; Rosarinho; Torreão; Água Fria; Alto Santa Terezinha; Bomba do Hemetério; Cajueiro; Fundão; Porto da Madeira; Beberibe; Dois Unidos; Linha do Tiro.

Tabela 3. Principais bairros da RPA2 do Recife

| Região Político Administrativa (RPA2) | | | | | |
|--|-------------------------|-----------------------------|---|-------------------|-------------|
| Bairros | Área Territorial | Pop. Residente (hab) | Densidade Demográfica (hab/hect) | Domicílios | ZEIS |
| Água Fria | 193 | 43.529 | 225,38 | 12,294 | 2 |
| Alto Santa Terezinha | 31 | 7.703 | 245,74 | 2.157 | 0 |
| Arruda | 100 | 14.530 | 145,56 | 4.467 | 0 |
| Beberibe | 49 | 8.856 | 180,79 | 2.586 | 0 |
| Bomba do Hemetério | 43 | 8.472 | 2.350 | 195,67 | 0 |
| Cajueiro | 59 | 6.584 | 111,49 | 1.902 | 0 |
| Campina do Barreto | 52 | 9.484 | 182,67 | 2.883 | 0 |
| Campo Grande | 222 | 32.149 | 145,04 | 9.554 | 0 |
| Dois Unidos | 312 | 32.805 | 105,51 | 9.374 | 0 |
| Encruzilhada | 102 | 11.940 | 117,27 | 4.008 | 0 |
| Fundão | 62 | 8132 | 130,21 | 2.495 | 2 |
| Hipódromo | 30 | 2.658 | 88,13 | 808 | 0 |
| Linha do Tiro | 82 | 14.867 | 181,20 | 4.201 | 2 |
| Peixinho | 34 | 4.998 | 148,43 | 1.383 | |
| Ponto de Parada | 20 | 1554 | 79,53 | 500 | 0 |
| Porto da Madeira | 48 | 7.713 | 161,35 | 2.334 | 0 |
| Rosarinho | 25 | 4.077 | 160,87 | 1329 | 1 |

Fonte: IBGE (2010).

De acordo com a Tabela 3 e a Figura 3, observa-se que a RPA2 possui um comportamento diferente das outras duas analisadas, a mesma encontra-se na região norte. O bairro de Água Fria apresenta uma população residente de 43.529 habitantes, o bairro de Campo Grande possui uma população de 32.149 habitantes e o bairro de Dois Unidos 32.805. Assim a densidade demográfica dos três bairros respectivamente são 225,38,145,04 e 105,51.

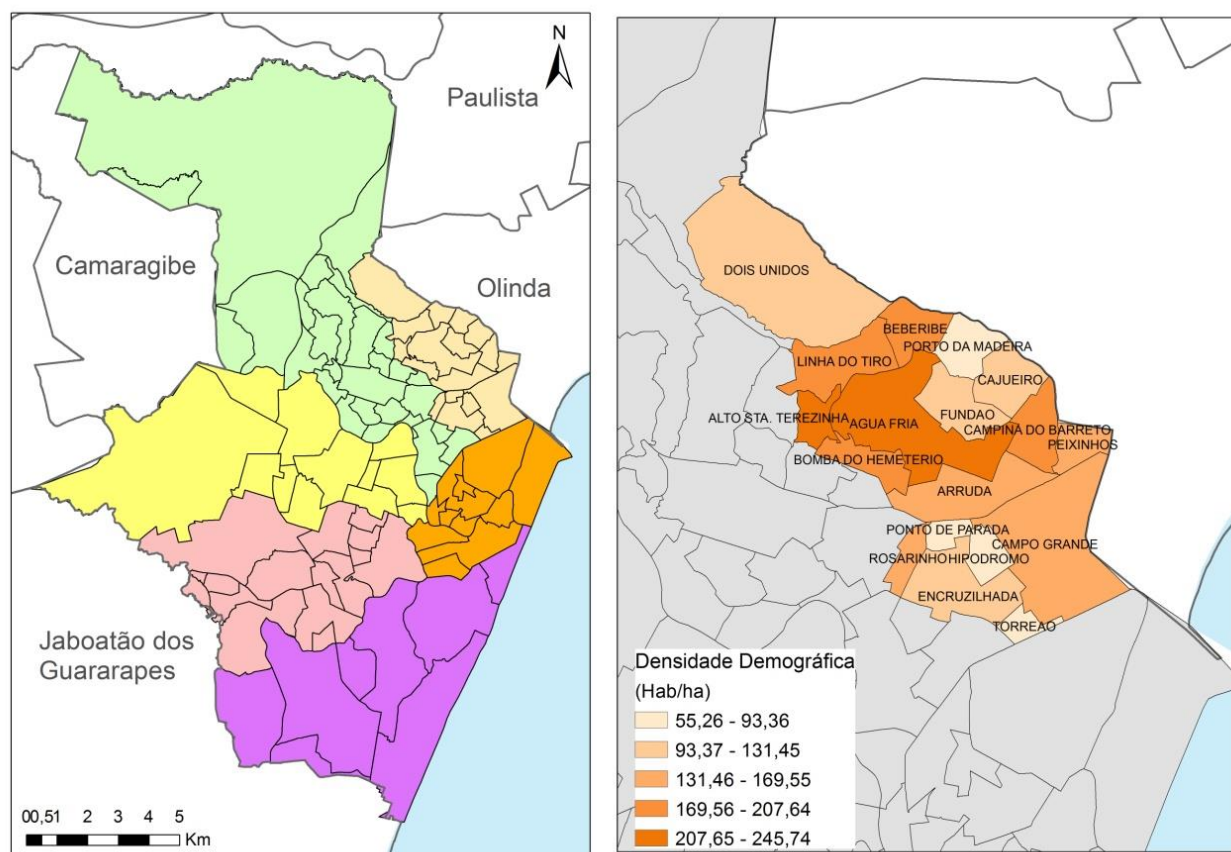


Figura 3. Espacialização da Regiões-Política-Administrativa 2 - RPA2 com os seus respectivos bairros e densidades.

Considerando-se as três maiores distribuições populacionais divididas respectivamente nos bairros de Água Fria, Dois Unidos e Campo grande, verifica-se que a densidade demográfica acompanha a distribuição populacional por área, ou seja, as respectivas áreas citadas apresentam uma distribuição cuja proporcionalidade acompanha a relação de área territorial ocupada implicando em um possível planejamento habitacional e aplicação de políticas públicas nas áreas de educação e saúde.

Devido aos processos históricos e econômicos, que marcaram o espaço geográfico brasileiro culminando com um desenvolvimento desordenado da urbanização em diversos recortes territoriais, elevando as taxas de desigualdades sociais e segregação espacial, as mesmas sistematicamente, se relacionam ao comportamento demográfico representando o ponto de partida para análise de áreas vulneráveis.

Pois, atualmente com o aumento da taxa da população urbana e a falta de aplicação da legislação urbana e seus planos diretores haveria efetividade do planejamento urbano, com ações adequadas na construção de cidades mais sustentáveis. Nesse contexto, a sustentabilidade urbana depende de um amplo planejamento, principalmente em Recife, pois o processo histórico das atividades econômicas construiu uma relação conflituosa com os ecossistemas locais, apresentando quadros de degradação social e ambiental, dos quais existem uma complexidade para enfrentá-los.

Assim, identificar áreas vulneráveis e com maior densidade populacional representa o primeiro passo para identificar problemas urbanos e desenvolver estratégias de gerenciamento.

Assim, a espacialização de variáveis como da densidade aplicadas ao espaço entre bairros constitui de uma pesquisa mais específica da realidade local, como também representa um recurso metodológico importante na construção de cenários futuros para a aplicação da oferta e demanda de políticas públicas direcionadas a realidade de cada local, como habitação, saúde, equipamentos e serviços.

Segundo Lima e Mendonça (2001), as pesquisas relacionadas ao espaço urbano demandam uma visão interdisciplinar, na busca de soluções amparadas por várias ciências. Buarque (2003) e PPDI (2011), afirmam que a utilização de instrumentos de análise espacial aplicados ao espaço metropolitano constitui uma demanda crescente para o planejamento de curto, médio e longo prazo.

Conclusão

O uso do Qgis contribuiu de forma expressiva para as análises de áreas distintas dentro das RPAs, como a precisa localização dos resultados a possibilidade de analisar de forma integrada e espacializada a densidade de cada área e os resultados aqui encontrados auxiliarão pesquisas futuras para o planejamento das áreas visando a visando à qualidade socioambiental nas cidades.

Os aspectos estudados nas três RPAs permitem a avaliação do processo de urbanização da cidade do Recife, localizadas na RPA6, RPA3 evidenciando áreas possivelmente vulneráveis em função da alta densidade populacional e baixa atividade econômica, incluindo em seus espaços ainda as ZEIS, como é o caso do bairro de Brasília Teimosa, localizada na RPA6, representando uma área de interesse de estudos futuros para diagnósticos de vulnerabilidade social e ambiental, pois permite perceber que exclusão e degradação estão diretamente interligados entre os bairros da RPA6 e RPA3.

Agradecimentos

Ao CNPQ, pela bolsa de estudo de Doutorado no Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais da Universidade Federal de Campina Grande.

Referências

- BONDUKI, N.; ROLNIK, R. Periferia da Grande São Paulo: reprodução do espaço como expediente de reprodução da força de trabalho. In: MARICATO, E. A produção capitalista da casa e da cidade no Brasil industrial. 2.ed. São Paulo: Editora Alfa Ômega, 1982.
- BRASIL. Ministério das Cidades. Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT. Mapeamento de Riscos em Encostas e Margem de Rios. CARVALHO, C. S.; MACEDO, E. S. DE; OGURA, A. T. (org.). Brasília: Ministério das Cidades; Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT, 2007.
- BUARQUE, S. Metodologia e técnicas de construção de cenários globais e regionais. Brasília: Ipea, 2003 (Texto para discussão, 939).
- CAIADO, M. C. S. O padrão de urbanização brasileiro e a segregação espacial da população na região de Campinas: o papel dos instrumentos de gestão urbana. In: Encontro Nacional de Estudos Populacionais, 11. 1998, Caxambu. Anais...Belo Horizonte: ABEP,1998. p.457-488.
- CARLOS, A. A cidade. 9 ed. São Paulo: Contexto, 2011.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Censos Demográficos. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/>.
- KOWARICK, L. Viver em risco. São Paulo: Editora 34, 2009.
- KOWARICK, L. Espoliação urbana. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 1979.
- LAGO, L. Desigualdades e segregação na metrópole: o Rio de Janeiro em tempo de crise. Rio de Janeiro: Revan/Observatório; IPPUR/UFRJ-FASE, 2000.
- LIMA, C.; MENDONÇA, F. Planejamento urbano-regional e crise ambiental: Região Metropolitana de Curitiba. São Paulo Perspectiva. v.15, n.1, p.135-143. 2001.
- MARICATO, E. Brasil, cidades: alternativas para a crise urbana. Petrópolis: Editora Vozes, 2000.
- MARICATO, E. Metrópole na periferia do capitalismo: ilegalidade, desigualdade e violência. In: GONÇALVES, M. F. (org.). O novo Brasil urbano, impasse, dilemas, perspectiva. Porto Alegre: Editora Mercado Aberto, 1995.
- MARICATO, E. *Para entender a crise urbana*. São Paulo: Expressão Popular, 2015.
- MARTÍNEZ ALIER, J. Da economia ecológica ao ecologismo popular. Blumenau: FURB, 1998.
- PPDI. Plano Diretor de Desenvolvimento Integrado da Região Metropolitana de Belo Horizonte. Relatório final de definição das propostas de políticas setoriais, projetos e Investimentos prioritários. Belo Horizonte: Cedeplar/UFMG, 2011. Disponível em: <www.rmbh.org.br>. Acesso em: 01 jul. 2011.

- RECIFE. Prefeitura. Relatórios de gestão da Secretaria de Saúde do Recife, 1993-2000. Recife, Secretaria de Saúde, 2000.
- ROLNIK, R. *Guerra dos lugares: a colonização da terra e da moradia na era das finanças*. São Paulo: Boitempo, 2015.
- SILVA, V. M. A.; SANTOS, C. A. C. dos. Recife, desigualdades sociais e ambientais. In: Congresso Nacional de Meio Ambiente de Poços de Caldas, 2017, Poços de Caldas. Anais...Poços de Caldas-MG, 2017.
- SPÓSITO, M. E. B. *Capitalismo e Urbanização - Coleção: Repensando a Geografia - Contexto*, 2000, São Paulo, 10ª edição. 2000.
- TELLES, V. S.; CABANNES, R. (Org.). *Nas tramas da cidade: trajetórias urbanas e seus territórios*. São Paulo: Humanitas, 2006.

Curriculum dos Organizadores

Paulo Roberto Megna Francisco: Pós Doutor em Ciência do Solo pela UFPB. Doutor em Engenharia Agrícola – Irrigação e Drenagem pela UFCG. Mestre em Manejo de Solo e Água pelo CCA/UFPB. Graduado pela UNESP como Tecnólogo Agrícola com especialização em Mecanização. Graduando em Engenharia Sanitária e Ambiental pela UEPB. Participa de Projetos de Pesquisa e Extensão juntamente com a EMBRAPA-Algodão, UFPB-Campus João Pessoa, UFCG-Campus Sumé, IFPB-Campus Campina Grande e Campus Picuí. Ministrou as disciplinas de Mecanização Agrícola, Máquinas e Motores Agrozootécnicos e Máquinas e Motores Agrícolas no CCA/UFPB. Atualmente presta consultoria para o INCRA/PB na realização de PDA's. Consultor Ad hoc do CONFEA como organizador do Congresso Técnico Científico da Engenharia e Agronomia – CONTECC.

George do Nascimento Ribeiro: Possui graduação em Agronomia pela Universidade Federal da Paraíba (2003), Mestrado em Manejo de Solo e Água pela Universidade Federal da Paraíba (2006), Doutorado em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal de Campina Grande (2014) e Pós-doutorado em Fontes Alternativas de Energias pelo Programa de Pós-graduação em Engenharia Química da UFCG (LABFREN/UFCG). Atualmente é professor da Universidade Federal de Campina Grande/CDSA. Tem experiência nas áreas de Geociências, com ênfase em Sensoriamento Remoto (recursos naturais, geotecnologias e mapeamento temático) e em Energias Renováveis (produção de hidrogênio como fonte de combustível para fuel cell e energia solar - placas fotovoltaicas).

Guttemberg da Silva Silvino: Possui graduação em Engenharia Civil pela Universidade Federal da Paraíba, mestrado em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal da Paraíba e doutorado em RECURSOS NATURAIS pela UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE. Atualmente é Professor da Universidade Federal da Paraíba - UFPB, lotado no Departamento de Solos e Engenharia Rural do Centro de Ciências Agrárias, Campus II - Areia-PB e Coordenador do Setor de Engenharia Rural do DSER. Tem experiência na área de Engenharia, com ênfase em Recursos Hídricos. Atuando principalmente nos seguintes temas: Gestão de Recursos Hídricos, Sistema de Apoio a Decisão, Topografia e Geoprocessamento.

Frederico Campos Pereira: Possui graduação em Agronomia pela Universidade Federal da Paraíba - UFPB (1988). Especialização em Gestão da Indústria Sucroalcooleira pela UFCG/UFMT (2008) Mestrado e Doutorado em Recursos Naturais pela UFCG (2010 e 2013). Atua principalmente nos seguintes temas: Recuperação de Áreas Degradadas, Ecologia das Caatingas, Agroecologia, Sustentabilidade do Semiárido Brasileiro, Fenologia de espécies xerófitas, Degradação Ambiental, Silvicultura (Produção de Mudanças Nativas), Matas Ciliares e Compostagem. Experiência em grandes culturas, como soja, milho, algodão, fruticultura e feijão. Professor do Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia da Paraíba. Onde ministra as disciplinas de Biomas e Ecologia da Caatinga; Botânica da Caatinga, Prevenção e Recuperação de Áreas Degradadas e Produção de Mudanças Nativas. É Coordenador do Núcleo de Estudos em Agroecologia NEA/IFPB, projeto desenvolvido junto ao CNPq. Desenvolve projetos de Pesquisa (PIBICT), Extensão (PROBEXT) e de Inovação Tecnológica (PIBITI), institucionais e em parcerias com Órgãos de fomento (CNPq/FAPESQ/BNB). É membro da Sociedade Brasileira e Latino-americana de Agroecologia.

João Miguel de Moraes Neto: Possui Mestrado em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal da Paraíba (1995) e Doutorado em Recursos Naturais pela Universidade Federal da Paraíba (2003). Atualmente é professor titular da Universidade Federal de Campina Grande. Tem experiência na área de Engenharia Agrícola, com ênfase em Sensoriamento Remoto, atuando principalmente nos seguintes temas: degradação ambiental, geoprocessamento, desertificação, desastres naturais.

Virgínia Mirtes de Alcântara Silva: Licenciada em Ciências Biológicas pela Universidade do Vale do Acaraú-CE em 2010, Doutoranda e Mestre em Recursos Naturais pela Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, Especialista em Geoambiência e Recursos Hídricos do Semiárido pela Universidade Estadual da Paraíba - UEPB, Especialista em Geografia e Gestão Ambiental pela Universidade Integrada de Patos - FIP. Trabalha com temas vinculados a sensoriamento remoto e SIG, desertificação, restauração ecológica, recuperação de áreas degradadas e características climatológicas da região semiárida do Brasil. Atualmente trabalha com temas vinculados a eventos extremos de chuva e sua relação com desastres ambientais relacionados ao movimento de massa.



**Portal Tecnológico
de Divulgação Científica**
Eventos, Pesquisas e Inovação



978-85-60307-35-7