



Levantamento da Susceptibilidade à Erosão, Escorregamentos e/ou Movimentos de Massa na APA da Serra do Baturité/CE a Partir do Emprego de Dados SRTM e Imagens Landsat 8

Gleiciane Correia da SILVA¹, Francisco José Cunha dos SANTOS², Cynthia Romariz DUARTE³, Michael Vandesteen Silva SOUTO³, José Antonio Beltrão SABADIA³

Resumo: A Área de Proteção Ambiental (APA) da Serra do Baturité localizada ao Norte do Estado do Ceará compõe uma das paisagens de exceção do Nordeste, que se caracterizam por apresentar expressivo contraste pluviométrico/térmico com as demais regiões do sertão semiárido brasileiro. A altitude de seu relevo, classificado como de montanhas isoladas, favorece a precipitação orográfica, formando ilhas de umidade, com a ocorrência de mata úmida em meio à caatinga. Esse cenário foi favorável à ocupação humana, iniciada por volta do século XVIII. Entretanto, as atividades antrópicas provocam e/ou intensificam a devastação das paisagens naturais. O objetivo desse trabalho foi caracterizar a área da APA da Serra do Baturité, quanto ao uso e cobertura do solo, e quanto à presença de cobertura vegetal, através do emprego de imagens digitais do satélite LANDSAT 8, sensor OLI, e de imagens do radar interferométrico SAR disponível na missão SRTM (*Shuttle Radar Topographic Mission*). Para tanto foram empregadas técnicas de processamento de imagens a fim de determinar os pontos mais susceptíveis a escorregamentos e/ou movimentos de massa, promovidos e/ou intensificados pelo uso e ocupação irregulares do solo, principalmente em regiões de topo de morro e encostas, onde o manejo do solo exige uma maior atenção. Ao fim desse trabalho, apresentamos três mapas que contêm informações a respeito dos principais alvos superficiais reconhecidos na região; sobre o relevo, além do índice de vegetação que pode ser considerada saudável ou alterada, bem como a interferência de centros urbanos nessas modificações do ambiente. A integração desses dados foi utilizada para melhor compreensão do enclave úmido em questão.

Palavras-chave: Avaliação de Impacto Ambiental; Enclaves Úmidos; Área de Proteção Ambiental.

¹ Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão

² Graduação em Geologia - Universidade Federal do Ceará

³ Departamento de GEologia - Universidade Federal do Ceará

Autor para correspondência: Gleiciane Correia da Silva

Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão - Superintendência do Patrimônio da União.
Rua da Polônia, s/n°. Ed. Orlando Gomes, 4º andar, Comércio, Salvador/BA, Brasil - CEP40015-150.
E-mail: gleiciane.silva@planejamento.gov.br.

Recebido durante o XXVI SGNE 2015 / Aceito em 25 de junho de 2016.

Abstract: *The Serra do Baturité's Environmental Protection Area (APA) is located in north of Ceará and make up one of the landscapes exception of Northeast , which are characterized by having rainfall contrast/thermal contrast with other areas of the Brazilian semi-arid hinterland. The altitude of its relief, classified as isolated mountains, favors orographic precipitation, forming moisture islands, with the occurrence of wet forest amid the semi-arid. This scenario was favorable to human occupation, initiated by the eighteenth century. However, human activities cause and / or intensify the destruction of natural landscapes. The aim of this study was to characterize the area of the Serra do Baturité's APA, regarding the use and soil covering, and for the presence of vegetation, through the use of satellite digital images Landsat 8, OLI sensor, and radar images interferometric SAR available in the SRTM mission (Shuttle Radar Topographic Mission). Therefore, we used image-processing techniques to determine the most likely points of landslides and / or mass movements, promoted and / or intensified by irregular use and occupation of land, mainly in the top regions of hill and slopes where soil management requires greater attention. At the end of this work, we present three maps that contain information about the main surface targets recognized in the region; over the boss beyond the vegetation index that can be considered healthy or altered, as well as interference from urban centers in these environmental changes. The integration of these data was used to better understand the damp enclave in question.*

Keywords: *Environmental Impact Assessment; Enclaves Humid; Environmental Protection area.*

1. Introdução

A área de Proteção Ambiental da Serra de Baturité está localizada na porção Nordeste/Centro do Estado do Ceará, a 90km da cidade de Fortaleza (Figura 1) e foi criada mediante o Decreto Estadual Nº 20.956, de 18 de setembro de 1990, compreendendo os municípios de Aratuba, Baturité, Capistrano, Guaramiranga, Mulungu, Pacoti, Caridade e Redenção. A região está incluída como Unidade de Uso Sustentável no Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza (SNUC).

O Maciço de Baturité abriga uma paisagem diferenciada no semi-árido brasileiro, caracterizado como Enclave Úmido devido ao relevo da região com cotas altimétricas variando de 500 m a mais de 1000 m e, conseqüentemente, precipitação orográfica mais intensa que a de seu entorno. Abriga uma das últimas reservas de Mata Atlântica do Nordeste, num contexto de mata úmida em meio à

caatinga. Em dados atualizados no ano de 2014, o portal SOS Mata Atlântica estimou que de um total de 1.315.460 km² apenas se encontram 8,5% de vegetação nativa em áreas acima de 100 ha e 12,5% em áreas acima de 3 ha (SOSMA, 2014).

O objetivo principal desse trabalho foi apresentar, através do processamento digital de imagens, os pontos mais suscetíveis a escorregamentos e/ou movimentos de massa, observando a cobertura vegetal, que pode indicar uso e ocupação irregulares na Área de Proteção Ambiental. Cabe colocar que, mesmo com a criação da Área de Proteção Ambiental (APA) da Serra do Baturité, que tenta conter o avanço da degradação ambiental da região, principalmente nas regiões com altitude acima dos 600m, ainda se observa uso e ocupação indiscriminados desses locais mais elevados da serra, onde práticas

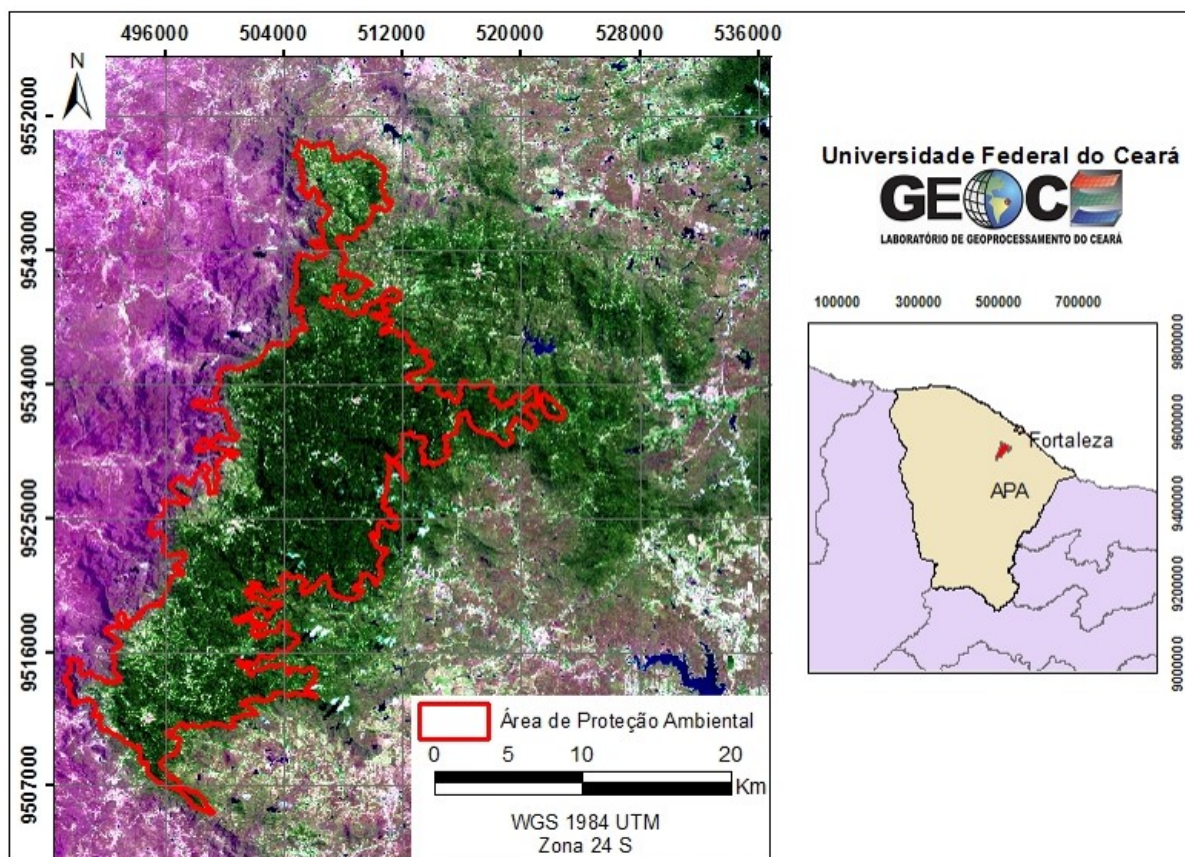


Figura 1: Mapa de Localização da APA da Serra de Baturité.

agrícolas inadequadas ora provocam, ora intensificam os processos erosivos no maciço. As feições de relevo acentuado estão mais sujeitas a eventos catastróficos, constituindo regiões de risco geológico.

2. Área de Estudo

O clima ameno e solo fértil da Serra de Baturité atraíram a ocupação humana, que foi iniciada na área onde atualmente estão compreendidos os municípios de Redenção e Acarapé. Posteriormente, ocorreu um crescimento demográfico significativo com a chegada dos jesuítas na região por volta de 1655 e durante os períodos de seca da segunda metade do século XVIII.

O solo da região serrana de Baturité se mostrou propício ao cultivo do café e conforme os lucros em torno dessa monocultura cresciam, os terrenos de lavoura se expandiam. Em pouco tempo o

café se tornou a principal fonte de renda da região, e juntamente com as culturas de cana de açúcar, fruticultura e horticultura, sustentou economicamente o Maciço de Baturité até meados dos anos 1970. Além de ter se tornado um importante pólo agrícola, o crescimento das áreas urbanas juntamente com o extrativismo vegetal, tem estimulado a exploração predatória dos recursos naturais do maciço (FREITAS FILHO e VICENTE DA SILVA, 2011).

O Maciço Residual de Baturité está orientado na direção NNE–SSW e apresenta litologia variada, composta essencialmente de quartzitos, gnaisses, migmatitos e granitos, com deformações relacionadas às zonas de cisalhamentos do Complexo Ceará. O relevo da região foi preservado graças à presença dos quartzitos, diferente da área rebaixada no entorno. Estruturas rúpteis representadas por fraturas e falhas controlam grande

parte das drenagens e a orientação de algumas serras (Torres, 2004), o que torna a Serra de Baturité um importante dispersor de drenagem. A Serra de Baturité tem sua litologia associada, principalmente, à Unidade Independência, intrusões graníticas e depósitos colúvio-eluviais e aluviais, que recobrem vertentes e fundos dos vales, respectivamente (CPRM, 2012).

De acordo com Souza et al. (1979) e Souza (2000), a Serra de Baturité está inserida nos Escudos e Maciços Antigos

do Ceará, associados aos terrenos cristalinos pré-cambrianos, que formam os Maciços Residuais dos quais a área de estudo faz parte, bem como à Depressão Sertaneja. O relevo se caracteriza por montanhas isoladas, de superfície de piso aplainada, conservada nos interflúvios e com vertentes inclinadas. A Figura 2 ilustra declives acentuados presentes na área, potenciais indutores de processos erosionais e de instabilidade das vertentes.



Figura 2: Vales serranos com cobertura sedimentar.

A área de estudo tem seu relevo condicionado a litotipos antigos do embasamento cristalino, tais como xistos, orto e paragnaisses que apresentam estruturas tectônicas características dos mecanismos de deformação que atuaram ao longo do maciço, como, por exemplo, foliação, xistosidade, dobras, fraturas e boudinagem (Figura 3), estão associadas aos planos de falha existentes

em diversos pontos do maciço (Figura 4). Essas estruturas são naturalmente susceptíveis porque sofrem com maior intensidade aos processos erosivos e por si só favorecem movimentos de terra e escorregamentos que dão origem a novas feições no relevo, taludes instáveis e solos alóctones que preenchem os antigos vales.



Figura 3: Estruturas tectônicas boudins em xisto, representando um dos pontos vulneráveis à erosão.



Figura 4: Rampa de ruptura planar, cujas orientações espaciais e mergulhos de planos de falhas, fraturas e foliações são condicionantes de primeira ordem associados a movimentos de massa.

3. Material e Métodos

Primeiramente, foi realizado um levantamento do acervo bibliográfico e cartográfico da região do Maciço de Baturité, com o intuito de melhorar o entendimento em torno do uso e cobertura do solo na região de interesse.

Na elaboração desse estudo foram empregadas as imagens multiespectrais do sensor OLI, satélite Landsat 8, com resolução de 30 m, correspondentes à órbita/ponto 217/63, de 24 de agosto de 2015, que estão disponíveis para *download* no banco de dados do Serviço Geológico Norte Americano (USGS - <http://earthexplorer.usgs.gov/>), e imagens do radar SAR da missão SRTM, que tiveram sua resolução alterada de 90m para 30m pelo projeto Topodata e estão disponíveis para *download* no banco de dados do INPE (<http://www.dsr.inpe.br/topodata/>).

Durante o processamento digital das imagens ópticas foram utilizados os *softwares* Arcgis 10.2 e Envi 4.8. Esse processamento incluiu a combinação de bandas no *software* Envi 4.8, buscando maior contraste das regiões vegetadas, em composições coloridas (RGB 654 e RGB 543), áreas destinadas à agricultura (RGB 652), bem como o mapeamento das áreas urbanas RGB 764). Em todas as composições foi adicionada a banda pancromática com resolução de 15m, com o intuito de melhorar a resolução espacial da imagem e facilitar a interpretação das unidades de uso e cobertura do solo.

As informações superficiais do terreno foram obtidas por meio da classificação digital supervisionada de imagens, através do algoritmo "Distância de Mahalanobis", empregado às bandas multiespectrais do sensor OLI. Esse algoritmo foi escolhido por ter como base a distância e por apresentar bons valores de exatidão global, aumentando a

Revista de Geologia 29 (1), 2016.

proximidade com a realidade terrestre. As amostras espectrais dos pixels foram selecionadas a partir da imagem em composição RGB 654.

Como o objetivo do trabalho previa a determinação das áreas com solo exposto, o contraste entre solo e vegetação foi realçado, utilizando-se para tanto, a razão entre as bandas referentes aos comprimentos de onda do vermelho e do infravermelho próximo, conhecida como Índices de Vegetação de Diferença Normalizada (NDVI). Esse procedimento aumenta o contraste espectral entre a vegetação e o solo, tem efeitos de iluminação, declividade da superfície e geometria de "visada", parcialmente compensados. Em seguida realizou-se uma reclassificação desse produto para realçar os atributos superficiais do terreno, tais como vegetação, área urbana, solo exposto e hidrografia.

Finalmente, para reunir as informações de altitude, elaborou-se o modelo digital de elevação em formato TIN (*Triangulated Irregular Network*). Para isso, a preparação e georreferenciamento das imagens de radar foram realizadas no *software* Arcgis. As principais etapas realizadas estão resumidas a seguir (Figura 5).

4. Resultados e Discussão

A criação da APA da Serra de Baturité tem como objetivo reduzir a intensa degradação que ocorre principalmente nas áreas mais elevadas, áreas de vertente do maciço e regiões com maior vulnerabilidade. No entanto, além das áreas de cultivo agrícola, ocorrem nas partes de maior altitude do maciço algumas cidades famosas pelo turismo, tais como Guaramiranga e Pacoti, que promovem um intenso povoamento dessas áreas, reduzindo e/ou degradando os recursos naturais da

Serra. Na região de Pico Alto, por exemplo, o leito original do Rio Pacoti, que passa pela cidade de mesmo nome,

recebe lixo e esgoto de comunidades próximas a montante (Figura 6).

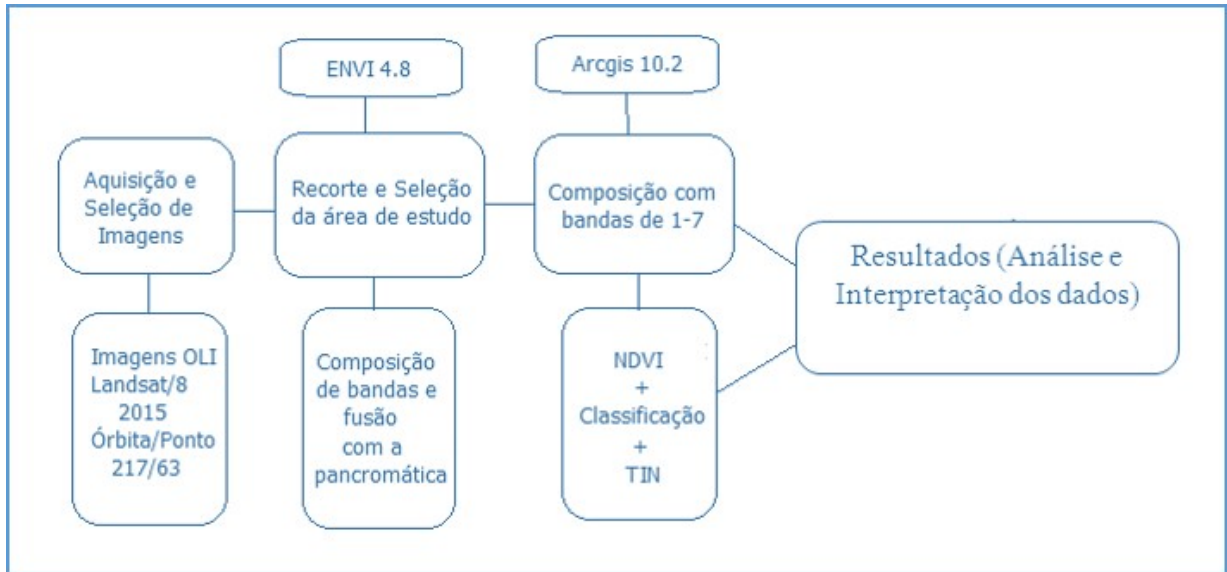


Figura 5: Fluxograma de desenvolvimento do trabalho.



Figura 6: Ação antrópica de comunidades ribeirinhas nas proximidades da região de Pico Alto, gerando degradação das drenagens locais, através da disposição irregular de lixo urbano.

Os solos do maciço são em geral de origem autóctone, bem desenvolvidos e apresentam um horizonte orgânico importante no controle dos movimentos de terra. Porém, o potencial agrícola combinado a práticas rústicas de manejo do solo, tais como as queimadas, ainda trazem graves problemas erosivos à região. A remoção dos solos mais superficiais que são mais laterizados, e conseqüentemente, mais coesivos estão associados à presença de argilas não expansivas (tipo 1:1, caulinitas) e, portanto, materiais de baixa erodibilidade,

prejudica a proteção natural contra a erosão hídrica. Já os horizontes mais profundos que apresentam laterização incipiente, com provável conteúdo de argilas expansivas (tipo 2:1, montmorilonitas e ilitas), se comportam como materiais de elevada erodibilidade, devendo ser melhor protegidos da erosão hídrica. O resultado desse processo pode ser a formação de ravinas e/ou voçorocas, que estão diretamente relacionadas ao avanço dos sulcos no solo (Figura 7).



Figura 7: Ravinas na localidade de Cumari, próximo a Aracoíaba, que evidenciam intensos processos erosivos no solo.

Essas práticas agrícolas, na maioria das vezes, não seguem o Código Florestal instituído pela Lei nº 4.771/65 que foi criado a fim de reger a proteção das matas no território brasileiro, e nem da recente Resolução CONAMA nº. 303/02, que dispõe sobre os limites referentes às áreas de preservação

permanentes. É necessário, portanto, uma maior fiscalização dos recursos naturais por parte dos órgãos ambientais para evitar a degradação dos mesmos.

Os resultados da classificação de imagem apresentam intenso processo de urbanização próximo aos cursos d'água, solo exposto e vegetação alterada nas

encostas, e a combinação desses fatores pode representar alto risco de erosão. Em algumas regiões do maciço, os habitantes ocuparam áreas de alto risco

geológico-geotécnico, que coincidem com as áreas classificadas como urbana e/ou solo exposto na imagem a seguir (Figura 8).

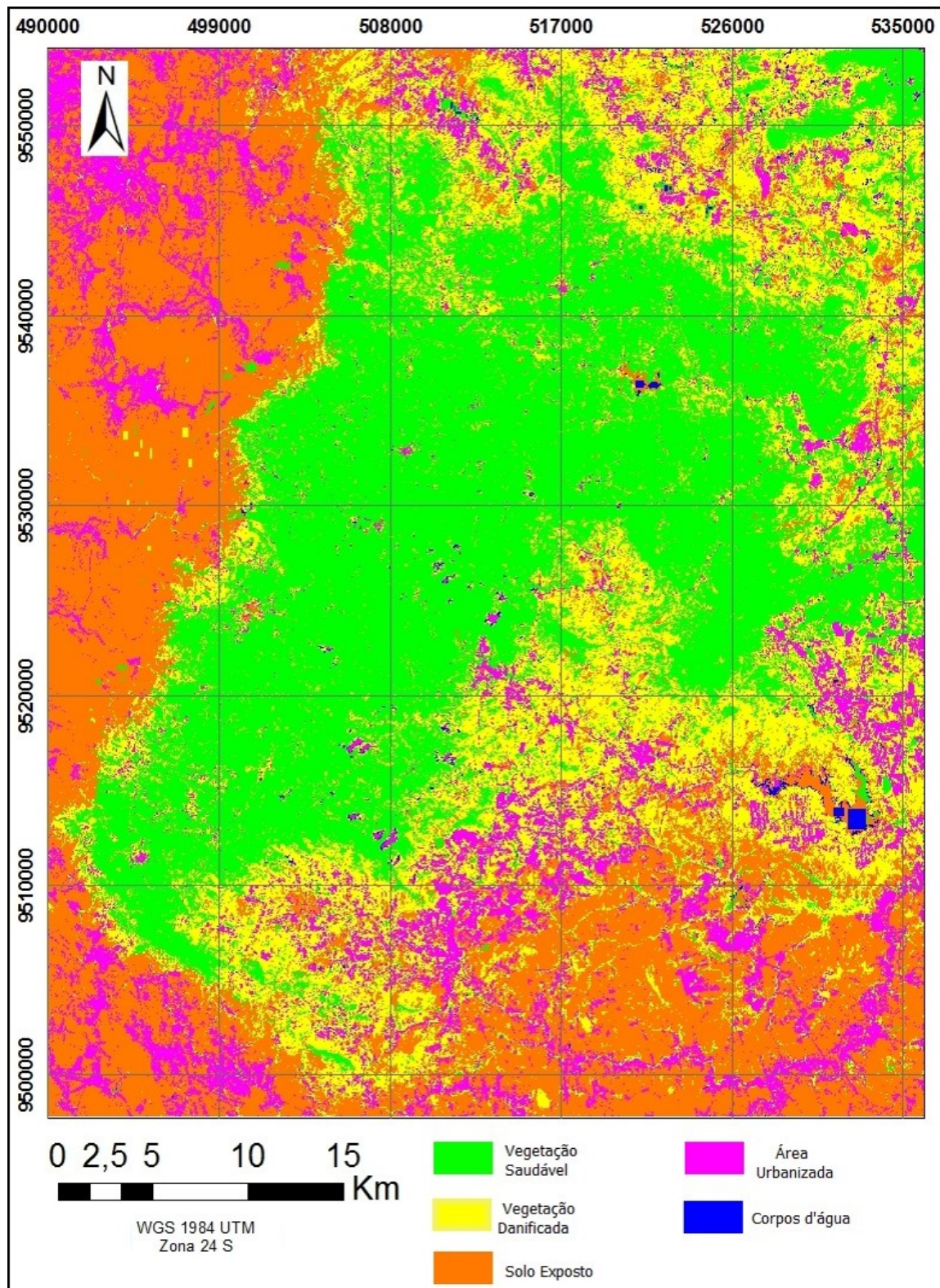


Figura 8: Mapa de cobertura de Solo da Serra do Baturité, obtido através da classificação supervisionada por pixel através do algoritmo "Distância de Mahalanobis".

O produto do Índice de Vegetação NDVI da região (Figura 9) foi reclassificado e confirma a interpretação realizada através da classificação dos alvos, ou seja, as principais cidades da região estão localizadas próximo aos cursos de água, na parte da Serra onde a declividade é menos abrupta (a Leste). As áreas da borda do maciço apresentam vegetação desgastada tanto pela ação antrópica, quanto pelos processos

naturais de queda de blocos e taludes instáveis. Algumas medidas têm sido tomadas por parte das prefeituras com a construção de equipamentos de contenção, tais como gabiões, muros de arrimo e telas, porém a falta de manutenção dos mesmos não oferece garantia de segurança para os habitantes, que continuam a ocupar a área irregularmente (Figura 10).

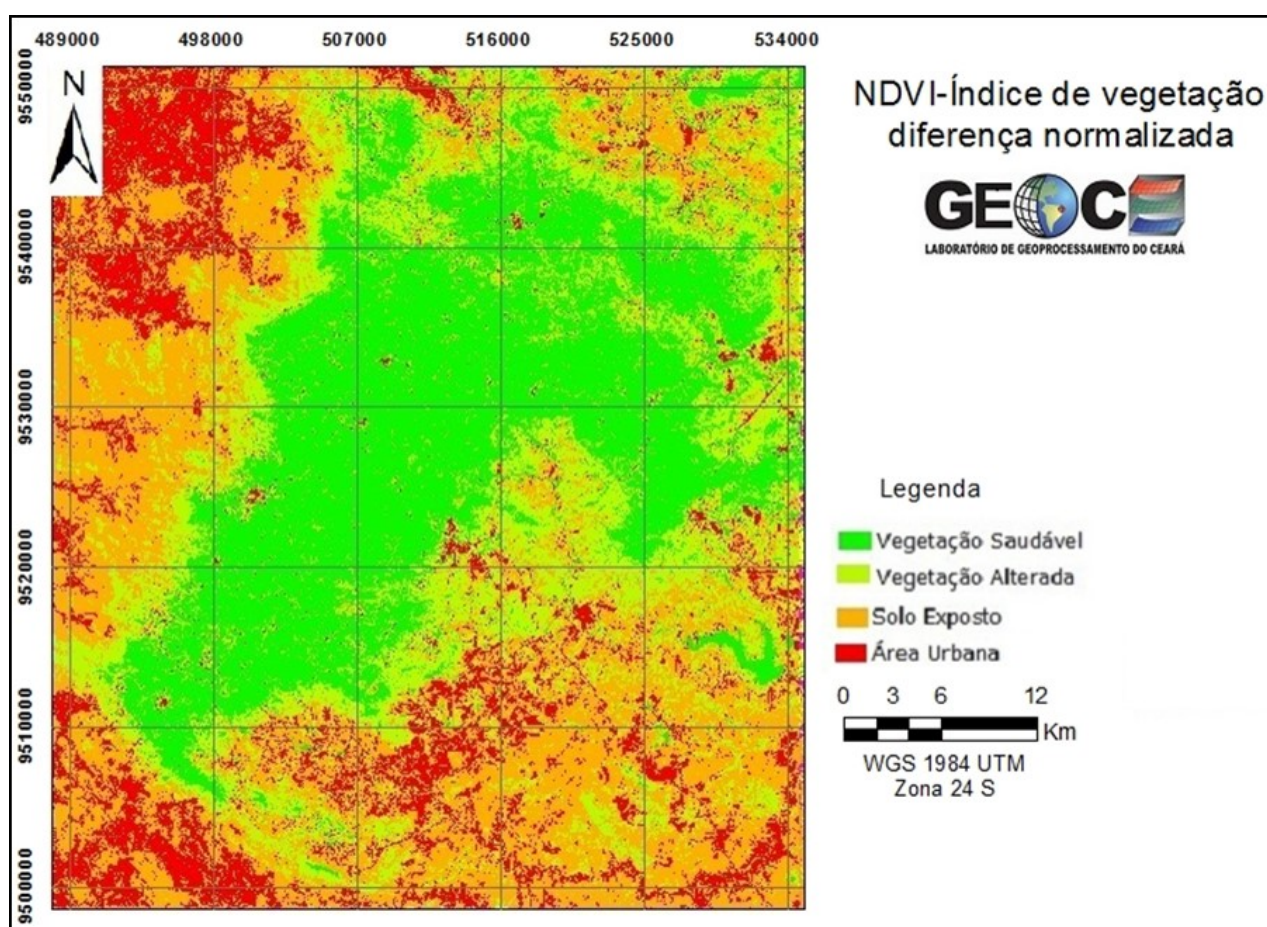


Figura 9: Índices de vegetação de diferença normalizada (NDVI) reclassificados em vegetação saudável, vegetação alterada, solos expostos e áreas urbanas.

O modelo digital do terreno (MDT) (Figura 11), gerado por TIN (triangular irregular network) foi usado para comparar as regiões povoadas e suas respectivas altitudes. As áreas mais urbanizadas correspondem também

àquelas onde predominam cotas moderadas, mas que, dependendo da declividade local, podem oferecer maior risco de movimentos de massa.



Figura 10: Construções irregulares na cidade de Pacoti.

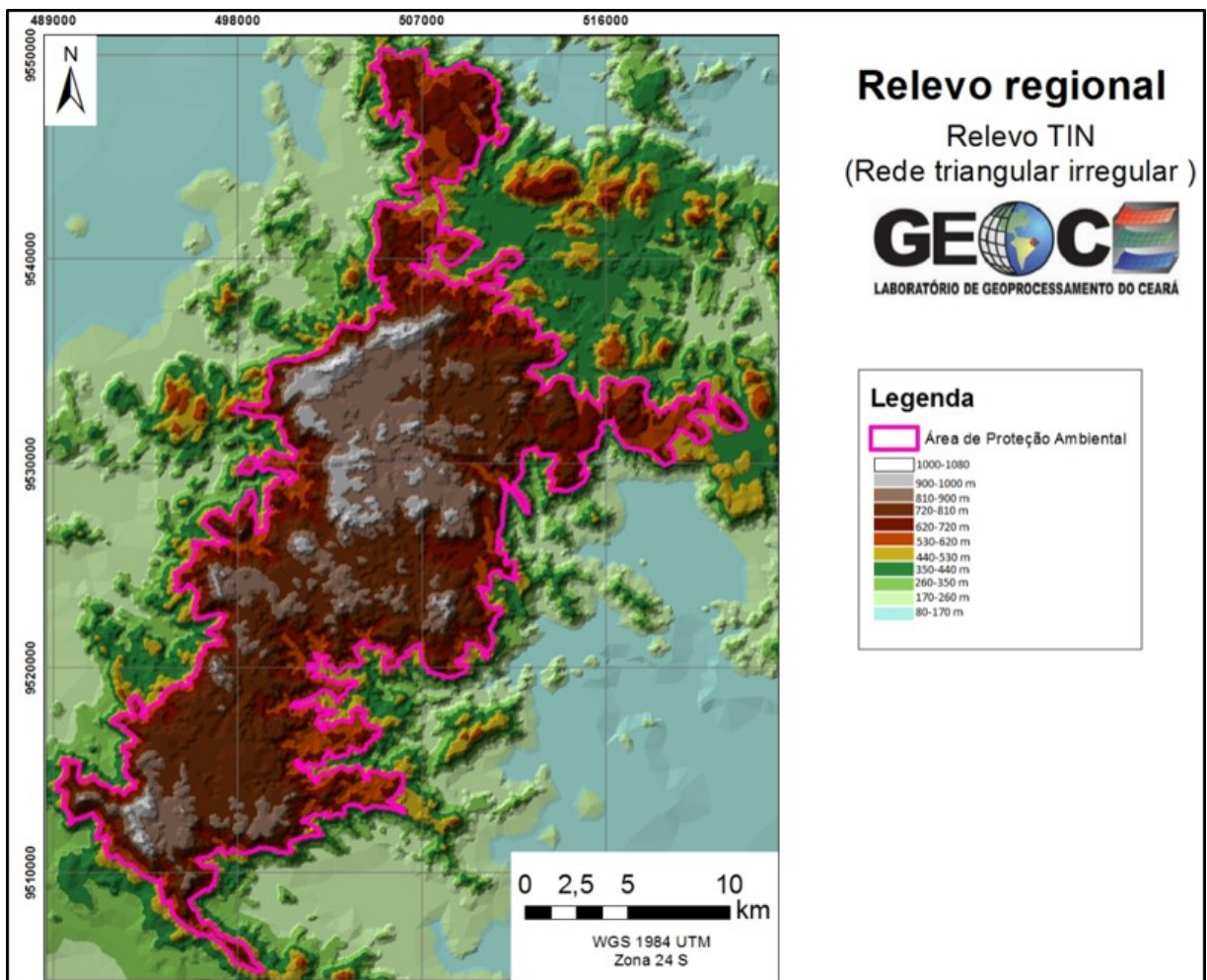


Figura 11: Modelo digital do terreno gerado por TIN "rede triangular irregular".

Os municípios de Baturité, Pacoti, Redenção, Acarapé, entre outros, por se tratarem de grandes pólos urbanos e estarem localizados em regiões de encosta da serra representam as localidades mais vulneráveis aos movimentos de massa. As áreas da APA onde a vegetação já foi alterada e apresenta solo exposto se localiza junto às regiões urbanas e quando ocorrem próximas de encostas representam alto risco geotécnico. Isso pode ser observado mediante a combinação do índice de

vegetação (NDVI - Normalized Difference Vegetation Index) em tons de cinza e o modelo de elevação do terreno (Figura 12). As regiões de altitude moderada, com cotas variando entre 450 m e 650 m, são aquelas que apresentam vegetação mais alterada, e, portanto, abrigam maiores concentrações urbanas. No entanto, outros locais da área de proteção, nas cotas altimétricas mais elevadas, ainda apresentam vegetação saudável.

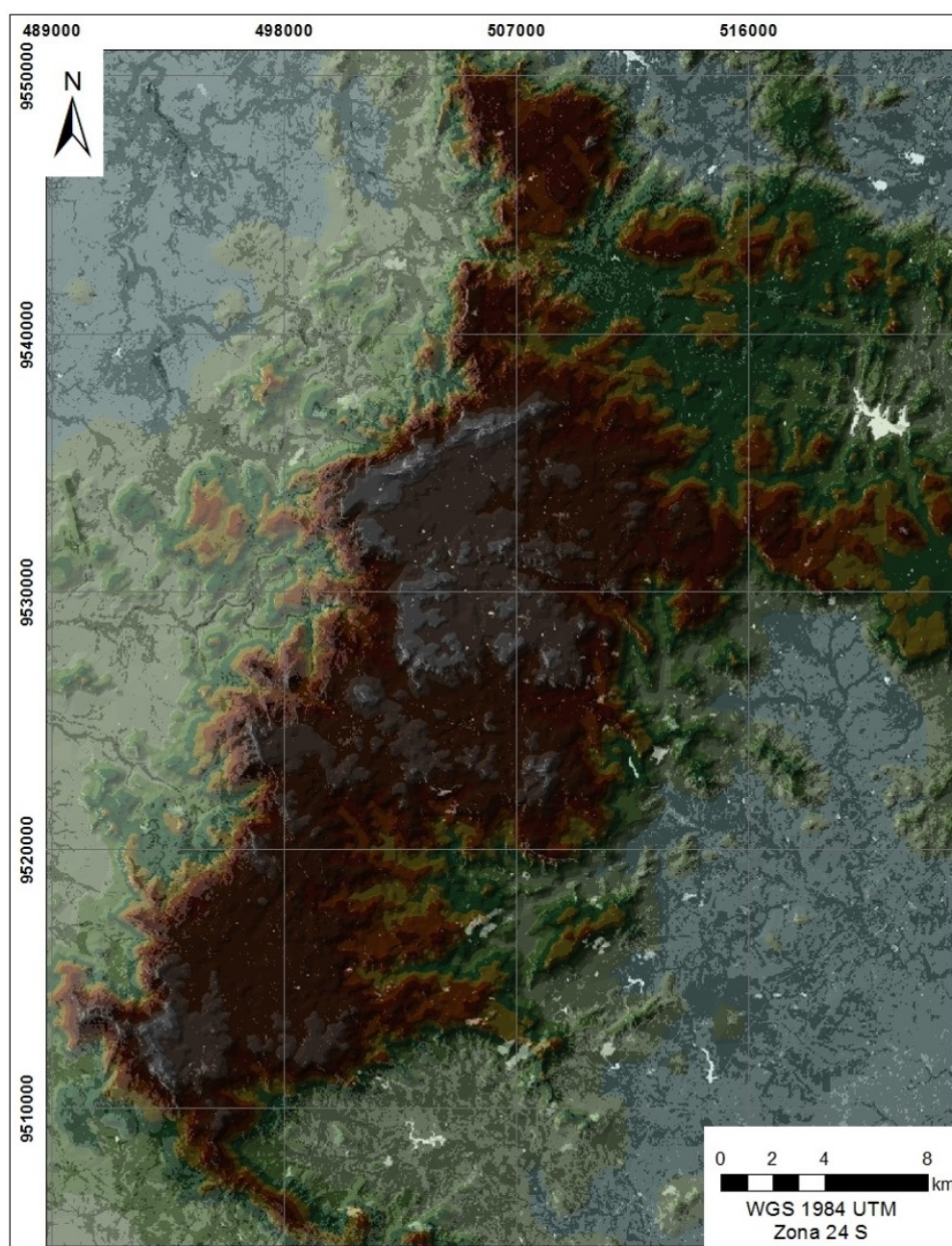


Figura 12: Mapa com NDVI da área, sobreposto ao TIN.

5. Considerações Finais

O maciço de Baturité apresenta um contexto climático, hídrico, de fauna e de flora diferenciado, além de abrigar uma das últimas reservas da Mata Atlântica. A classificação do raster através do algoritmo “Distância de Mahalanobis”, o modelo digital do terreno TIN e a álgebra de mapas Índices de Vegetação de Diferença Normalizada (NDVI) foram bem-sucedidos no que diz respeito à observação da intensa ocupação em torno de áreas de morfologia mais vulnerável e com a presença de importantes corpos d'água.

Através desse estudo foi possível constatar que, apesar de ser considerada uma Área de Proteção Ambiental (APA), o maciço continua a sofrer degradação antrópica, com o uso intenso e indiscriminado de seus recursos naturais e urbanização crescente e desordenada. Mediante os registros de campo foi possível constatar que as atividades realizadas na APA não têm o acompanhamento devido dos órgãos responsáveis.

O monitoramento dessas regiões é extremamente importante para a manutenção dos recursos bem como a prevenção de desastres naturais. O avanço da urbanização no maciço do Baturité se dá de leste para oeste, devido ao aumento suave das cotas altimétricas, nessa fração do maciço, portanto, as medidas eficientes de preservação aplicadas pelos órgãos ambientais, bem como o direcionamento da urbanização pelos órgãos gestores urbanos merecem maior atenção.

Agradecimentos

Agradecemos ao GEOCE - Laboratório de Geoprocessamento do Ceará do Departamento de Geologia da Universidade Federal do Ceará, pelo

espaço e apoio disponibilizados para a realização desse trabalho, bem como a dois pareceristas anônimos cujas contribuições muito enriqueceram o trabalho.

Referências Bibliográficas

- CPRM, Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. Mapa Geológico da Folha SB.24 – X-A-I Baturité. Escala 1:100.000, 2012.
- FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA (Brasil) (Ed.). Relatório Anual 2014. 7. ed. São Paulo: Fundação Sos Mata Atlântica, 2014. Disponível em: <https://www.sosma.org.br/link/relatorio_anual_sosma_2014/index.html>. Acesso em: 15 set. 15.
- FREITAS FILHO, M.R.; VICENTE DA SILVA, E. Retrospectiva e Evolução da Paisagem na APA da Serra de Baturité com o Auxílio de Geotecnologias. In: CORDEIRO, A. M.N.; BASTOS, F.H. (org.). Serra de Baturité: uma visão integrada das questões ambientais. Fortaleza: Expressão Gráfica e Editora, 2011. p. 185-203.
- Ministério do Meio Ambiente. Disponível em <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res02/res30302.html>>. Acessado em 08 de agosto de 2015.
- SILVA, A. F. M. (2007). Análise da susceptibilidade à erosão dos solos na microbacia do Riacho dos Barros, Município de Aratuba – Ceará. Dissertação (Mestrado). Fortaleza: Departamento de Geologia – UFC.
- SOUZA, M.J.N. (2000). Bases naturais e esboço do zoneamento geoambiental do estado do Ceará. In: L.C.Lima, J.O. Morais, M.J.N. SOUZA (Eds.) Compartimentação Territorial e Gestão Regional do Ceará (05-102). Fortaleza: FUNECE.
- SOUZA, M.J.N., LIMA, F.A.M., PAIVA, J.B. (1979). Compartimentação topográfica do estado do Ceará. Ciências Agrônomicas UFC, 9 (1-2), 77-86.

TORRES, P.F.M. (2004). Aspectos geológicos e geocronológicos da região de Redenção (CE) e adjacências – contexto regional e evolutivo: Sequência Acarape e Suíte Pacatuba. Dissertação (Mestrado). Fortaleza: Departamento de Geologia – UFC.

United States Geological Survey. Disponível em <<http://earthexplorer.usgs.gov/>>.