

## **Integração de resultados de classificação em dados do sensor OLI (Landsat8), com modelo digital de elevação (SRTM), como suporte ao mapeamento de áreas para a prática de geoturismo e ecoturismo no Parque Estadual do Biribiri (MG).**

Rafael Oliveira Souza Lisboa<sup>1</sup>  
Juliano Alves de Senna<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri - UFVJM / ICT-CEGEO / LGSR  
Rodovia MGT-367, Km 583, nº 5000 - 39100-000 - Diamantina - MG, Brasil  
faelisboa@hotmail.com, jsenna@ict.ufvjm.edu.br

**Abstract.** The Biribiri State Park is a conservation unit located in Diamantina, Minas Gerais State, Brazil. It is situated on the eastern and central border of the Serra do Espinhaço. It is a monument of the natural reserve, and has great environmental geodiversity. However, ecotourism is insufficient and geotourism absent. This investigation includes: (i) use the techniques of digital image processing in OLI (Landsat-8) and SRTM sensors data, to classify areas with tourist vocations; and (ii) develop a GIS platform, with multi-thematic data, to elaborate a digital cartography. Considering the complexities involved, the aims for the study of the area are: (i) classify through arithmetic operations of bands, (ii) classify by normalized difference indices and its variants, (iii) classify from the digital elevation model; and (iv) identify areas in the park. The results were relatively successful in discriminating the subdivisions of the park based on the classification. The park contains five sectors: (i) north (local depression, sparse vegetation, large river); (ii) west-center (intermediate altitude, dense vegetation); (iii) east-center (high, low vegetation); (iv) southwest (intermediate altitude, medium vegetation, streams and waterfalls); and (v) southeast (very high altitude, low dense vegetation). The application of geotechnologies in the park was promising. The continuity of this research will produce resources to amplify scientific and adventure tourism in the park.

**Palavras-chave:** Geoparque, Geotecnologias, Sensoriamento Remoto, PDI, SIG.

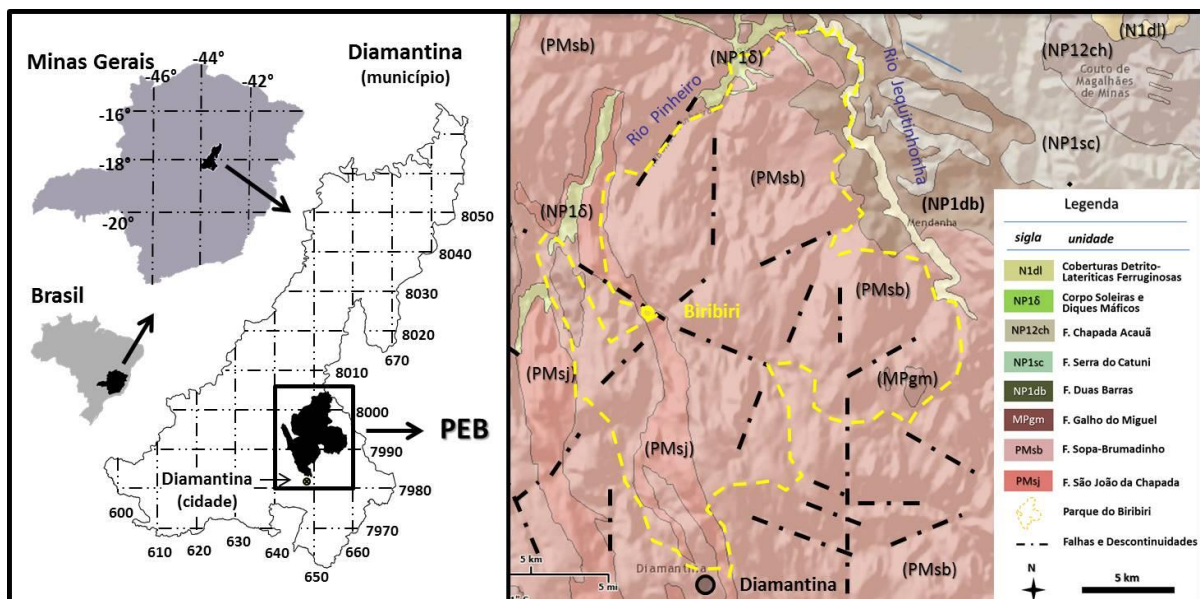
### **1. Introdução**

O Parque Estadual do Biribiri (PEB) é uma unidade de conservação do IEF (Instituto Estadual de Florestas) localizada no do município de Diamantina (MG). Está situado na borda oeste e na porção central da Serra do Espinhaço Meridional (SEM), É um monumento da reserva natural que possui grande geodiversidade ambiental (*e.g.*, inúmeros sítios geológicos, variabilidade geomorfológica e pedológica, importantes mananciais hídricos e botânicos). Foi criado pelo Decreto Estadual nº 39.909, de 22 de setembro de 1998. A instalação desta unidade teve por finalidade a proteção da fauna e da flora, assim como dos mananciais hídricos (nascentes de rios e córregos da região). A “SEM” é classificada como de especial importância biológica, devido ao elevado grau de endemismo vegetal e animal, e possui 80% das espécies de plantas denominadas de sempre-viva (*e.g.*, *aeonium arboreum*, *bellis perenniss*), e 40% das espécies de plantas ameaçadas de extinção no país (FB 1998). Além disso, a “SEM” abriga nascentes de importantes rios da região, e suas drenagens alimentam grandes bacias adjacentes (*e.g.*, Rio Jequitinhonha). O “PEB” está neste contexto. O geoturismo é um ramo do ecoturismo (Amorim 2005), e vem ganhando destaque nas últimas décadas. É um segmento da atividade turística que tem o patrimônio geológico como seu principal atrativo (Ruchkys 2007). A conservação e a proteção dos patrimônios naturais dependem da qualidade da informação disponibilizada para público (turista). O geoturismo também pode ajudar muito na divulgação destas informações, e na educação (ambiental e das geociências).

**Justificativas & Objetivos:** Este documento é uma das etapas do projeto intitulado de “Mapeamento de Áreas para Prática de Esportes de Aventura, Educação Ambiental e Geoturismo no PEB”. A proposta deste projeto é desenvolver uma plataforma em ambiente “SIG”, com dados multitemáticos que possam ser geoprocessados para gerar produtos cartográficos digitais (*e.g.* mapas, cartas, plantas, rotas e pontos), focalizando no mapeamento

das áreas de geoturismo e ecoturismo. Esta proposta pretende inovar em aplicar às geotecnologias no desenvolvimento do “PEB”. Em países desenvolvidos, este tipo de mapeamento é comum há décadas, e a aplicação das geotecnologias é cada dia mais popular, seja no meio acadêmico ou na esfera informal, e representa um paradigma na mudança de cenário. Apesar da grande geodiversidade do “PEB”, as práticas de ecoturismo são insuficientes, e as de geoturismo são inexistentes num parque com tantas opções. Particularmente, o objetivo deste documento é utilizar técnicas de “PDI” (processamento digital de imagens) para classificar as áreas com as vocações supracitadas. No entanto, e considerando-se as complexidades envolvidas neste tipo de pesquisa os objetivos específicos são: (i) aplicar os índices de diferença normalizada e as operações aritméticas em dados do sensor “OLI/Landsat-8” para classificar as áreas do “PEB”, (ii) classificar a superfície do terreno a partir da geração do modelo digital de terreno; e (iii) mapear as áreas do parque a partir da integração das classificações, e indicar sua vocação.

**Localização & Cenário Geológico:** O “PEB” (Figura 1a) está situado na região central do Município de Diamantina (MG), cerca de 1 km em linha reta, e 3 km por vias urbanas a partir do centro da cidade homônima. Situa-se na borda leste e central da “SEM”, e na porção alta do vale do Rio Jequitinhonha. Sua área de 170 km<sup>2</sup>, correspondente a 0,029% do território estadual, e 5,67 % das áreas protegidas pelo IEF. As rochas ocorrentes na área do parque (Figura 1b) são majoritariamente pertencentes ao Grupo Guinda, e suas formações: (i) São João da Chapada (PMsj), (ii) Sopa-Brumadinho (PMsb), e (iii) Galho do Miguel (MPgm). Na região nordeste (NE) do parque ocorre o Grupo Macaúbas representado pela Formação Duas Barras (NP1db). Na região noroeste (NW) ocorrem os corpos máficos (diques e soleiras, NP1δ). Os depósitos quaternários do aluvião do Rio Jequitinhonha, delinea toda a região nordeste numa direção SE-NW. Esta região está densamente estruturada por falhamentos e/ou descontinuidades tectônicas. Vale observar que ocorrem dois corpos isolados da F. Galho do Miguel (MPgm) dentro do parque, uma na área leste e outra no extremo oeste. Também é interessante a localização da Vila de Biribiri, que se situa sobre as rochas mais antigas do parque (PMsj). Exatamente na região da vila encontra-se um grande sistema de fraturamento de direção SW-NE, que deve ter deslocado os blocos vizinhos desta unidade de base (PMsj).



**Figura 1:** Localização e Geologia. (A) Ilustração com a localização do “PEB” e do polígono de trabalho. (B) Mapa litoestratigráfico (CPRM 2004) com 50 % de transparência, sobre “MDE” extraído dos dados SRTM (Geocover-CPRM). Detalhe para os limites do “PEB”, a geologia ocorrente em seu interior, e a volumosa ocorrência de fraturamentos na área. PM e MP: Mesoproterozóico (1600-1000 Ma), NP: Neoproterozóico (1000-540 Ma), N: Neógeno (23-2 Ma).

## 2. Materiais e Métodos

Para a sistemática cartográfica todos os dados utilizados foram padronizados conforme o *datum* WGS84 utilizando sistema de coordenadas UTM para a Zona 23-S. Em todas as fases do geoprocessamento (incluindo o “PDI”), os procedimentos foram executados em plataforma “SIG” com auxílio do algoritmo (*open source*) Quantum-GIS versão 2.8.

### 2.1 Materiais

Os materiais utilizados foram: (i) polígono (vetor) correspondente ao limite do “PEB”; (ii) cenas do sensor óptico OLI (*Operational Land Imager*) embarcado na plataforma (satélite) Landsat-8 com correção atmosférica e seus respectivos metadados; e (iii) cenas obtidas por interferometria a partir de sensores (radares de abertura sintética) embarcados no ônibus espacial Endeavour na missão SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) de fevereiro de 2000. Ambos os dados (OLI/Landsat-8 e SRTM) foram obtidos no site da “Earth Explorer” como cortesia do Serviço Geológico Americano (USGS). Para o sensor “OLI/Landsat-8” foi escolhida a cena da posição “218 (coluna) / 73 (linha)” da articulação global, que corresponde à região de Diamantina. Esta cena que contém o parque e suas adjacências foi resultado do imageamento datado de 03/11/2015. Foram utilizadas as bandas B2 (0.450-0.515), B3 (0.525- 0,600), B4(0.630-0.680), B5 (0.845-0.885), B6 (1.560-1,660), B7(2.100-2.300) e B8 (0,500-0,680). Para o sensor “SRTM” foram obtidos dados com 30m de resolução espacial. Foi escolhida a cena com os seguintes registros: (i) ID - SRTM1S19W044V3, (ii) data de aquisição: 11/02/2000, (iii) coordenadas centrais: -18° W e -44° S, e (iv) data de processamento: 23/09/14.

### 2.2 Métodos

Os métodos utilizados foram na sequência: (i) ajuste do polígono vetorial do limite do “PEB”; (ii) pré-processamento (conversão de parâmetros físicos) dos dados do sensor “OLI”; (iii) “PDI” para geração de composição colorida nos dados do sensor “OLI”; (iv) PDI para geração dos índices de diferença normalizada e suas variantes; e (v) geração de modelo digital de terreno (MDT) a partir dos dados “SRTM”.

**Pré-Processamento (correção radiométrica):** Nesta etapa os dados brutos (DN: *digital numbers*) foram convertidos para valores de reflectância, usando o modelo apropriado (Tabela 1, Equação 1). Além disso, houve a correção da angulação solar (Tabela 1, Equação 2).

**Tabela 1:** Equações da etapa de correção radiométrica da fase de pré-processamento

Equação 1	$\rho\lambda' = MpQcal + Ap$	Equação 2	$\rho\lambda = \rho\lambda' = \rho\lambda' \cos(\theta SZ) \sin(\theta SE)$
-----------	------------------------------	-----------	---

$\rho\lambda$ : reflectância planetária,  $\rho\lambda'$ : reflectância planetária sem correção para o ângulo solar, **Mp**: fator de redimensionamento multiplicativo da banda específica dos metadados, **Qcal**: valores de pixel do produto quantificados e calibrados (DN), **Ap**: fator gerado a partir dos metadados específicos para cada banda,  **$\theta SZ$** : ângulo zenital solar local,  **$\theta SE$** : ângulo de elevação solar local. Obs:  $\theta SZ = 90^\circ$  (NADIR).

**Geração de Composição Colorida:** Nesta etapa são escolhidos os padrões de composição colorida (falsa cor) das bandas originais, e das operações aritméticas de bandas. Os dados com de resolução espacial de 30 m foram re-amostrados para 15 m através da fusão com a banda pancromática (B8). A fusão foi realizada no algoritmo *Spectral Discovery for Landsat-8 imagery 2.0* (<http://www.geosage.com/>). Foram geradas duas composições simples: (i) B6(R)/B5(G)/B4(B), e (ii) B7(R)/B6(G)/B4(B). Também foi gerada a composição colorida de resultados de subtração de bandas para identificar variações composicionais da superfície. Os canais foram atribuídos respectivamente às seguintes operações: R (B4-B2), G (B5-B4), e B (B6-B7).

**Classificação “NDI”:** Esta etapa corresponde à geração dos índices de normalização diferenciada (NDWI, NDVI, e NDBI) e suas variantes (MNDWI, SAVI, e UI), de modo a mapear os fenômenos de interesse em cada uma das técnicas utilizadas. Estes índices são obtidos através de operações matemáticas das bandas do sensor utilizado. O “NDWI” (índice de água por diferença normalizada) é utilizado para estimar o teor de umidade na vegetação, além de destacar os corpos d’água (McFeeters 1996). Este índice é calculado a partir dos registros do visível médio (VIS-Verde), do infravermelho próximo (NIR) e do infravermelho de ondas curtas (SWIR), a depender da equação. O “MNDWI” (índice de água por diferença normalizada modificada) é uma modificação do “NDWI” (Xu 2006), e calculado a partir dos registros do “VIS-Verde” e do “SWIR”. O “NDVI” (índice de vegetação por diferença normalizada) é uma técnica utilizada para mapear a vegetação. É calculado a partir dos registros do visível distante (VIS-Vermelho) e do “NIR” (Rouse *et al.* 1974). O “SAVI” (índice de vegetação ajustado ao solo) auxilia o “NDVI” ajudando a reduzir a influência da resposta espectral do solo, devido ao fator “L” que varia com a densidade do dossel na área analisada (Huete 1988). O “NDBI” (índice de áreas construídas por diferença normalizada) é utilizado para identificar áreas urbanas, edificadas e/ou construídas (Zha *et al.* 2003). É calculado a partir da correlação entre os registros do “NIR” e do “SWIR”. O “UI” (índice de urbanização) é calculado a partir das bandas do “NIR” e “SWIR” para identificar áreas urbanizadas (Kawamura *et al.* 1996). Todas as equações dos índices supracitados encontram-se na Tabela 2.

**Tabela 2:** Equações dos índices de diferença normalizada e das derivações aritméticas, utilizadas na etapa de classificação digital por índices de referência. As equações são apresentadas de acordo com as bandas do sensor OLI/Landsat8.

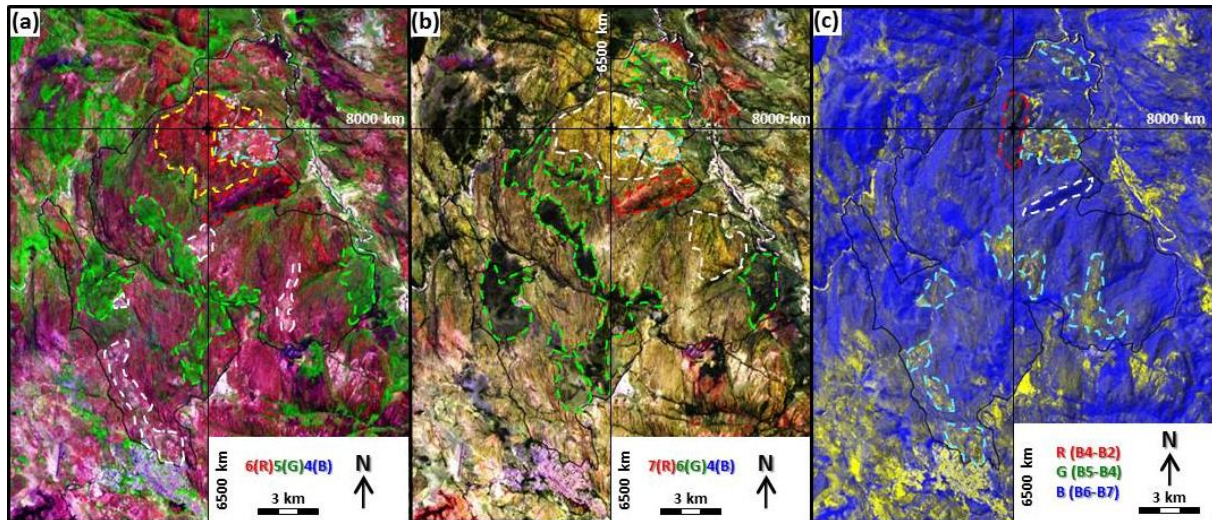
<b>1A</b>	$NDWI (35) = (B3 - B5) / (B3 + B5)$	<b>1B</b>	$MNDWI (36) = (B3 - B6) / (B3 + B6)$
<b>2A</b>	$NDVI (54) = (B5 - B4) / (B5 + B4)$	<b>2B</b>	$SAVI = [(B5 - B4) / (B5 + B4 + L)] * [1 + L], Lm = 0.50$
<b>3A</b>	$NDBI = [(B6 - B5) / (B6 + B5)] - [(B5 - B4) / (B5 + B4)]$	<b>3B</b>	$UI = (B7 - B5) / (B7 + B5)$

**Geração do MDE:** A primeira etapa de elaboração do modelo digital foi o seccionamento dos dados “SRTM” pelo polígono regular do “PEB”. Na sequência os dados foram processados utilizando as seguintes variáveis: (i) Exagero vertical (Fator “Z”) de 1.0; (ii) Escala de 1.0; (iii) Azimute de iluminação de 315°; e (iv) Altitude da iluminação de 45°. Após, o recorte foi classificado em 9 (nove) faixas altimétricas. Finalmente foram aplicadas: tábuas de cor (*e.g.*, *spectral*), ajustes de imagem (*e.g.*, nitidez, saturação), e filtros.

### 3. Resultados e Discussões

Com o processamento dos dados do sensor “OLI” foi possível identificar as diferentes características da superfície no polígono (PEB), e objeto da investigação.

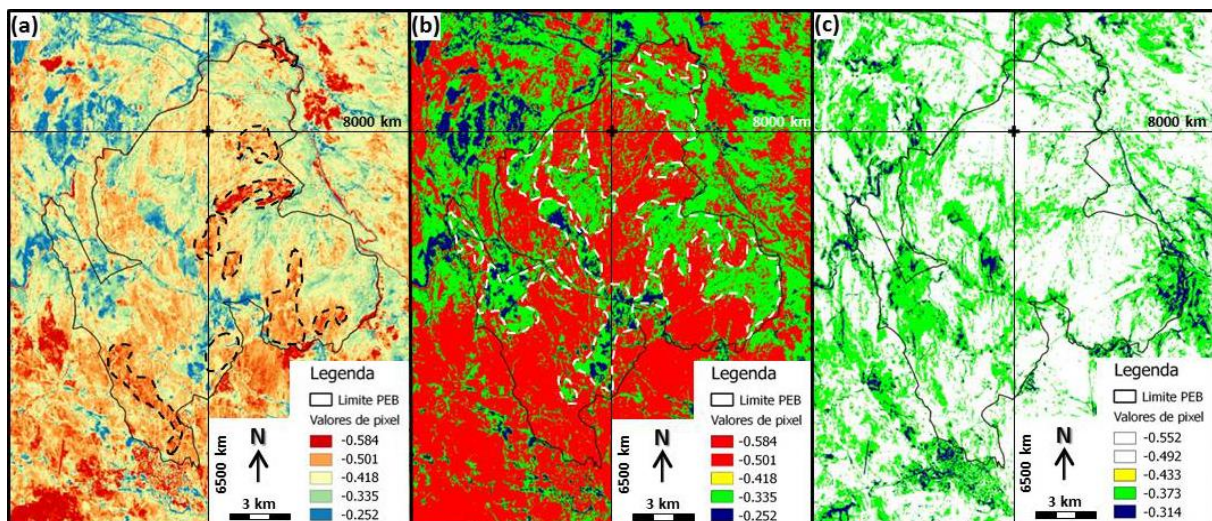
**Composição Colorida:** As imagens geradas demonstraram inúmeras características da superfície do “PEB”. As três composições coloridas (Figura 2) serviram como apoio na identificação das diferenças da cobertura do “PEB”. Na composição “654” (Figura 2a) observam-se os afloramentos rochosos em tons vinho (mistura dos canais 4-azul e 6-vermelho), as coberturas vegetais no canal 5-verde, e superfícies com elevada exposição em tons claros (somatória dos canais). Na composição “764” (Figura 2b), a vegetação é demarcada por tons de verde escuro, e os afloramentos rochosos ocorrem em tons amarelados, sendo as regiões mais claras devido à maior exposição destas superfícies.



**Figura 2:** Imagens resultantes da etapa de composição colorida e operação aritmética entre bandas. (a) Composição “654” com realce de cores e ajuste de histograma; (b) Composição “764” com realce de cores e ajuste de histograma; e (c) Composição colorida dos produtos de subtração de bandas na seguinte ordem R(B4-B2)G(B5-B4)B(B6-B7)

A imagem gerada pela subtração entre bandas (Figura 2c) indica em amarelo as áreas construídas e com solo e/ou sedimento exposto e com presença de óxido de ferro, e em azul as superfícies solo argiloso ou correlato. Ou seja, esta imagem indica em azul as regiões intactas e em amarelo as áreas com impacto antrópico, a exemplo da cidade de Diamantina ao sul e o campus da UFVJM (forma triangular) cerca de 5 km à nordeste.

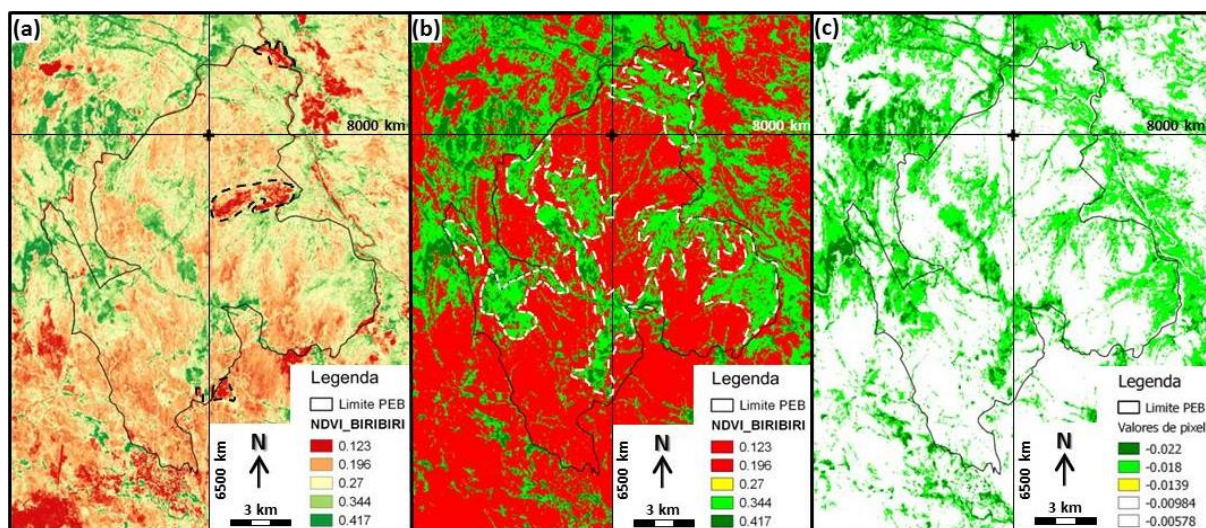
**Classificação “NDWI-MNDWI”:** Os resultados deste índice (Figura 3) indicam às regiões onde há maior quantidade de água no “PEB”. Além de delimitar os cursos d’água, o índice também destacou a vegetação e os solos úmidos. Áreas de cor vermelha e branca indicam as superfícies relativamente secas. As áreas com menor umidade ocorrem nas porções de altitude intermediária (Figura 3a). A cor azul na área urbana pode também indicar outras formas de acúmulo de água. Os dados de capturados em novembro de 2015 (período chuvoso na região) podem justificar os locais com maior umidade (Figura 3b). As áreas de cor verde indicam a presença de água acumulada na biomassa (Figura 3c).



**Figura 3:** Imagens da classificação pelos índices “NDWI” e “MNDWI”. (a) resultado “NDWI” por operação automática de bandas; (b) resultado “NDWI” com processamento por maximização ”RGB” e posterização; (c) resultado “MNDWI” com processamento por maximização (RGB), posterização e substituição da cor vermelha pelo branco.

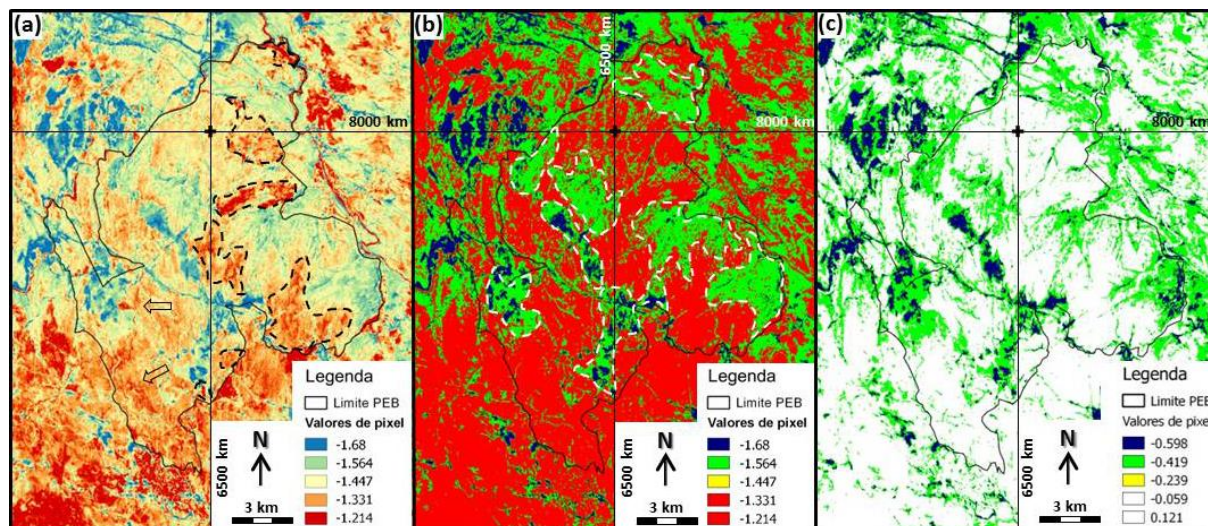
As regiões nucleadas em azul (Figura 3c) correspondem à abundância de água concentrada em *hot spots* vegetais e/ou mananciais hídricos.

**Classificação “NDVI-SAVI”:** A análise dos resultados dos índices de vegetação (Figura 4) demonstra a distribuição da vegetação (cor verde) no “PEB”. Quanto mais intenso é o verde mais abundante e/ou densa é a biomassa. Áreas de cor vermelha (Figura 4a) indicam ausência ou escassez vegetal, exposição das superfícies como rochas, solos e sedimentos. Estas áreas ocorrem nas porções intermediárias do relevo. Destaque para a área alongada na porção centro-norte, cuja anomalia é devido à ausência de vegetação em uma grande declividade. As manchas verdes (Figura 4b) indicam as zonas de abundância de biomassa vegetal e ocorrem principalmente ao longo das drenagens e de zonas fraturadas. É notável a presença da vegetação mais densa na porção central (W-E) do “PEB”, com uma ocorrência importante no extremo norte. O resultado do índice “SAVI” (Figura 4c) também indica vegetação mais densa na região central e em densidade intermediária acompanhando as fraturas e drenagens.



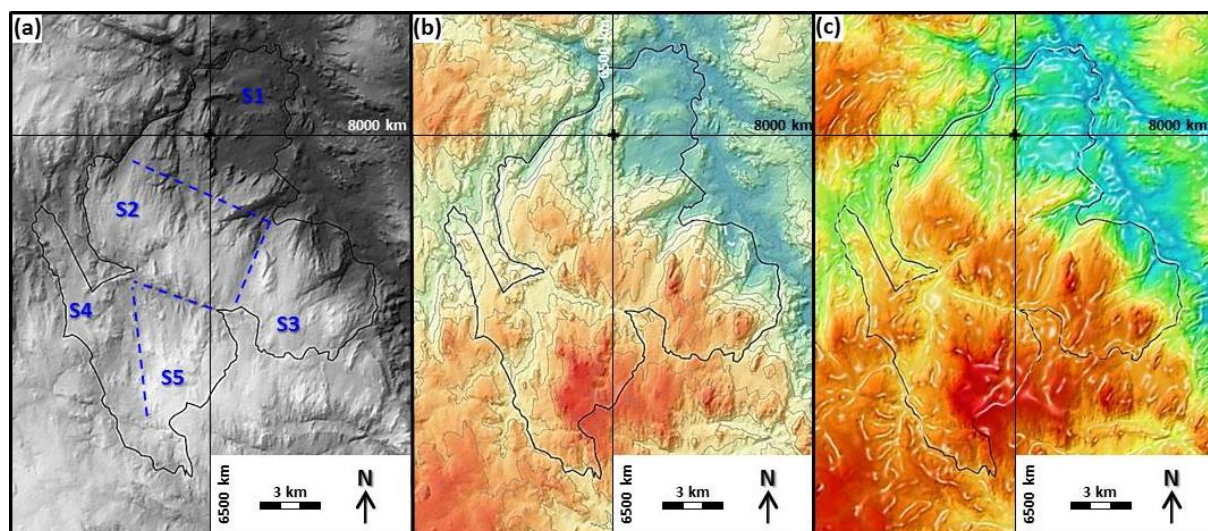
**Figura 4:** Imagens da classificação pelos índices “NDVI” e “SAVI”. (a) resultado “NDVI” por operação automática de bandas; (b) resultado “NDVI” com processamento por maximização (RGB) e posterização; e (c) resultado “SAVI” com processamento por maximização (RGB), posterização, e substituição da cor vermelha pelo branco.

**Classificação “NDBI-UI”:** Os resultados (Figura 5) indicam as áreas com importante exposição como estradas, escarpas e avanços da urbanização. A maioria das manchas vermelhas (Figura 5a) indicam as áreas com maior degradação do meio físico. Observa-se que o grande avanço da urbanização na porção sul do “PEB”. Entretanto, o polígono da porção centro-norte (Figura 5a), corresponde a exposição de rocha de uma área escarpada com elevado gradiente altimétrico. As manchas verdes com núcleo azulado (Figura 5b) indicam as regiões mais preservadas e que correspondem indiretamente às massas vegetais. As zonas com manchas predominante verdes possuem vegetação menos densa, enquanto que as os núcleos azuis contém as maiores densidades. Provavelmente as regiões azuis são áreas mais úmidas e/ou com corpos d’água. Observa-se no resultado do índice “UI” (Figura 5c), que as manchas azuis ocorrem também no extremo leste do parque, e as manchas verdes acompanham as fraturas e drenagens ocorrentes na área do “PEB”.



**Figura 5:** Imagens da classificação pelos índices “NDBI” e “UI”. (a) resultado “NDBI” por operação automática de bandas; (b) resultados “NDBI” com processamento por maximização (RGB) e posterização; e (c) resultado “UI” com processamento por maximização (RGB), posterização, e substituição da cor vermelha pelo branco.

**Geração do MDE-MDT:** Os resultados (Figura 6) indicam as características peculiares do relevo no “PEB” (Figura 6a). O gradiente altimétrico é elevado, sendo a cota de base (675 m) no extremo norte, e a cota de topo (1.486 m) na porção centro-leste. O maior gradiente topográfico ocorre da borda nordeste onde está encaixado o Rio Jequitinhonha que contém a cota mínima. O relevo do “PEB” está dividido simplificadamente em três faixas: (i) 600-900 m; (ii) 900-1.200 m; e (iii) 1.200-1.500 m. As regiões em coloração vermelha indicam as porções mais elevadas, em verde as porções intermediárias, e em azul as porções baixas (Figura 6a,b). O “MDE” e seus atributos permite compartimentar o “PEB” em 5 (cinco) setores altimétricos: (i) Norte (baixo, depressão local); (ii) Centro-Oeste (intermediário superior); (iii) Centro-Leste (elevado); (iv) Sudoeste (intermediário inferior); e (v) Sudeste (muito elevado).



**Figura 6:** Ilustrações resultantes da elaboração do “MDE” no recorte do “PEB”. O relevo do polígono está discriminado por cotas de 600 m até 1.500 m, e o exagero vertical é de “1.0”. (a) imagem em tons de cinza (*gray scale*) com a setorização (S1, S2, S3, S4, e S5) do parque; (b) imagem colorida (tábua de cores *spectral*), onde as curvas de nível estão com espaçamento de 100 m; e (c) imagem colorida com realce, ajuste de nitidez e aplicação de filtro (filme plástico).

#### 4. Conclusões

Os resultados desta investigação obtiveram relativo sucesso. A aplicação de ferramentas do “PDI” em dados do sensor OLI/Landsat-8 alcançaram os objetivos propostos. Os produtos gerados pelas operações aritméticas de bandas, e pelos índices de diferença normalizada e suas variantes conseguiram classificar as diferentes áreas do parque com propriedade. Os índices escolhidos conseguiram distinguir as áreas com taxa de água no sistema, densidade de biomassa (vegetação), e superfícies expostas. A integração dos dados com o “MDE” auxiliou a compartimentação da área do parque em cinco setores. A área central (altitude intermediária superior) possui vegetação mais abundante, enquanto que a região sul (altitude intermediária inferior) possui cobertura vegetal mais escassa. Este cenário é devido proximidade com a área urbana, e elevada interferência humana (*e.g.* turismo depreciativo, alta incidência de incêndios). A área mais apropriada ao geoturismo é a “S5” devido a quantidade de acesso e as exposições rochosas do Grupo Guinda. A aplicação das geotecnologias foi muito promissora, e irá amplificar o conhecimento das potencialidades geo- e ecoturísticas do parque. O “PEB” é um parque com excelente localização, possui fácil acesso, e apresenta peculiares características para o turismo de aventura.

#### Agradecimentos

À PROEXC (UFVJM), pelos recursos aplicados ao projeto de extensão (PIBEX, nº 023.2.028-2016), inclusive à bolsa concedida ao autor deste documento. Também às equipes de pesquisadores das entidades e unidades acadêmicas envolvidas, e das instituições gestoras do parque.

#### Referências Bibliográficas

- Amorim G.M. 2005. Construção de um sistema de informações georreferenciadas sobre geoturismo na Bacia hidrográfica do Rio Corumbataí (SP). Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, 145 p
- FB. Biodiversidade em Minas Gerais: um atlas para sua conservação. Fundação Biodiversitas (FD), Belo Horizonte, 92p. 1998.
- Huete A.R. A soil-adjusted vegetation index. *Remote Sensing of Environment*, 25:295-309. 1988.
- Kawamura, M.; Jayamana, S.; Tsujiko, Y. Relation between social and environmental conditions in Colombo Sri Lanka and the urban index estimated by satellite remote sensing data. *Int Arch Photogramm Remote Sens*, 31, 321–326, 1996.
- Mcfeters, S.K. The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features. *International Journal of Remote Sensing*, v. 17, n. 7, p. 1425-1432, 1996
- Rouse, J.W, Haas, R.H., Scheel, J.A., and Deering, D.W. 'Monitoring Vegetation Systems in the Great Plains with ERTS.' *Proceedings, 3rd Earth Resource Technology Satellite (ERTS) Symposium*, vol. 1, p. 48-62. 1974.
- Ruchkys U.A. Patrimônio geológico e geoconservação no Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais: potencial para a criação de um geoparque da UNESCO. Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Tese de Doutorado, 211p. 2007.
- Xu, H. Modification of normalised difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery. *International Journal of Remote Sensing*, v.27, p.3025-3033, 2006.
- Zha, Y., J. Gao, and S. Ni. Use of normalized difference built-up index in automatically mapping urban areas from TM imagery, *International Journal of Remote Sensing*, 24(3):583–594, 2003.