Cartografia e Sensoriamento Remoto

FUNDAMENTOS E USO

Volume

1

Editora Poisson

Editora Poisson

Cartografia e Sensoriamento Remoto Fundamentos e Uso - Volume 1

1ª Edição

Belo Horizonte
Poisson
2019

Editor Chefe: Dr. Darly Fernando Andrade

Conselho Editorial

Dr. Antônio Artur de Souza – Universidade Federal de Minas Gerais

Msc. Davilson Eduardo Andrade

Dra. Elizângela de Jesus Oliveira – Universidade Federal do Amazonas

Msc. Fabiane dos Santos

Dr. José Eduardo Ferreira Lopes – Universidade Federal de Uberlândia

Dr. Otaviano Francisco Neves – Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais

Dr. Luiz Cláudio de Lima – Universidade FUMEC

Dr. Nelson Ferreira Filho – Faculdades Kennedy

Msc. Valdiney Alves de Oliveira – Universidade Federal de Uberlândia

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

C328

**Cartografia e Sensoriamento Remoto -
Fundamentos e Uso - Volume 1/ Organização
Editora Poisson - Belo Horizonte - MG:
Poisson - 2019**

Formato: PDF

ISBN: 978-85-7042-198-2

DOI: 10.36229/978-85-7042-198-2

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

**1. Cartografia 2. Sensoriamento Remoto
3. Geografia I. Título**

CDD-621.3678

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos seus respectivos autores.

www.poisson.com.br

contato@poisson.com.br

SUMÁRIO

Capítulo 1: Uso de imagens do *Landsat 8* para determinação da correlação entre a temperatura de superfície e o índice de vegetação em Municípios da Grande Vitória 07

Caio Coutinho Cola, Wimeron Sanches Bazan, Bruno Barros Lopes

DOI: 10.36229/978-85-7042-198-2.CAP.01

Capítulo 2: Correção de imagens do *Landsat 8* para análise comparativa de influência no cálculo de NDVI e SAVI 14

Amanda Aparecida de Lima, Ana Clara de Barros, Felipe de Souza Nogueira Tagliarini, Zacarias Xavier de Barros

DOI: 10.36229/978-85-7042-198-2.CAP.02

Capítulo 3: Análise de exatidão posicional de Ortomosaicos gerados a partir de dados termais a bordo de VANT 21

Hermann Johann Heinrich Kux, Luana Thayza de Oliveira, Fabiano da Cruz Nogueira

DOI: 10.36229/978-85-7042-198-2.CAP.03

Capítulo 4: Uso de altimetria de radar na geração de dados fluviométricos de vazão 29

Vitor do Sacramento, Edileuza de Melo Nogueira

DOI: 10.36229/978-85-7042-198-2.CAP.04

Capítulo 5: Método de agrupamento por arquipélagos para definição de domínio e jurisdição de ilhas sedimentares: Uma proposta para os canais lagunares do Litoral Sul do Estado de São Paulo..... 35

Vilmar Antonio Rodrigues, Domingos Garrone Neto, Eduardo Antonio Sanches, Gilberto Cugler,

DOI: 10.36229/978-85-7042-198-2.CAP.05

Capítulo 6: Detecção e caracterização de alvos na imagem Radarsat-1 da superfície do Mar no Golfo do México utilizando diagramas de espaços de estados defasados 42

Gil Márcio Avelino Silva, Fernando Pellon de Miranda, Jorge de Albuquerque Vieira, Ana Claudia da Rocha

DOI: 10.36229/978-85-7042-198-2.CAP.06

Capítulo 7: Favorabilidade para disposição de resíduos de rochas ornamentais utilizando análise multicritério e lógica *fuzzy*: Um estudo de caso em Cachoeiro de Itapemirim-ES 48

Julio Almeida Moreira, Luiz Felipe Lempê, Marcos Moulim da Paschoa, Fabricia Benda de Oliveira

DOI: 10.36229/978-85-7042-198-2.CAP.07

SUMÁRIO

Capítulo 8: Geotecnologias aplicadas à delimitação de corredores ecológicos entre unidades de conservação de proteção integral no Estado de Rondônia 54

Aricson Garcia Lopes, Nicoly Dal Santo Svierzoski, Marcos Leandro Nunes, Josiane de Brito Gomes

DOI: 10.36229/978-85-7042-198-2.CAP.08

Capítulo 9: Análise espacial e temporal de focos de calor no projeto de desenvolvimento sustentável Nova Baixa Verde: Indicador do efeito da Ação Civil Pública do “Fogo Zero” 62

Karla da Silva Rocha, Abib Alexandre de Araújo, Fábio Ferreira da Silva, Laura de Souza Moraes Dueti

DOI: 10.36229/978-85-7042-198-2.CAP.09

Capítulo 10: Caracterização do regime de ventos e potencial eólico com base em torre anemométrica da rede SONDA em Petrolina..... 69

Wellington Winícius Ferreira Fonseca, Francisco José Lopes de Lima, Fernando Ramos Martins

DOI: 10.36229/978-85-7042-198-2.CAP.10

Capítulo 11: Sensoriamento remoto: Fundamentos e uso 81

Bianca Schlickmann Felisbino, Yader Guerrero, Breno Barra, Helena Nierwinski, Marcelo Heidemann

DOI: 10.36229/978-85-7042-198-2.CAP.11

Capítulo 12: Utilização de operadores booleanos na análise temporo-espacial do uso da terra e cobertura vegetal na Rodovia BR-174, trecho de Manaus a Presidente Figueiredo-AM..... 86

Bruno Sarkis Vidal, João Cândido André da Silva Neto

DOI: 10.36229/978-85-7042-198-2.CAP.12

Capítulo 13: Sistema de varredura a laser terrestre (SVLT): Um estado da arte e possibilidades no meio urbano 94

Adriano Antonio Tronco, Bianca Ferraz, Joandson Fernandes Campos, Roney Berti de Oliveira, Marcelo Luiz Chicati

DOI: 10.36229/978-85-7042-198-2.CAP.13

Capítulo 14: Sistema de informações geográficas aplicado à Gestão Pública: Estudo de caso do Município de Barbalha – CE..... 101

Ana Raquel de Macêdo Leite, Marcos de Brito Gonçalves, Madjany Modesto Pereira, Fabiana Teles de Souza, Helenice Ferreira Filgueiras, Sávio de Brito Fontenele, Patrícia Ramos de Melo, Alane Soares Gomes **DOI:** 10.36229/978-85-7042-198-2.CAP.14

SUMÁRIO

Capítulo 15: Análise do padrão de edificações do Município de Barão de Cocais – MG empregando o método de agrupamento por K-Médias 108

Lucas José Ferreira Viana, Youlia Kamei Saito, Iann Gomes Rodrigues da Fonseca, Júlio César de Oliveira

DOI: 10.36229/978-85-7042-198-2.CAP.15

Capítulo 16: Mapeamento da inundação de abril de 2010 para análise das áreas de risco na Cidade de Santo Amaro, Bahia 123

Luiz Felipe Moura Bastos Borges, Andrea Sousa Fontes, Dária Maria Cardoso Nascimento

DOI: 10.36229/978-85-7042-198-2.CAP.16

Capítulo 17: Identificação de áreas de mineração no Leste do Maranhão a partir de geotecnologias..... 131

Fabricio Sousa da Silva, Adauto Luís Moraes Pestana, José Renato Silva Foicinha

DOI: 10.36229/978-85-7042-198-2.CAP.17

Capítulo 18: Utilização de serviço de mapeamento online para apoio da reambulação no âmbito do Projeto Mapeamento Interesse da Força..... 141

Pierre Moura, Gustavo Fluminense Carneiro, Isabel Marques da Cruz Costa, João Felipe Aguiar Guimarães

DOI: 10.36229/978-85-7042-198-2.CAP.18

Capítulo 19: Questões sobre a normatização de produtos cartográficos no Brasil visando o Cadastro Técnico Multifinalitário Urbano 146

Mariana de Sá Rodrigues da Silva, Osmar Leon Silivi Junior, Carlos Loch, Ricardo Augusto Eger

DOI: 10.36229/978-85-7042-198-2.CAP.19

Autores:..... 153

Capítulo 1

Uso de imagens do landsat 8 para determinação da correlação entre a temperatura de superfície e o índice de vegetação em Municípios da Grande Vitória

Caio Coutinho Cola

Wimerson Sanches Bazan

Bruno Barros Lopes

Resumo: O presente trabalho apresenta os resultados de um estudo feito para avaliar correlação existente entre a Temperatura da Superfície Terrestre (TST) e a presença de cobertura vegetal, identificada por meio do uso do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), do inglês Normalized Difference Vegetation Index. Para tanto, foram utilizadas as imagens do satélite LANDSAT 8 (L8), mais especificamente, as bandas espectrais 4, 5 e 10, cujo imageamento data do dia 27/07/2016. Estas bandas representam, respectivamente, as bandas do vermelho (0,64 – 0,67 μm), infravermelho próximo (0,85 – 0,88 μm) e infravermelho termal (10,60 – 11,19 μm). A área de estudo compreendeu os municípios de Vitória, Vila Velha e Serra, do estado do Espírito Santo, com um buffer de 10 km em torno dos seus limites políticos, incluindo, portanto, parte dos municípios vizinhos, além de uma faixa marítima. No que tange a qualidade de vida da população, os fatores temperatura da superfície terrestre e presença de vegetação devem ser considerados conjuntamente, uma vez que o conhecimento sobre a possível correlação entre estas duas variáveis se torna preponderante para tomada de decisões visando o bem-estar da população. A análise do gráfico de dispersão entre os valores amostrais de TST e NDVI mostrou que o comportamento da linha de tendência foi melhor representado por um polinômio de grau 3, cujo coeficiente de determinação R^2 foi de 0,73, indicando uma alta correlação entre os valores de TST e NDVI. No que diz respeito aos valores associados à presença de vegetação de grande porte (NDVI maior que 0,5), caracterizadas por áreas de vegetação nativa preservada, como matas ciliares, parques e reservas naturais, verificou-se que a TST decresce na medida em que o NDVI aumenta, representando uma redução de temperatura de aproximadamente 4°C.

Palavras chave: Temperatura de superfície terrestre, índice de vegetação, Landsat 8, banda termal, sensoriamento remoto.

1- INTRODUÇÃO

O Sensoriamento Remoto é uma Ciência que possibilita a aquisição de informações acerca da superfície terrestre sem a necessidade de contato físico com os objetos e materiais que a compõe, propiciando o monitoramento, medição e análise de importantes características biofísicas e atividades humanas na Terra (ELACHI, 1987; JENSEN, 2009). Associada ao uso de ferramentas de Processamento Digital de Imagens (PDI) e Sistemas de Informações Geográficas (SIG), esta Ciência permite, por exemplo, que seja estudada a relação entre a temperatura de superfície e a presença de vegetação em qualquer lugar da Terra, desde que haja disponibilidade de imageamento multiespectral em bandas específicas para tal finalidade.

A TST é abordada pelos estudos de Ayoade (2011), tratando-se de um indicador físico que se refere ao fluxo de calor resultante do balanço entre a radiação que chega e que sai de um determinado objeto, ou simplesmente a temperatura que é sentida pelas mãos quando tocamos uma superfície (RAJESHWARI, A.; MANI, N. D., 2014), podendo ser calculada em graus Celsius a partir das bandas 10 e 11 oriundas do sensor TIRS (Thermal Infrared Sensor) acoplado ao Landsat 8 (L8).

Por sua vez, o NDVI é um índice que normaliza a diferença da vegetação e escalona seus níveis dentro do intervalo de -1 a +1, podendo ser obtido a partir das bandas 4 e 5, adquiridas pelo sensor OLI (Operational Land Imager) do L8. Os valores mais altos deste índice apontam maior presença de vegetação (ROUSE et al., 1974).

No que tange a qualidade de vida da população, os fatores TST e a presença de vegetação devem ser considerados conjuntamente, uma vez que o conhecimento sobre a possível relação entre estas duas variáveis se torna preponderante para tomada de decisões visando o bem-estar dos cidadãos.

2- ÁREA DE ESTUDO

A área de interesse foi determinada pelos municípios de Vitória, Vila Velha e Serra, com um buffer de 10 km partindo de seus limites municipais. Estes três municípios, que integram a maior parte da área estudada, somam cerca de 854 mil km² (IBGE, 2016), compondo parte da Região Metropolitana da Grande Vitória. Com o buffer, incluiu-se partes de municípios vizinhos e uma faixa marinha.

3- MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia proposta para atendimento do escopo deste trabalho compreendeu a produção de mapas de TST e NDVI da área de estudo, assim como uma grade de pontos os quais foram visualmente confrontados e apoiados pela análise gráfica dos resultados de uma regressão não-linear, acompanhada do cálculo do coeficiente de determinação (R^2) entre as variáveis.

As equações para cálculo da TST e do NDVI, a partir das bandas do L8, foram extraídas de Zanter (2016), adaptadas e fornecidas nas seções 3.2 e 3.3. Para a produção dos mapas em formato raster e interpolação dos dados de TST e NDVI para a grade de pontos amostrais, bem como todo o ambiente de visualização dos dados, provieram do software livre Qgis 2.18. Já a análise gráfica dos resultados da regressão e o cálculo do R^2 entre os dados foram feitos a partir da planilha do Microsoft Excel 2010.

3.1- DADOS UTILIZADOS

Para a aquisição dos dados de TST e NDVI utilizou-se uma imagem do satélite L8 de órbita número 215 e ponto 74, cujo imageamento data o dia 27/07/2016 e horário central às 9:38 (horário de Brasília).

Esse programa espacial é gerido pela USGS em parceria com a NASA. O satélite L8 é composto por dois sistemas sensores o TIRS e o OLI, conforme mencionado anteriormente. Com relação às bandas utilizadas neste trabalho, a banda 10 é imageada pelo sensor TIRS e foi utilizada para o cálculo da TST. Para cálculo do NDVI, utilizou-se das bandas 4 e 5, imageadas pelo sensor OLI.

Segundo Zanter (2016), um problema de luz dispersa adentrando o caminho ótico do sensor afeta a performance da banda 11 o que a torna ligeiramente fora de especificação, inviabilizando a utilização conjunta dessas duas bandas. Por este motivo, considerou-se somente o uso da banda 10 para determinação da TST.

Originalmente, as imagens do L8 são disponibilizadas no sistema de coordenadas UTM, datum WGS 84, contudo, projetadas para o hemisfério norte mesmo para o imageamento feito no hemisfério sul. Logo, no caso particular deste trabalho as imagens foram reprojetadas para o hemisfério sul, estando referenciadas, portanto, ao fuso 24s.

Para apoiar a confrontação visual na etapa de análise dos resultados, utilizou-se de um ortomosaico produzido por aerofotogrametria digital na área de estudo, com resolução espacial de 25 cm.

3.2- TEMPERATURA DE SUPERFÍCIE DA TERRA (TST)

Os cálculos para confecção do mapa de TST a partir da banda 10 se iniciam pela transformação dos valores digitais em radiância espectral (L_λ):

$$L_\lambda = M_L \times Q_{cal} + A_L \quad (1)$$

onde,

L_λ = Radiância espectral

M_L = Fator escalar multiplicativo de radiância da banda 10

Q_{cal} = Valor de pixel em número digital

A_L = Fator escalar aditivo de radiância para a banda 10

Na sequência, procede-se com o cálculo da temperatura em graus Celsius ($T^\circ C$):

$$T^\circ C = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{L_\lambda} + 1\right)} - 273,15 \quad (2)$$

onde,

$T^\circ C$ – Temperatura em $^\circ C$

K_1 e K_2 – Constantes de conversão térmica para a banda 10

L_λ = Radiância espectral

$\ln$ – logaritmo neperiano

A Figura 1 apresenta o mapa de TST, gerado a partir do software Qgis 2.18.

Fig. 1 – Mapa de TST gerado para a área de estudo.

3.3- ÍNDICE DE VEGETAÇÃO POR DIFERENÇA NORMALIZADA (NDVI)

Segundo Jensen (2009), existe uma desvantagem que deve ser considerada no cálculo de NDVI. Por se tratar de uma razão (logo, a relação é não-linear) os resultados podem ser influenciados pela presença de ruídos. A fim de se minimizar este inconveniente, o cálculo de NDVI foi realizado com base nas imagens convertidas em reflectância no topo da atmosfera (ReflectTA), conforme segue:

$$Reflect_{TA} = \frac{M_p \times Q_{cal} \times A_p}{\sin(\theta)} \quad (3)$$

Onde

Reflect_{TA} – Reflectância no topo da atmosfera;

M_p – Fator multiplicativo da banda

Q_{cal} – Valor do pixel em número digital

A_p – Fator aditivo da banda

θ - ângulo de elevação solar

O cálculo do NDVI é dado pela relação abaixo:

$$NDVI = \frac{B5_{ReflectTA} - B4_{ReflectTA}}{B5_{ReflectTA} + B4_{ReflectTA}} \quad (4)$$

Onde

B4_{reflectTA} – Banda 4 convertida em reflectância no topo da atmosfera;

B5_{reflectTA} – Banda 5 convertida em reflectância no topo da atmosfera.

A Figura 2 apresenta o mapa de NDVI.

Fig. 2 – Mapa de NDVI gerado para a área de estudo.

4- ANÁLISES E DISCUSSÕES

As seções 4.1 e 4.2 fornecem os insumos utilizados nas análises e discussões dos resultados alcançados por este estudo. Em um primeiro momento, avaliou-se a correlação entre os dados de NDVI e TST com base em um gráfico de dispersão a partir de grade de pontos amostrais espaçados a cada 500 metros. Tendo em vista que a resolução espacial da banda 10 é de 100 metros, em termos amostrais, considerou-se suficientemente representativo interpolar valores de TST e NDVI a cada 500 metros, ou seja, uma amostra a cada 5 pixels.

Num segundo momento, com base na amostra de pontos em formato shapefile e sua tabela de atributos contendo campos de NDVI e TST, adotou-se o software Qgis 2.18 para realização de consultas por atributos e espacialização das amostras em função de intervalos de TST e NDVI, de modo que as amostras selecionadas foram sobrepostas ao ortomosaico aerofotogramétrico para constatação do tipo de alvo representado por cada conjunto de amostras.

4.1- GRÁFICO DE DISPERSÃO E REGRESSÃO NÃO-LINEAR

Conforme mencionado, cada ponto da amostra resultou em um registro na tabela de atributos do shapefile e os valores de NDVI e TST compuseram dois campos nesta mesma tabela, a qual foi exportada e utilizada para plotagem do gráfico de dispersão dentro do ambiente do Microsoft Excel 2010 (Figura 3).

Fig. 3 – Gráfico de dispersão de pontos dos valores de TST em função do NDVI.

Pelo gráfico da Figura 3, observa-se que a dispersão da amostra apresenta um comportamento não-linear. Por este motivo, considerou-se o uso de uma regressão não-linear para ajustamento da linha de tendência ao conjunto de pontos amostrais. O polinômio de ordem 3 foi o modelo matemático que melhor representou o comportamento não-linear da dispersão.

No gráfico podem ser observados alguns outliers, valores que se afastam da linha de regressão não-linear. Contudo, frente ao número total de observações compondo a grade de pontos, 11.255, a quantidade de outliers não é suficiente para afetar o comportamento do polinômio, e consequentemente a sua análise.

Adicionalmente, para medir a correlação existente entre o NDVI e a TST, utilizou-se do coeficiente de determinação (R^2). O R^2 é dado pela divisão entre a variação explicada e a variação total, ou seja, ele determina qual a porcentagem de Y (neste caso a TST) é explicada por X (neste caso o NDVI). Se a variação total dos dados for não-explicada o quociente é igual a 0, enquanto que, se a variação total for explicada o quociente é igual a 1 (SPIEGEL, 1994).

Em outras palavras, com base no exposto, pode-se dizer que o quociente R^2 igual a 0,73 (Figura 3) indica que na área de estudo, 73% da TST é explicada pelo NDVI.

4.2- ESPACIALIZAÇÃO DAS AMOSTRAS EM FUNÇÃO DE INTERVALOS DE NDVI E TST

A Tabela 1 apresenta os cinco conjuntos de amostras selecionadas em função dos intervalos de NDVI e TST, bem como a quantidade de amostras com valores dentro destes intervalos, além do tipo de alvo representado por cada conjunto. Estes intervalos foram definidos aproximadamente com base nos pontos de inflexão e deflexão da linha de tendência.

Tabela 1 – Quantidade de amostras e tipo de alvo em função de intervalos de NDVI e TST.

Conj.	NDVI	TST	Qtd. Amostras	Tipo de Alvo
1 (a)	< -0,29	20º a 25º	3162	Canal da baía de Vitória Mar
2 (b)	-0,3 a -0,01	20º a 25º	53	Águas rasas
3 (c)	0 a 0,29	20º a 31º	833	Mancha urbana Solo exposto Alagados
4 (d)	0,3 a 0,49	21º a 32º	2350	Pastagem Vegetação de pequeno porte
5 (e)	> = 0,05	20º a 31º	4857	Vegetação de médio/ grande porte Pastagem Mangue

Para ilustrar os resultados da consulta por atributos feitos com base nas informações da Tabela 1, e consequentemente a constatação do tipo de alvo representados por cada um dos 5 conjuntos selecionados, apresenta-se as figuras a seguir:

Fig. 4– Tipo de alvo representado pelos conjuntos: (a), (b), (c), (d) e (e).

Os dois primeiros conjuntos possuem valores de NDVI negativos e, portanto, constituem alvos em corpos d'água, neste caso o canal da baía de Vitória e o mar (Fig.4a). Contudo, ressalta-se que o segundo conjunto amostral representa corpos d'água rasos, mais especificamente às margens do canal da baía de Vitória (Fig.4b).

Sobre os valores positivos de NDVI (Tabela 1), o conjunto 3 representa áreas de solo exposto, áreas alagadas e predominantemente áreas urbanas (Fig.4c). No que diz respeito ao conjunto 4, quando os

valores de NDVI passam a representar vegetação, os alvos destacados são áreas com vegetação de pequeno porte e vegetação em áreas urbanas limítrofes (Fig.4d), constituindo uma transição entre os conjuntos 3 e 5. Já o último conjunto, portanto com os maiores valores de NDVI, evidencia algumas pequenas áreas de pastagens e majoritariamente a vegetação de médio e grande porte (Fig.4e).

5. CONCLUSÃO

Com vistas ao objetivo principal deste trabalho que é o de verificar a correlação existente entre a temperatura de superfície e a presença de vegetação ($NDVI > 0,5$), pôde-se concluir, com base nas análises feitas nas seções 4.1 e 4.2, que valores de NDVI maiores do que 0,5 estavam associados majoritariamente à vegetação de médio e grande porte, representando principalmente segmentos de vegetação nativa preservada, matas ciliares, parques e reservas naturais.

Com base no gráfico de dispersão (Figura 3), a linha de tendência relativa a esse intervalo mostrou que a TST decresce na medida em que o NDVI aumenta representando uma redução de temperatura de aproximadamente 4°C, o que impacta diretamente na qualidade de vida e no bem-estar dos cidadãos na área de estudo.

REFERÊNCIAS

- [1] AYOADE, J. O., 2001 Introdução a climatologia para os trópicos, Bertrand Brasil, Rio de Janeiro, 332 p.
- [2] ELACHI, C. 1987, Introduction to the Physics and Techniques of Remote Sensing, New York, Wiley.
- [3] Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. Cidades. Acesso em: 18 jul. 2017. Disponível em < <https://cidades.ibge.gov.br>>.
- [4] JENSEN, J. R. 2009, Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos naturais. São José dos Campos, SP: Parêntese.
- [5] NOVO, E. M. L. de M., 2011. Sensoriamento Remoto Princípios e Aplicações, Blucher, São Paulo, 387 páginas.
- [6] RAJESHWARI, A.; MANI, N. D., 2014, Estimation of land surface temperature of Dindigul district using Landsat 8 data. International Journal of Research in Engineering and Technology, v. 3, n. 5, p. 122-126.
- [7] ROUSE JR, John W., Monitoring the vernal advancement and retrogradation (green wave effect) of natural vegetation. 1974.
- [8] SPIEGEL, M. R., 1994, Estatística, Makron Books, São Paulo, 643 páginas.
- [9] ZANTER, K., 2016, Landsat 8 (l8) data users handbook. Sioux Falls, South Dakota, 98 p.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Coordenadoria de Geomática do Instituto Federal do Espírito Santo (Ifes), campus Vitória.

Capítulo 2

Correção de imagens do Landsat 8 para análise comparativa de influência no cálculo de NDVI e SAVI

Amanda Aparecida de Lima

Ana Clara de Barros

Felipe de Souza Nogueira Tagliarini

Zacarias Xavier de Barros

Resumo: A correção atmosférica é um passo fundamental para muitos trabalhos que utilizam sensoriamento remoto. Esta pesquisa tem como objetivo analisar os resultados gerados pelo cálculo do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) e o Índice de Vegetação Ajustado ao Solo (SAVI) gerado pela correção das bandas 4 e 5 do Landsat 8, e também na ausência da correção atmosférica para determinar se a aplicabilidade deste procedimento é cabível ao cálculo do SAVI, cujo índice já possui um coeficiente de ajuste de brilho para correção da imagem. Os resultados, de acordo com as classes de uso da terra no cálculo do NDVI, geram uma diferença significativa para as classes de uso de Floresta Nativa e Reflorestamento com um valor de 0,16 para ambos. Por outro lado, o SAVI também foi obtido com a diferença mais significativa na classe de Floresta Nativa com o valor 0,11, mas mostrando valores subestimados na presença de correção atmosférica com a ajuda visual do mapa, foi possível concluir que o SAVI não apresenta resultados significativos ao realizar a correção atmosférica e, ao compará-lo com o NDVI, percebe-se que não possui uma resposta tão positiva quanto à sua aplicabilidade nos estudos de vegetação.

Palavras-chave: Processamento de imagem, sensoriamento remoto, índice de vegetação.

1. INTRODUÇÃO

A atmosfera absorve ou espalha a radiação eletromagnética de forma distinta em desempenho dos seus comprimentos de onda. As partículas presentes na atmosfera, como aerossóis, poeiras, moléculas de vários gases com diferentes tamanhos intervêm na radiação que chega aos alvos terrestres ou ao sensor (Zullo Jr., 1994). Portanto, a energia eletromagnética ao alcançar a atmosfera é por esta espalhada, e parte desta energia expandida retorna para o espaço, vindo a contaminar a energia refletida ou emitida pela superfície e que é detectada pelos sensores orbitais (Ponzoni et al., 2010). Os efeitos diretos por conta da absorção e do espalhamento atmosférico causam a alteração do brilho da cena e a diminuição de contraste entre os alvos (Antunes et al., 2012). Sendo assim, é essencial a execução da correção atmosférica nas imagens de satélite. (Soares et al., 2015).

Objetos da superfície terrestre refletem, absorvem e transmitem radiação eletromagnética em grandezas que variam com o comprimento de onda, de acordo com as suas características bio-físico-químicas. Devido a essas variações, é provável fazer distinção dos objetos da superfície terrestre nas imagens de sensores remotos (Antunes et al., 2012).

A correção atmosférica é muito utilizada no meio acadêmico, e diversos trabalhos foram preparados comparando metodologias gerando produtos por meio dessas correções em um período com um ou mais alvos (Sanches et al., 2011; Antunes et al., 2012; Soares et al., 2015), uma importante etapa para muitas aplicações do sensoriamento remoto (Eduardo e Silva, 2013).

Diante do exposto, o presente trabalho objetivou analisar comparativamente a diferença resultante na imagem do Landsat-8 por meio do cálculo dos índices de vegetação NDVI (Índice de vegetação da diferença normalizada), que permite averiguar a dinâmica da vegetação, e com a aplicabilidade, ou não, da correção atmosférica também no cálculo do SAVI (Índice de vegetação ajustado ao solo), visto que o mesmo possui um coeficiente de ajuste do brilho do solo resultante na imagem.

2. METODOLOGIA DE TRABALHO

2.1. ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo, Fazendas Lageado e Edgárdia, se encontram no município de Botucatu entre as coordenadas geográficas 22°47'32" a 22°51'52" de latitude S, e 48°26'15" a 48°22'40" de longitude W, conforme mostra a Figura 1. A área das fazendas é formada de forma contínua, na qual a Universidade do Estado de São Paulo "Júlio Mesquita Filho" possui suas instalações.

Segundo a classificação de Köppen, o clima é caracterizado como Cfa, clima subtropical de verão quente, com temperatura média anual de 20,3°C e precipitação média anual de 1.428 mm (Cunha e Martins, 2009).

Segundo Jorge e Sartori (2002), as fisionomias florestais ocorrentes na área são a Floresta Estacional Semidecidual e o Cerradão que, ao associar as variações da vegetação em relação à declividade, apresenta a Floresta Estacional em relevo ondulado a escarpado, e ocorrência de regeneração natural frente à Cuesta, o cerradão encontra-se em relevo suave ondulado.

Figura 1. Localização da área de estudo no Município de Botucatu, Estado de São Paulo.

2.2. AQUISIÇÃO DE DADOS E CORREÇÃO ATMOSFÉRICA

Foi utilizado imagens do Landsat 8, órbita/ponto 220/76, datadas de 30 de julho do ano de 2016. Para a correção das imagens foi utilizado os dados de conversão extraídos diretamente do site da USGS (*United States Geological Survey*) com as informações específicas do satélite Landsat 8.

A partir das informações inseridas no MTL (*Metadata File*) realizou a conversão do número digital (DN) para valores de reflectância, que para o cálculo dos índices propostos são utilizadas as bandas 4 e 5, as quais correspondem ao *NIR* e ao *Red*.

2.2.1 REFLECTÂNCIA NO TOPO DA ATMOSFERA

$$\rho\lambda' = M_p Q_{cal} + A_p \quad (1)$$

Onde:

$\rho\lambda'$ = Reflectância no topo da atmosfera

M_p = parâmetro: REFLECTANCE_MULTIBAND_X do MTL

A_p = parâmetro: REFLECTANCE_ADD_BAND_X do MTL

Q_{cal} = Número Digital (DN)

2.2.2. REFLECTÂNCIA NO TOPO DA ATMOSFERA COM A CORREÇÃO PARA O ÂNGULO SOLAR

$$\rho\lambda = \frac{\rho\lambda'}{\sin(\theta_{SE})} \quad (2)$$

Onde:

$\rho\lambda$ = Reflectância no topo da atmosfera com correção da angulação solar

$\rho\lambda'$ = Reflectância no topo da atmosfera

θ_{SE} = Ângulo de elevação solar

2.3. CÁLCULO DE NDVI E SAVI

Para a avaliação dos efeitos da influência da correção atmosfera nas bandas do *NIR* e *Red* foi efetuado o cálculo do NDVI e SAVI com fins de comparação dos efeitos de influência da correção atmosférica. Para obter o NDVI segue a Equação 3:

$$NDVI = \frac{NIR - Red}{NIR + Red} \quad (3)$$

Onde:

NIR = Reflectância na banda do infravermelho próximo;
Red = Reflectância na banda do vermelho.

Todo o processo de correção foi desenvolvido diretamente na calculadora raster do Quantum GIS 2.8.3 (QGIS) a partir da leitura dos metadados encontrados em cada imagem. As duas fórmulas apresentadas para o cálculo foram realizadas em uma só operação. O índice apresenta variações entre -1.0 e 1.0, no qual os valores negativos correspondem a corpos d'água, e os mais próximos de 1.0 correspondem a vegetação com maior densidade de biomassa e vigor de desenvolvimento.

Já o SAVI é uma adaptação do NDVI e possui a característica de minimizar os resultados do solo de fundo no sinal da vegetação ao incorporar uma constante de ajuste de solo, no caso, essa constante é o fator *L*, encontrado na equação do NDVI. No estudo foi utilizado o fator *L* com o valor de 0,5 (densidades médias de vegetação) pela variedade de classes de usos presentes. Segue a Equação 4:

$$SAVI = \left[\frac{NIR - Red}{NIR + Red + L} \right] \cdot 1 + L \quad (4)$$

Onde:

NIR = Reflectância na banda do infravermelho próximo;
Red = Reflectância na banda do vermelho; e
L = o fator de ajuste de brilho do solo na imagem.

2.4. MAPA DE USO E COBERTURA DA TERRA E CRUZAMENTO DE RESULTADOS

A caracterização do uso e ocupação da terra tem grande relevância a partir do momento em que os componentes alvos passam a ser o que se encontra na cobertura do solo. Por sua vez, os índices de vegetação avaliados no presente trabalho variam de acordo com a presença, densidade e vigor da vegetação (Ponzoni et al. 2010). Junto a isso, o mapa de uso faz-se possível realizar a correlação entre os resultados obtidos no cálculo dos índices de vegetação com suas devidas classes de uso da terra.

Para quantificar os resultados obtidos de acordo com cada classe de uso fez-se a vetorização por pontos dos rasters resultantes do NDVI e SAVI no QGIS, de ambos os processos, e foi realizado o cruzamento desses pontos com as presentes classes de uso Cultivo de arroz (áreas alagadas), Culturas anuais, Edificações, Erosão, Mata Nativa, Pastagem, Quintais, Reflorestamento, Várzea e Urbanização no software ArcGIS 10.1 extraindo as informações por pontos.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Analisando o mapa da Figura 2 que representa o resultado do cálculo do índice de vegetação NDVI com e sem correção atmosférica das bandas. As cores são padrão para a apresentação dos dois índices para fins de melhor comparação dos resultados.

Figura 2. NDVI (a) Mapa de NDVI com correção atmosférica; NDVI (b) Mapa de NDVI sem correção atmosférica.

Nos Mapas apresentados na Figura 2, pode-se constatar que no NDVI (a) a visualização das áreas classificadas na cor verde escuro que representa a vegetação mais densa apresenta-se mais nítida que no mapa NDVI (b). Isso ocorre em decorrência da interferência do espalhamento causado por aerossóis, diversas partículas de poeiras e moléculas de vários gases presentes na atmosfera, estes são responsáveis por causarem diminuição do contraste e alteração no brilho da imagem captada.

Tabela 1. Valores da média de NDVI com e sem correção atmosférica para cada uso da terra.

Uso	NDVI (a)	NDVI (b)
Cultivo de arroz	0.40	0.30
Culturas anuais	0.41	0.33
Edificações	0.44	0.37
Erosão	0.46	0.31
Mata nativa	0.67	0.51
Pastagem	0.50	0.40
Quintais	0.31	0.22
Reflorestamento	0.57	0.41
Várzea	0.55	0.42
Urbanização	0.48	0.37

Onde: (a) indica presença de correção atmosférica e (b) a ausência da correção.

A Tabela 1 apresenta o resultado do cruzamento dos índices de vegetação com seus devidos usos da terra. Foi possível visualizar que os valores de NDVI são maiores, em sua média, na coluna em que indica a presença do processo de correção atmosférica. Em relação ao que se indica na Tabela 1 notou-se que houve uma grande diferença entre as estimativas com relação a correção atmosférica comparados aos que não tiveram a correção.

E os valores que obtiveram maiores destaques foram a Mata Nativa e o Reflorestamento, com diferença de 0.16. O mesmo pode ser correlacionado na Figura 2, na qual é visto um aumento do contraste da imagem nas citadas classes de uso.

Na Figura 3, é representado o cálculo do índice de vegetação SAVI, também com a presença e ausência da correção atmosférica das bandas relacionadas ao estudo.

Figura 3. SAVI (a) Mapa de SAVI com correção atmosférica; SAVI (b) Mapa de SAVI sem correção atmosférica.

Analisando o mapa em questão (Figura 3), observou-se que o SAVI visualmente apresenta diferenças tênues entre um resultado e outro, mas ainda é possível perceber um aumento no contraste da imagem e uma sutil correção do brilho. É importante acrescentar a presença da correção da imagem por meio do próprio cálculo do índice, no qual possui o coeficiente (L) de ajuste do brilho do solo.

A principal questão levantada é a utilização da correção atmosférica para o SAVI, mesmo com a presença do L. Para tal questionamento apresenta-se a Tabela 2, que obtém os resultados provenientes do cruzamento das classes de uso com os valores do SAVI.

Tabela 2. Valores da média de SAVI com e sem correção atmosférica para cada uso da terra.

Uso	SAVI (a)	SAVI (b)
Cultivo de arroz	0.23	0.30
Culturas anuais	0.26	0.33
Edificações	0.29	0.37
Erosão	0.24	0.31
Mata nativa	0.40	0.51
Pastagem	0.32	0.40
Quintais	0.17	0.22
Reflorestamento	0.32	0.41
Várzea	0.33	0.42
Urbanização	0.29	0.37

Obs: Onde: (a) indica presença de correção atmosférica e (b) a ausência da correção.

De acordo com a Tabela 2, o SAVI apresentou valores médios maiores na coluna que corresponde ao cálculo do índice sem a presença de correção atmosférica, também, dando destaque para a Mata Nativa

com diferença de 0.11, ou seja, apresenta a subestimação dos valores na presença da correção, resultado oposto ao que se encontra para o NDVI.

4. CONCLUSÕES

Verificou-se que com a resposta apresentada nos mapas do NDVI houve um resultado significativo, pois possibilitou constatar expressivas diferenças na presença da correção atmosférica.

Em relação ao SAVI não se pode obter resultados significativos em relação da ocorrência ou não da correção, mas diante ao exposto na Tabela 2, observou-se uma pequena diferença de valores entre os usos, mas ainda assim aparentes.

Ao comparar a utilização do cálculo do NDVI ou SAVI para o estudo de vegetação o mapa de NDVI se mostrou mais eficaz, uma vez que a resposta espectral determinada pelo índice apresentou-se mais fiel às suas determinadas classes de uso da terra.

Portanto, pode-se concluir que a correção atmosférica aplicada para o cálculo do SAVI não trouxe resultados de extrema significância para seu produto final.

REFERÊNCIA

- [1] Antunes, M. A. H.; Debiasi, P.; Costa, A. R. da & Gleriani, J. M. (2012). Correção Atmosférica de Imagens Alos/Avnir-2 Utilizando o Modelo 6S. Sociedade Brasileira de Cartografia, Geodésia, Fotogrametria e Sensoriamento Remoto ISSN: 1808-0936. Revista Brasileira de Cartografia. No 64/4: 531-539. 2012.
- [2] Cunha, A. R.; Martins, D. Classificação Climática para os Municípios de Botucatu e
- [3] São Manuel, SP. Irriga, Botucatu, v. 14, n. 1, p.1-11, 2009.
- [4] Jorge, L. A. B.; Sartori, M. S. Uso do solo e análise temporal da ocorrência de vegetação
- [5] natural na Fazenda Experimental Edgárdia, em Botucatu-SP. Revista Árvore, n. 26, v. 5, p.
- [6] 582-592, 2002
- [7] Zullo Junior, J. Correção atmosférica de imagens de satélite e aplicações.1994. 189 p. Tese. Universidade Estadual de Campinas, Campinas. 1994.
- [8] Ponzoni, F. J. & Shimabukuro, Y. E. Sensoriamento Remoto no Estudo da Vegetação. São José dos Campos, SP: Ed. Parêntese, 2010, 136p.
- [9] Sanches, I.D.; Andrade R.G.; Quartaroli, C.F.; Rodrigues C.A.G. Análise comparativa de três métodos de correção atmosférica de imagens Landsat 5 – TM para obtenção de reflectância de superfície e Ndvi. In: Simpósio Brasileiro De Sensoriamento Remoto, 15., 2011, Curitiba. Anais... São José dos Campos: INPE, 2011. p. 7564-7571.
- [10] Soares, F.S.; Almeida, R.K.; Rubim, I.B.; Barros, R.S.; Cruz, C.B.M.; Mello, G.V.; Baptista Neto, J.A. Análise comparativa da correção atmosférica de imagem do Landsat 8: o uso do 6S e do Atcor2. In: Simpósio Brasileiro De Sensoriamento Remoto, 17., 2015, João Pessoa. Anais... João Pessoa: INPE, 2015. p. 1821.
- [11] Usgs. U.S. Department of the interior/ u.s. Geological survey. Using the usgs landsat 8 product. Disponível em: <http://landsat.usgs.gov/landsat8_using_product.php>. Acesso em: 21 out.. 2016.

Capítulo 3

Análise de exatidão posicional de Ortomosaicos gerados a partir de dados termais a bordo de VANT

Hermann Johann Heinrich Kux

Luana Thayza de Oliveira

Fabiano da Cruz Nogueira

Resumo: O objetivo deste trabalho foi avaliar a exatidão posicional dos produtos resultantes do uso de um sensor termal em um VANT, ortomosaico termal, segundo o Padrão de Exatidão Cartográfica dos Produtos Cartográficos Digitais (PEC-PCD). Para tanto, foi realizado um levantamento de dados termais utilizando um VANT multi-rotor quadricóptero numa área de aproximadamente 10.000m² em São José dos Campos, SP. Duas configurações de processamento foram utilizadas para a geração dos produtos: uma utilizando apenas as coordenadas centrais das imagens e outra, com a adoção de pontos de controle no processamento.

Desde que vinculado a utilização de pontos de apoio para o processamento e consideradas as incertezas envolvidas no seu processo de obtenção, constatou-se a viabilidade do uso de dados termais obtidos por VANT como uma alternativa eficaz para imageamento de áreas com características não aparentes na faixa do visível, ou em períodos noturnos.

Palavras-chave: Infravermelho Termal, VANT, Exatidão Posicional.

1. INTRODUÇÃO

O Sensoriamento Remoto Termal é um ramo do Sensoriamento Remoto que opera com a aquisição, processamento e interpretação dos dados adquiridos na faixa do infravermelho termal do espectro eletromagnético. A detecção termal é utilizada para a exploração geológica, detecção de incêndios, agricultura, etc.

Contudo, a larga utilização destes dados pela sociedade civil esbarra em alguns desafios. Dentre os sistemas TIR existentes precisa ser ainda considerada a sua limitação quanto à frequência de imageamento e resolução espacial.

Alternativamente, sensores termais podem ser utilizados em aeronaves, o que resulta em um ganho em termos de resolução espacial e na flexibilidade temporal da coleta de dados. No entanto, [1] afirma que o imageamento termal aéreo não tem sido largamente disponível ao público geral porque tais missões envolvem custos relativamente altos.

Atualmente, este cenário está sendo alterado. Um dos motivos é o uso de Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTs), de custo reduzido em comparação com outras plataformas para obtenção de dados [2]. Aliado ao aumento da disponibilidade de veículos aéreos não tripulados de baixo custo, os sensores termais, sobretudo os sensores não refrigerados, vêm sendo desenvolvidos com o intuito de adaptação em plataformas não tripuladas.

Essas mudanças recentes têm estimulado o maior uso de sensores que operam nesta faixa espectral a bordo de veículos aéreos não tripulados, com diversas aplicações, a saber: áreas, vide [3], [2], [4], [5], [6], [7] e [8]. Neste contexto, o objetivo deste trabalho foi avaliar a exatidão posicional dos produtos resultantes de levantamento de dados termais utilizando um VANT, segundo o Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC-PCD).

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. SISTEMA SENSOR

O sistema sensor utilizado para a obtenção das imagens foi um Kit *PI LightWeight* que compreende um microprocessador e um sensor [9] *OPTRIS PI 450*. Este possui características específicas, o que permite embarcá-lo em VANTs. As especificações técnicas do sistema sensor estão apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1. Especificações técnicas dos sensor calibrado

Dados de imageamento ópticos	Sensor
Número de pixels	382×288
Campo de visada (FOV)	62° x 49°
Distância focal	8 mm
Resolução espacial (IFOV)	1,81 mrad
Sensibilidade térmica/NETD	0,04 K
Frequência	80 Hz
Dados do detector	
Tipo do detector	UFPA, microbolometro
Faixa espectral	7,5–13 μm
Tamanho do pixel	25 μm
Medição	
Faixa de temperatura do objeto	0...250 °C (utilizada)
Exatidão	±2°C ou ±2%

O sensor utilizado foi previamente caracterizado em laboratório quanto às suas capacidades radiométricas, espectrais e espaciais, conforme metodologia descrita em [10] e os resultados apresentados em [11].

2.2. VEÍCULO AÉREO NÃO TRIPULADO E ALVOS DE REFERÊNCIA

A aeronave utilizada para obter as imagens foi um multi-rotor do tipo quadricóptero. Esta foi montada com uma controladora de voo *ArduPilot*, que é uma plataforma de código aberto para aeronaves pequenas, integrada com um sistema GNSS para posicionamento

Com o intuito de identificar nas imagens termais os pontos de controle e verificação em solo, foram utilizados 4 corner reflectors e 11 placas de alumínio, material de baixa emissividade, como alvos de referência.

2.3. ORTOMOSAICO DE REFERÊNCIA E COLETA DE DADOS

Para a realização da avaliação posicional do ortomosaico gerados a partir da coleta de dados termais pelo VANT, pontos de verificação foram extraídos de um ortomosaico de referência. Estes produtos foram gerados por [12]. A obtenção das imagens com VANT foi realizada numa área de aproximadamente 10.000 m². O tamanho do *GSD-Ground Sample Distance* planejado foi de 10 cm. O planejamento de voo foi executado no *software Mission Planner 1.3.39*. Antes da realização do voo, pontos em campo foram sinalizados na área a ser sobrevoada. Esta sinalização foi realizada utilizando corner refletor e placas de alumínio. O objetivo de sinalizar os pontos termo-identificáveis foi proporcionar a coleta de coordenadas precisas nas imagens obtidas para posterior comparação com as coordenadas dos *Ground Control Points (GCP)* obtidos por GNSS em campo e pontos de verificação coletados dos produtos cartográficos de referência.

2.4. GERAÇÃO DOS PRODUTOS E AVALIAÇÃO DA EXATIDÃO POSICIONAL

Os dados coletados pelo sensor a bordo do VANT são registrados em matrizes numéricas de valores de temperatura em graus Celsius. Para processar esses dados no software de processamento dos dados VANT foi necessário realizar a sua conversão para o formato imagem (TIFF), procedimento realizado no *software Matlab R2014b*. Também houve a associação de cada imagem à sua coordenada correspondente, obtida pelo sistema GNSS a bordo do VANT. Essa associação foi realizada com base no horário de obtenção de cada um destes dados, sendo que para isso utilizou-se o *software GeoSetter*. Considerando que os dados foram pré-processados, eles foram inseridos no software *Pix4D Mapper Pro* (versão *trial*), tendo sido gerados de modo automático os ortomosaicos e modelos de superfície. Esse processamento foi realizado utilizando 4 pontos de apoio.

Após a geração dos ortomosaicos a partir das imagens termais obtidas durante o sobrevoo com VANT, procedeu-se a análise de exatidão posicional dos produtos gerados. Assim, a exatidão do ortomosaico foi verificada com base nos 25 pontos de verificação extraídos dos produtos de referência de acordo com o PEC-PCD usando um modelo matemático para análise estatística.

O método escolhido para avaliar os produtos de acordo com PEC-PCD, combinado com os conceitos apresentados pela Sociedade Americana de Fotogrametria e Sensoriamento Remoto - *ASPRS* (2014) [13]. (Figura 1)

Figura 1 - Metodologia de avaliação do PEC-PCD

Portanto, para uma determinada escala, a imagem será classificada com a classe A, B, C, D ou 'nula' em função dos resultados obtidos nos testes de precisão.

3. RESULTADOS

Das 71 imagens coletadas, 64 foram utilizadas para a geração dos ortomosaicos. As imagens das bordas do bloco fotogramétrico com distorção muito elevada foram descartadas. Tais imagens, por causa da inclinação do VANT, na entrada e saída das faixas, foram tomadas fora da verticalidade ideal, gerando assim as distorções observadas e comentadas.

Figura 2. Ortomosaico termal (1) e de referência (2)

O processamento fotogramétrico foi realizado utilizando 4 GCPs distribuídos na área de estudo. O *GSD* obtido nos ortomosaicos foi 9,54 cm. Após a geração do ortomosaicos, foram coletadas as coordenadas dos pontos de verificação em cada um através de um *software* específico com zoom da proporção 1:1. O ortomosaico termal gerado, bem como a posição das coordenadas neles coletadas e a ortofoto de referência estão representados na (Figura 2).

3.1. ORTOMOSAICO COM GCPs (ANÁLISE QUALITATIVA)

No ortomosaico foram utilizados 4 *GCPs* (Tabela 2) coletados em campo com *GNSS* em seu processamento e 21 pontos de checagem que cujas coordenadas foram coletadas no ortomosaico de referência e medidas no ortomosaico a ser avaliado (E, N) e no modelo de elevação gerado (H). Assim, os erros Leste (ΔE), Norte (ΔN), Planimétrico (ΔP) e Vertical (ΔH) oriundos do ortomosaico gerado utilizando 4 pontos de controle foram calculados e utilizados para avaliá-lo.

Tabela 2 – GCPs utilizados no ortomosaico (em metros)

ID	E	N	H	ΔE	ΔN	ΔH
5	401219.050	7432696.755	565.203	0.004	0.004	0.011
6	401169.421	7432710.940	565.853	0.004	0.004	0.010
10	401176.454	7432762.490	566.547	0.004	0.003	0.008
42	401243.426	7432744.060	569.224	0.004	0.003	0.010

A média dos erros planimétricos observada foi 0,51 m, sendo a componente norte aquela que mais contribuiu para o distanciamento planimétrico dos pontos apresentando -0,17 m de deslocamento neste

sentido. A média dos erros do sentido leste foi -0,07 m, inferior ao tamanho do *GSD* do ortomosaico que foi 0,09 m. O erro planimétrico máximo observado foi 1,70 m. Na verificação a dispersão dos erros planimétricos do ortomosaico com *GCPs*. Dos 21 pontos observados, 15 ficaram dentro do RMS planimétrico de 0,65 m. Este gráfico também permite observar que nesse ortomosaico os erros apresentam-se mais agrupados e próximos ao centro, o que demonstra maior precisão e exatidão em relação ao ortomosaico gerado sem pontos de controle.

Na verificação dos vetores de erros planimétricos. Observa-se que a maior parte dos erros planimétricos foi minimizado com a adoção de pontos de controle para o processamento. Essa melhoria foi observada em menor intensidade nos pontos localizados nas extremidades do ortomosaico.

A maior parte dos erros (~76%) foi negativa, indicando que o modelo gerado com quatro pontos de controle subestimou os valores de altitude. Os maiores erros observados foram de -7,47 m, -6,73 m e -3,02 m. A média dos erros altimétricos foi de 1,43 m. Dos 21 pontos observados, alguns foram escolhidos para a melhor representação dos desvios planimétricos observados, sendo que em dois deles os desvios foram mais bem resolvidos com a adoção de pontos de controle, e dois onde o erro, apesar de minimizado, ainda foi significativo para a avaliação da precisão do ortomosaico.

Um dos pontos analisados foi o P07 (Figura 3). Os erros observados neste ponto nos ortomosaicos sem e com *GCPs*, respectivamente, foram de 2,42 m e 0,11 m. Este ponto apresentou o menor erro no ortomosaico com *GCPs*. Tal melhoria pode ser atribuída a sua proximidade posicional a um dos pontos de controle utilizados no processamento (P06), o que permite ressaltar a importância de um maior número de *GCPs* bem distribuídos na área para a geração de ortomosaicos.

Figura 3. Desvios observados no ponto de verificação P07

A análise descritiva apresentada permitiu identificar a melhoria na qualidade posicional do ortomosaico quando gerado utilizando 4 *GCPs*. Entretanto demonstra que um número maior de pontos de apoio poderia minimizar erros que permaneceram elevados mesmo considerando 4 *GCPs*. Observou-se também um maior deslocamento nos pontos posicionados na extremidade do ortomosaico e em áreas com menor sobreposição.

Para uma avaliação mais detalhada sobre a qualidade do ortomosaico gerados será apresentada a seguir a análise estatística de exatidão posicional realizada sobre os produtos oriundos do levantamento de dados termais com VANT, bem como a sua classificação em relação ao PEC-PCD.

3.2. ORTOMOSAICO COM GCPs (ANÁLISE ESTATÍSTICA E CLASSIFICAÇÃO QUANTO AO PEC)

Os erros observados para os 21 pontos de verificação do ortomosaico gerado utilizando 4 *GCPs* também foram analisados de acordo com a metodologia apresentada na Figura 6. O primeiro teste foi quanto à normalidade das amostras, utilizando o teste *Kolmogorov-Smirnov-ks* (Tabela 3).

Os erros nos sentidos leste, norte e vertical apresentaram p-valor 0,0121, 0,0044 e 1,5909-04, respectivamente, e assim, ao nível de significância de 5%, rejeitam a hipótese nula de que as amostras possuem distribuição normal e, portanto tiveram sua exatidão analisada a partir da comparação dos percentis em relação ao PEC-PCD.

As amostras foram ainda testadas quanto à tendência através do teste *t-Student* com a hipótese nula de média igual 0 e a um nível de significância de 1%. Todas as amostras apresentaram um p-valor maior que 0,05 demonstrando que os erros estão livres de tendência.

Tabela 3. Resultado do *ks* dos erros com *GCPs*

Nível de confiança	95%
Nível de significância	5%
Amostra	21
Graus de Liberdade	20
Ks tabelado	0,2813
Ks calculado E	0,3380
Têm distribuição normal?	Não
p-valor	0,0121
Ks calculado N	0,3699
Têm distribuição normal?	Não
p-valor	0,0044
Ks calculado H	0,4567
Têm distribuição normal?	Não
p-valor	1,5909E-04

Segundo a metodologia de avaliação, as amostras que não apresentam distribuição normal, devem ser analisadas a partir da comparação por percentil. Assim, verificou-se se 90 % dos erros observados são inferiores aos valores determinado pelo PEC-PCD para uma dada escala e classe. Os valores dos percentis de 90% obtidos foram: 1,1323 m para o erro planimétrico, 0,8996 m para o erro no sentido norte, 0,7850 m para o erro no sentido leste e 4,5008 m para o erro no sentido vertical.

Os percentis calculados foram comparados com os valores do PEC-PCD estabelecidos para cada classe e escala nos sentidos norte e leste, planimétrico e altimétrico.

Dessa forma, constatou-se que analisado pelos erros planimétricos, ao nível de significância de $\alpha = 1\%$, o ortomosaico com 4 *GCPs* obteve a classe D a partir de 1:1.000, B a partir de 1:2.000 e A a partir da escala 1:5.000 (Tabela 4). As mesmas classes nas referidas escalas foram atribuídas ao ortomosaico quando avaliado pelos erros no sentido norte (Tabela 4).

No sentido leste, o ortomosaico obteve a classe C a partir da escala 1:1.000, B a partir da escala 1:2.000 e A a partir da escala 1:5.000 (Tabela 4). Na vertente altimétrica este ortomosaico obteve classe B a partir de 25.000 e A a partir de 1:50.000 (Tabela 4). Nas demais escalas o produto cartográfico foi rejeitado em relação à exatidão dos valores.

Para efeito de comparação a tabela 17 foi organizada com um resumo das classes obtidas para cada escala nos dois ortomosaicos.

Tabela 4. Classificação dos ortomosaicos de acordo o PEC

Escala (x100)	1:5	1:10	1:20	1:50	1:100	1:250	1:500	1:1000	1:2.500
COM 4 GCPs (Ground Control Points)									
Leste	-	C	B	A	A	A	A	A	A
Norte	-	D	B	A	A	A	A	A	A
Planimétrico	-	D	B	A	A	A	A	A	A
Vertical	-	-	-	-	-	B	A	A	A

Como resultado final das avaliações realizadas conclui-se que o ortomosaico gerado sem pontos de controle demonstrou exatidão planimétrica a partir da escala 1:5.000 e altimétrica a partir de 1:50.000. O ortomosaico processado com 4 pontos de controle, apresentou exatidão altimétrica a partir de 1:25.000 e planimétrica a partir da escala 1:1.000. No entanto, como mencionado na seção 3.1, o ortomosaico utilizado com referência possui exatidão planimétrica a partir da escala 1:1.000 e, portanto, só pode ser utilizado como referência para a avaliação de produtos a partir da escala 1:3.000, já que a precisão dos pontos de verificação dever ser de pelo menos 1/3 da precisão avaliada. Assim, quanto ao PEC-PCD, é considerada a exatidão do ortomosaico com 4 *GCPs* a partir da escala 1:3.000 com classe B e classe A a partir da escala 1:5.000.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Na avaliação da exatidão posicional dos produtos gerados através dos dados termais levantados por VANT nesta pesquisa, constatou-se que o uso de sensores que operam na faixa espectral do infravermelho termal é eficaz na obtenção de dados para a geração de ortomosaicos, contudo o uso de pontos de controle é indispensável para se obter uma boa qualidade do produto cartográfico resultante. Os resultados da avaliação dos ortomosaicos com o uso de pontos de controle no seu processamento, demonstram que a sua utilização melhora consideravelmente a exatidão posicional do produto, permitindo que este poderá ser utilizado em aplicações que exijam maior precisão.

Observou-se que com a adoção de apenas 4 *GCPs* houve uma melhoria significativa no posicionamento e, com um maior número de *GCPs* bem distribuídos na área de estudo a exatidão alcançada tende a ser maior. Sobre a distribuição dos *GCPs* recomenda-se que haja pontos localizados nas extremidades da área a fim de evitar deslocamentos maiores nestas regiões. O uso da metodologia de avaliação posicional para a avaliação dos produtos gerados por dados termais se mostrou válida, desde que alvos compostos por materiais de baixa emissividade sejam utilizados para a identificação dos pontos de checagem na imagem termal. Vale ressaltar que o tamanho dos alvos utilizados, para experimentos como o apresentado, precisa ser considerado em relação ao tamanho do *GSD* planejado para a missão. Recomenda-se que o alvo utilizado tenha pelo menos 3 vezes o tamanho do *GSD*. Se o ponto de checagem considerado estiver no limite de alvos com emissividades muito discrepantes, o uso de tais alvos pode ser dispensável.

Se comparadas, as classificações de exatidão planimétrica do ortomosaico de referência (A - 1:1.000) e aquela obtida pelo ortomosaico gerado com *GCPs* (A - 1:5.000), são proporcionais considerando-se seus respectivos tamanhos de *GSD* (2,10 e 9,54 cm). Isso ocorre porque se verifica que o ortomosaico termal que possui um *GSD* aproximadamente 5 vezes maior, obteve a classe A quanto ao PEC-PCD para uma escala 5 vezes maior. A exatidão posicional do ortomosaico gerado com dados termais mostrou-se comparável a exatidão de um ortomosaico gerado com dados obtidos na faixa do visível.

Na área analisada, diferenças significativas de temperatura radiante puderam ser observadas em alvos que visivelmente pareciam iguais, por exemplo na vegetação, telhados e em áreas sombreadas. Assim, desde que vinculado a utilização de pontos de apoio para o processamento e consideradas as incertezas envolvidas no seu processo de obtenção, constata-se a viabilidade do uso de dados termais obtidos por VANT como uma alternativa eficaz para o imageamento de áreas com características não aparentes na faixa do visível, ou em períodos noturnos.

REFERÊNCIAS

- [1] Jensen, J. R. Sensoriamento remoto do ambiente. 2. ed. São José dos Campos: Parêntese, 2009.
- [2] Salamí, E.; Barrado, C.; Pastor, E. UAV Flight Experiments Applied to the Remote Sensing of Vegetated Areas. Remote Sensing. v.6. 2014.
- [3] Smigaj, M; Gaulton, R.; Barr, S. L.; Suárez, J. C. Uav-Borne Thermal Imaging for Forest Health Monitoring: Detection of Disease-Induced Canopy Temperature Increase. In: The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XL-3/W3. 2015.
- [4] Berni, J.; Zarco-Tejada, P.J.; Suarez, L.; Fereres, E. Thermal and Narrowband Multispectral Remote Sensing for Vegetation Monitoring From an Unmanned Aerial Vehicle. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing. v. 47. n. 3. 2009.
- [5] Hoffmann, H.; Nieto, H.; Jensen, R.; Guzinski, R.; Zarco-Tejada, P. J.; Friborg, T. Estimating evapotranspiration with thermal UAV data and two source energy balance models. Hydrology and Earth System Sciences Discussions. v.12, p. 7469-7502. 2015.
- [6] Kontoes, C.; Keramitsoglou, I.; Sifakis, N.; Konstantinidis, P. Sithon: An Airborne Fire Detection System Compliant with Operational Tactical Requirements. Sensors (Basel). 2009; 9(2): 1204–1220.
- [7] Matikainen, L.; Lehtomäki, M.; Ahokasa, E.; Hyyppä, J.; Karjalainen, M.; Jaakkola, A.; Kukkoa, A.; Heinonen, T. Remote sensing methods for power line corridor surveys. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing. v. 119, 2016, (p10–31).
- [8] Lega, M.; Napoli, R. M. A. Aerial infrared thermography in the surface waters contamination monitoring. In: Proceedings of the 11th International Conference on Environmental Science and Technology. Chania, Greece. 2009.
- [9] Optris, GmbH. Operator's Manual: Optris PI LightWeight Kit. CD-ROM. 2016.

- [10] Kux, H. J. H.; Oliveira, L. T.; Castro, R. M. Análise das capacidades e limitações radiométricas, espectrais e espaciais de dois sistemas sensores termais em laboratório. In: XVIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Santos, 2017. Anais. 2017, p.4575-4582.
- [11] Oliveira, L. T.; Castro, R. M.; Kux, H. J. H. Metodologia para a caracterização de sistemas sensores termais. In: XVIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Santos, 2017. Anais. 2017, p.5788-5795.
- [12] Nogueira, F. C.; Roberto, L.; Körting, T. S.; Shiguemori, E. H. Accuracy analysis of orthomosaic and DSM produced from sensor aboard UAV. In: XVIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Santos, 2017. Anais. 2017, p.5515-5521.
- [13] ASPRS. Positional Accuracy Standards for Digital Geospatial Data, 1st Ed, V.1, American Society for Photogrammetry and Remote Sensing, 2014. Available in: <<https://www.asprs.org/publications-other/manual-of-photogrammetry-errata.html>>. Access: 16.jun.2016.
- [14] Kontoes, C.; Keramitsoglou, I.; Sifakis, N.; Konstantinidis, P. Sithon: An Airborne Fire Detection System Compliant with Operational Tactical Requirements. *Sensors (Basel)*. 2009; 9(2): 1204–1220.
- [15] McGlone, J.C.; Lee, G.Y.G. Manual of Photogrammetry, Sixth Edition. American Society for Photogrammetry and Remote Sensing. The USA, Maryland, 2013. 1318p. ISBN 1-57083-099-1.
- [16] M; Kosmatka, J.; Ferrara, C.; Russo, F.; Napoli, R. M. A.; Persechino, G. Using Advanced Aerial Platforms and Infrared Thermography to Track Environmental Contamination. *Environmental Forensics*. v.13. n. 4. 2012.
- [17] Merchant, D.C. Spatial Accuracy Standards for Large Scale Line Maps. Technical Papers of American Congress on Surveying and Mapping, Denver-CO, USA, 1982. p. 222-231.
- [18] Warren, M. S. Desagregação espacial de estimativas de evapotranspiração real obtidas a partir do sensor modis. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 28, n. 2, p. 153–162, jun. 2013.
- [19] Watts, A.C., Ambrosia, V.G., Hinkley, E.A. Unmanned Aircraft Systems in Remote Sensing and Scientific Research: Classification and Considerations of Use. *Remote Sensing*. 4(6), 1671 – 1692. 2012.
- [20] Wolf, P.R.; Dewitt, B.A.; Wilkinson, B.E. Elements of Photogrammetry with Applications in GIS, Fourth Edition. Singapore, Mc Graw-Hill, 2014. 676p. ISBN 978-0-07-176112-3

Capítulo 4

Uso de altimetria de radar na geração de dados fluviométricos de vazão

Vitor do Sacramento

Edileuza de Melo Nogueira

Resumo: Em algumas regiões do Brasil, principalmente na região amazônica, dados fluviométricos de vazão podem ser de complexa obtenção. O acesso difícil, baixa quantidade de estações e dificuldade de manutenção de equipamentos, são alguns dos motivos que levam à necessidade de técnicas alternativas. Este estudo mostra a aplicação da altimetria espacial com esse propósito. Por meio de dados do altímetro de radar Poseidon-3, a bordo do satélite Jason-2, dados de cota de rio foram obtidos. O algoritmo *Ice-3* possibilitou a obtenção de série temporal de cotas para ponto específico na bacia do Rio Purus, convertidos para vazão por meio de regressão linear. Foi possível obter índice de correlação (R^2) de 0,88 entre a estação virtual e a convencional, em comparação ao índice de 0,96, obtido por meio de regressão entre duas estações convencionais.

Palavras-chave: altimetria espacial, bacia do Purus, JASON-2, fluviometria, Amazônia.

1. INTRODUÇÃO

A bacia amazônica é uma das maiores do mundo, com cerca de 6 800 000 km², que corresponde a aproximadamente 37% da área de drenagem de toda América do sul[1]. Cerca de 69% da bacia se localiza no Brasil, o restante se distribui entre Bolívia(12%), Peru(16%), Colômbia(5,7%), Equador(2,4%), Venezuela(0,7%) e Guiana(0,2%). Vários rios constituem essa bacia, com destaque para os rios Amazonas, Madeira, Tapajós, Negro, Solimões e Purus.

De acordo com dados da Agência Nacional de águas – ANA, obtidos por meio do HIDROWeb (2018)[2], até 2018 existiam apenas 1408 estações fluviométricas na Amazônia legal brasileira. Considerando a sua extensão de 5.217.423 km², temos uma densidade de 3705 km² para cada estação, abaixo do recomendado pela OMM (WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION, 2008), que é de uma estação a cada 1000-2500km². Essa defasagem de estações se deve, entre outros fatores, à dificuldade operacional da região amazônica. Devido a sua grande área de cobertura (Figura 1). Pretende-se aqui, testar a eficiência do uso de dados de altimetria espacial na complementação das estações convencionais [4].

Figura 1: Distribuição espacial das passagens do JASON-2

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. DADOS DE ESTAÇÕES CONVENCIONAIS

Para este estudo, foram utilizados os dados das estações convencionais fluviométricas Seringal Fortaleza (13750000) e Valparaíso – montante (13710000) (Figura 2), referentes a vazão, resumo de descarga, e cota; disponibilizados por [2]. Essas estações se encontram no rio Purus, a cerca de 750 km de sua confluência com o rio Amazonas. Os dados são referentes ao período 2009-2016.

2.2. DADOS DE ESTAÇÕES VIRTUAIS

Foram utilizados também ainda de altimetria espacial, provenientes do satélite JASON-2, que foi lançado em 2008, por um esforço conjunto do CNES, EUMESAT, NASA e NOAA. Esses dados também são referentes ao período 2009-2016.

Figura 2: Localização das estações

Dentre os equipamentos a bordo do satélite, destaca-se para o presente estudo o altímetro de radar POSEIDON-3 do CNES, o *Advanced Microwave Radiometer* (AMR) da JPL/NASA, além de um sistema triplo de determinação da órbita[5].

O satélite leva 10 dias para completar sua órbita e os dados altimétricos são provenientes do *Improved Geophysical Data Records* (IGRD), disponibilizados pelo projeto PISTACH [6]. O altímetro opera nas bandas Ku(13.575 GHz) e C(5.3 GHz), com acurácia de até 2cm sobre o oceano [5]. No presente estudo, utilizou-se o algoritmo de tratamento *Ice-3*, entre as coordenadas +13°N e -36°N. Foi utilizado o caminho 254, que cruza o rio Purus a cerca de 250 km a jusante da estação convencional Seringal fortaleza. Todo o tratamento dos dados é feitos no programa *Virtual Altimetry Station – VALS(2011)*[7].

Considera-se uma estação virtual em potencial todos os pontos onde o caminho do satélite cruza um corpo de água na superfície terrestre [8].

A criação da estação virtual seguiu a metodologia proposta pelos criadores do software, disponível em [8]. Essa metodologia divide-se em duas partes, uma que foi feita no *Google Earth 7.3.2.5491* (*Google Earth*, 2018) e outra no VALS[7]. A etapa do *Google earth* consistiu em selecionar um ponto de cruzamento do traço de satélite com o rio a ser estudado— em seguida delimitou-se, com um retângulo, a área a extrair do conjunto total de dados— fez-se também uma linha indicativa do sentido de fluxo do rio.

A segunda etapa iniciou-se com a criação de uma base local de dados, que gerou os arquivos que o VALS pode ler. Selecionou-se então os parâmetros de extração de dados do JASON-2, conforme consta em [7]. Em seguida a série temporal foi obtida por meio do algoritmo de forma de onda (FO), *Ice-3*. Após isso, os dados foram visualizados em forma de cotograma, de modo a selecionar apenas os que apresentam qualidade para compor o produto final. Os dados foram então convertidos para cota geoidal, utilizando-se o modelo de ondulação geoidal EGM2008, desenvolvido por [11].

2.3. CONVERSÃO DE COTA GEOIDAL PARA COTA LINIMÉTRICA

Os dados de cota geoidal ainda precisavam ser convertidos para cota linimétrica. Para isso os dados de cotas virtuais geoidais foram comparados aos dados de cota convencional.

Foi utilizada a mediana da diferença das cotas, e essa mediana foi subtraída da cota geoidal virtual (Equação 1), de modo a igualar as duas medidas e eliminar o efeito *bias*.

$$Cl = Cg - MED(Cg - Ca)$$

onde:

Cl= Cota linimétrica
Cg= Cota geoidal
Ca= Cota altimétrica virtual

2.4. CONVERSÃO DE COTA LINIMÉTRICA PARA VAZÃO

Foi feita uma curva-chave entre os dados de cota linimétrica virtual e da vazão da estação convencional extrapolada para a localização da estação virtual. A extrapolação é feita segundo a equação 2:

$$Q_v = Q_c * (A_{dv}/A_{dc})$$

onde:

Q_v = Vazão virtual

Q_c = Vazão convencional

A_{dv} = Área de drenagem virtual

A_{dc} = Área de drenagem convencional

A curva chave considerou três pares de valores de cota altimétrica virtual por vazão virtual extrapolada. A escolha dos valores foi feita considerando um desvio de 10% para mais e para menos da média dos valores de vazão extrapolados, os pares deveriam estar nesse intervalo. Por último, os valores de vazão altimétricos são calculados por meio da curva-chave obtida.

2.5. VALIDAÇÃO DOS DADOS

Para efeitos de validação, os dados de vazão da estação convencional Seringal Fortaleza-13750000 foram comparados com os dados de vazão virtual obtidos na etapa 2.4.

Os dados de vazão da estação convencional Seringal Fortaleza-13750000 foram também comparados com outra estação convencional Valparaíso-Montante-13710001, distante cerca de 250 km a montante da primeira estação, a comparação é feita considerando a quantidade de dias que leva para que a vazão da estação a montante ocorra na estação a jusante.

3. RESULTADOS

Os resultados são exibidos na forma de gráficos de regressão linear. Na Figura 3, vemos a comparação dos dados da estação convencional (Seringal Fortaleza-13750000) com os dados da estação virtual. Na figura 4, vemos a comparação da estação convencional (Seringal Fortaleza-13750000) com a estação convencional (Valparaíso-montante 13710001).

Figura 3: Regressão linear entre a estação convencional e a estação virtual

Figura 4: Regressão linear entre as estações convencionais

Como pode ser observado, entre a estação convencional e a estação virtual temos um R^2 de cerca de 0,87. Entre as estações convencionais temos um R^2 de 0,96.

4. DISCUSSÃO

A partir da observação gráfica, foi possível constatar que os dados de altimetria espacial complementam com qualidade satisfatória os dados de vazão de estações convencionais. Esses dados apresentaram confiabilidade próxima ao método de regressão linear com estação convencional, que é o método predominante hoje. Porém, a altimetria espacial tem como vantagem a disponibilidade de dados mais constantes, com menos falhas, e potencial custo operacional mais baixo.

5. CONCLUSÕES

A utilização dos dados altimétricos do satélite JASON-2, por meio do algoritmo *Ice-3*, mostrou potencial para o uso proposto. De acordo com a metodologia aplicada, esses dados apresentaram utilidade para o preenchimento de séries históricas de vazão, mas têm potencial também para serem ferramentas de uso singular onde não há estações convencionais.

Atualmente, está em funcionamento o sistema HidroSat [12], da ANA, que semi-automatiza a obtenção das cotas altimétricas dos satélites ENVISAT, JASON-2 e JASON-3, no entanto o processo de obtenção de vazões ainda é manual. Espera-se que o desenvolvimento de novas metodologias possibilite a automatização de uma maior parte do processo, o que viabilizaria a meta de uma estação a cada 1000-2500km² da OMM.

AGRADECIMENTOS

O Presente trabalho foi realizado com apoio do Centro Gestor e Operacional do Sistema de Proteção da Amazônia – Censipam e Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq – Brasil. O autor agradece o apoio e cooperação da Agência Nacional de Águas (ANA), que por meio da Analista Giana Marcia dos Santos Pinheiro, ministrou curso sobre técnicas de altimetria espacial.

REFERÊNCIAS

- [1] Silva, J. S. et al. (2010). "Water levels in the Amazon Basin derived from the ERS 2- Envisat radar altimetry missions". *Remote Sensing of Environment*, v. 114, p. 2160-2181.
- [2] Agência Nacional de Águas. Hidroweb. Sistema de informações hidrológicas. 2013. Disponível em: <<http://www.snirh.gov.br/hidroweb/>>. Acesso em: 20 ago. 2018.
- [3] Wmo - World Meteorological Organization. Methods of observation. In: *Guide to Hydrological Practices: hydrology from measurement to hydrological information*. 6. ed. Geneva, Switzerland, 2008. v. 1, cap. 2, p. 24-27. (WMO - n. 168). Disponível em: <http://www.whycos.org/chy/guide/168_Vol_I_en.pdf>. Acesso em: 21 ago. 2018

- [4] Sousa et al 2011. Aplicações da Altimetria Espacial para Monitoramento hidrológico da bacia do rio Javari. XIX simpósio brasileiro de recursos hídricos. 2011, Maceió.
- [5] Frappart, F., et al. *Radar altimetry backscattering signatures at Ka, Ku, C, and S bands over West Africa. J. Physics and Chemistry of the Earth Parts A/B/C*. 2015, v. 83-84, p. 96–110.
- [6] Improved Jason-2 altimetry products for Coastal Zones and Continental Waters (Pistach Project), F. Mercier et al., OSTST Nice November 2008. Disponível em: <ftp://ftpsedr.cls.fr/pub/oceano/pistach/J2/IGDR/hydro>. Acesso em: 21 ago. 2018.
- [7] Vals, 2011, *Virtual Altimetry Station*, Versão 1.0.3, 05/2011, Cochonneau, G. Calmant, S. Disponível em: <http://www.ore-hybam.org/index.php/eng/choixstation/softvals>. Acesso em: 21 ago. 2018.
- [8] Silva et al. Aplicações da altimetria espacial para monitoramento hidrológico da bacia do rio Purus. XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Foz do Iguaçu - PR, BR
- [9] Manual de uso do Vals 2011. Disponível em: www.ore-hybam.org/index.php/eng/content/download/4610/25752/file/VALS_099.pdf. Acesso em 24 ago. 2018.
- [10] Google Earth (2018), *Google Earth*, versão 7.3.2.5491. Google Inc.
- [11] Pavlis, N. K. et al. (2008). "Factor J.K. An Earth Gravitational Model to Degree 2160: EGM2008", in: *Proceedings of the 2008 General Assembly of the European Geosciences Union. Vienna, Austria*, 13-18/04/2008. Disponível em: http://earthinfo.nga.mil/GandG/wgs84/gravitymod/egm2008/egm08_wgs84.html. Acesso em: 21 ago. 2018
- [13] HidroSat (2018). Versão 3.2.2.4. ANA – IRD. Disponível em: <http://hidrosat.ana.gov.br>. Acesso em: 25 ago. 2018.

Capítulo 5

Método de agrupamento por arquipélagos para definição de domínio e jurisdição de ilhas sedimentares: Uma proposta para os canais lagunares do Litoral Sul do Estado de São Paulo

Vilmar Antonio Rodrigues

Domingos Garrone Neto

Eduardo Antonio Sanches

Gilberto Cugler

Resumo: O presente estudo utilizou o Diagrama de Voronoi para a delimitação das ilhas e o centro do canal "Mar Pequeno", no Complexo Estuarino-Lagunar de Iguape e Cananéia, sudeste do Brasil. Foram encontradas 51 ilhas, com total de 5, 04 km². O Diagrama de Voronoi se mostrou útil para obter a linha média entre as margens do "Mar Pequeno" para a definição da jurisdição das ilhas do Mar Pequeno, entre os três municípios, Cananéia, Iguape e Ilha Comprida. Esse fato foi particularmente importante e foi possível definir a área do arquipélago e outras áreas para definição de domínios entre os municípios. Os resultados obtidos podem ser úteis para o planejamento territorial da área de estudo, principalmente em um complexo estuarino onde a ação humana e a dinâmica ambiental exercem forte influência sobre a paisagem.

Palavras-chave: agrupamento de ilhas sedimentares por arquipélagos, sensoriamento remoto, processamento de imagens, "Código de Águas", gvSIG.

1. INTRODUÇÃO

A definição da posse de ilhas fluviais, situadas em áreas de divisa de águas interiores, sempre foi tema de intenso debate na legislação brasileira. O “Código de Águas”, publicado pelo Decreto Federal nº 24.643, de 10 de julho de 1934, em seu artigo 23, traz que “...As ilhas ou ilhotas, que se formarem no álveo de uma corrente, pertencem ao domínio público, no caso das águas públicas, e ao domínio particular, no caso das águas comuns ou particulares”. A Lei Estadual nº 5.439, de 9 de setembro de 1959, celebrou um convênio entre os estados de São Paulo e Minas Gerais, com o objetivo de fixar as respectivas jurisdições sobre as ilhas existentes no Rio Grande, no trecho compreendido entre a foz do Rio Canoas e a confluência com o Rio Paranaíba.

Na ocasião, foi fixada a quantidade de ilhas pertencentes a cada estado, salvo os bancos de areia e rochedos. A lei corroborou o texto de uma série de decretos e outras leis que haviam fixado a linha divisória entre os dois estados e definiram o domínio sobre as ilhas dos corpos d’água em questão, indicando que “*Embora, porém, rio público, as ilhas que nêles demoram pertencem ao domínio dos Estados marginais ou aos particulares, se êstes tiverem algum título legítimo*” e, finalmente, declarando que, em tese, a jurisdição das ilhas seria do estado marginal com relação às ilhas que lhe ficassem adjacentes. No entanto, ainda que definida a situação legal das ilhas situadas na divisa entre os estados de São Paulo e Minas Gerais, restava a definição de critério objetivos que liquidassem qualquer dúvida referente à jurisdição sobre as ilhas, ficando a cargo dos órgãos técnicos da época a solução dos problemas advindos da dificuldade em se estabelecer o domínio sobre as porções de terra em questão. Mapas e levantamentos aerofotográficos elaborados por comissões geográficas e geológicas de ambos os estados, entre 1910 e 1950, balizaram as decisões, constituindo um marco legal e documento que norteia, até os dias atuais, questões referentes à definição de domínio de ilhas fluviais no país.

Na região sudeste do Estado de São Paulo, junto à costa, encontra-se uma das maiores áreas úmidas do Brasil, o Complexo Estuarino-Lagunar de Cananéia e Iguape. A região é conhecida por suas extensas e conservadas áreas de manguezais, canais lagunares e ilhas. Os manguezais dominam praticamente todas as margens do sistema costeiro e ilhas sedimentares, compreendendo 15.193 ha (Cunha-Lignon et al., 2009; Cunha-Lignon et al., 2015). Os canais lagunares apresentam tendências de assoreamento, formando ilhas e esporões. Cada canal apresenta, em função da fisiografia do trecho considerado, comportamento hidrodinâmico característico (Tessler e Furtado, 1983).

Alguns arquipélagos foram formados pela deposição de sedimentos, especialmente devido ao elevado aporte fluvial e a atuação das marés, marcante na região. Contudo, estudos sobre a delimitação das ilhas existentes não estão disponíveis. Nesse contexto, o presente trabalho teve como objetivo definir o domínio das ilhas sedimentares no Mar Pequeno, ao longo dos municípios de Cananéia, Iguape e Ilha Comprida, de modo a minimizar os impactos decorrentes da ação humana e obtenção de futuros recursos ambientais.

2. METODOLOGIA DE TRABALHO

2.1. LOCAL E PERÍODO DO ESTUDO

O estudo foi realizado de 2013 a 2015 no Complexo Estuarino-Lagunar de Cananéia e Iguape, no Mar Pequeno, nos municípios de Cananéia, Iguape e Ilha Comprida, no litoral sul do Estado de São Paulo. O Mar Pequeno constitui um dos braços que circunda a Ilha de Cananéia, pertencente ao Complexo Estuarino-Lagunar de Cananéia e Iguape, que compreende um mosaico de ecossistemas marinhos e costeiros associados a maior porção contínua de Mata Atlântica do Brasil, região reconhecida pela UNESCO como Zona Núcleo da Reserva da Biosfera da Mata Atlântica e Sítio do Patrimônio Natural da Humanidade.

Os rios que formam a bacia de drenagem da região apresentam alto gradiente no trecho inicial, tornando-se mais suaves na planície costeira de Cananéia-Iguape. Essa planície é delimitada por pontões do complexo cristalino da Serra do Mar a NE e SW que avançam oceano adentro, compreendendo uma superfície de aproximadamente 2.500 km². Os canais de circulação no sistema não são muito profundos, média de 5 a 6 m, podendo atingir o máximo de 12 m (Tessler e Souza, 1998). O maior registro está no canal de acesso ao mar da barra de Cananéia, onde a profundidade máxima atinge 20 m (Tessler et al., 1990). Aportes fluviais, efeito dos campos de vento e principalmente os movimentos de marés são os principais mecanismos físicos que determinam os padrões de circulação geral e as propriedades das águas no Complexo Estuarino-Lagunar de Cananéia e Iguape.

O clima da região é subtropical úmido com a umidade média do ar em torno de 88%. Os valores pluviométricos máximos ocorrem de janeiro a março (média mensal de 267 mm) e mínimos em julho e agosto (média mensal de 95 mm), podendo a precipitação média anual atingir até 2300 mm (Silva, 1989). As chuvas estão relacionadas a verões chuvosos e invernos secos. A temperatura média anual da água é de aproximadamente 21°C. Fevereiro é o mês mais quente (25°C) e julho o mais frio (~ 18°C).

O trecho estudado apresenta cerca de 65 km de extensão, compreendido entre a Foz do Rio Ribeira e a Barra de Cananéia, localizadas ao norte e ao sul da área de estudo, respectivamente (Figura 1).

Figura 1. Complexo Estuarino-Lagunar de Cananéia e Iguape, Sudeste do Brasil (Fonte: Barcellini *et al.*, 2013).

2.2. LEVANTAMENTO EM CAMPO

Para o levantamento de campo foram empregadas técnicas de georreferenciamento utilizando o equipamento geodésico do sistema GPS, para verificar a precisão do georreferenciamento da imagem de satélite, obtida em 2012.

Os dados com as Coordenadas Geodésicas Latitude, Longitude e Altitude Elipsoidal, foram transformados para Coordenadas Planas (UTM), fuso 23, referenciado no Sistema Cartográfico Nacional, Sistema de Referência Geocêntrica para as Américas (SIRGAS 2000).

2.3. DETERMINAÇÃO DA LINHA MÉDIA

Para se obter a linha média entre as margens do Mar Pequeno, foram aplicados os seguintes procedimentos:

Vetorização das margens que delimitam o álveo no Mar Pequeno.

- I. Utilização do geoprocesso "Voronoi", através do software de sistema geográfico de informação (SIG) gvSIG, desenvolvido pelo Governo de Valência-Espanha. Para tal, as margens do Mar Pequeno foram convertidas em pontos, a fim de se construir o Diagrama de Voronoi para a definição pontos equidistantes em relação a pontos pré-definidos. No nosso caso, optou-se pela geração de segmentos de retas equidistantes simultaneamente aos pontos das margens do Mar Pequeno.

- III. Transformação do Diagrama de Voronoi em segmentos de retas.
- IV. Extração no Diagrama de Voronoi da linha que divide o álveo ao meio (linha média/linha divisória).

2.4. CRITÉRIO PARA A DELIMITAÇÃO DO ÁLVEO

Na vetorização das margens foram utilizadas as técnicas de fotointerpretação, apoiadas com a interpretação do modelo digital de profundidade (MDP) do Mar Pequeno. Este MDP foi elaborado utilizando 106.969 pontos obtidos por processo batimétrico. Para tal, foram realizados trabalhos de campo em março de 2013, a partir de transversais no Mar Pequeno. Foi empregado um ecobatimétrico Simrad, modelo EQ 33 TFT GB, software versão 1.27 e sistema DGPS Trimble, modelo R4, sendo os dados gerenciados pelo software Trimble Hydro Pro Navigation, capturando as profundidades e as coordenadas planas (UTM), fuso 23 (N e L) referenciado no Sistema Cartográfico Nacional, Sistema de Referência Geocêntrica para as Américas (SIRGAS 2000).

2.5. SEGMENTAÇÃO DAS ILHAS E DEFINIÇÃO DE DOMÍNIO

Inicialmente as ilhas foram vetorizadas pelo mesmo processo utilizado na vetorização das margens do Mar Pequeno, tendo a sua geometria definida como polígono, ao contrário da linha média, na qual sua geometria foi do tipo poli-linha. Após a vetorização das ilhas, elas foram recortadas através do geoprocesso “cortar”, tomando como referência a linha média (linha divisória) e recalculadas as áreas para novas porções (ilhas divididas).

As ilhas foram rotuladas de 1 até 51, com origem na Barra de Cananéia, ao sul, e término na Barra do Icapara, foz do Rio Ribeira, ao norte. Quando a ilha foi segmentada pela linha divisória (linha média entre as margens do Mar Pequeno), o rótulo foi acrescido de mais um dígito, como por exemplo (Figura 2):

A ilha 3 foi segmentada pela linha divisória, dando origem a duas porções que tiveram o seguinte rótulo; 3-1 e 3-2. Preferencialmente, sempre que necessário, foi acrescido o dígito 2 para a porção média do álveo tangente ao Município de Ilha Comprida.

Figura 2. Linha divisória das ilhas do Mar Pequeno e sua rotulagem (Exemplo: 3-1 e 3-2).

Para o estudo do domínio das ilhas existentes no Mar Pequeno, foi adotado o seguinte critério: “as porções oriundas da divisão das ilhas pela linha que divide o álveo ao meio concomitante ao agrupamento das ilhas que formam um arquipélago”.

Esta relação foi utilizada para interagir com o critério da Lei Estadual nº 5.439, de 9 de setembro de 1959, por este documento ter sido utilizado com sucesso para definir a jurisdição das ilhas do Rio Grande, na divisa entre os estados de São Paulo e Minas Gerais, e até hoje ser utilizado como referência para esse fim.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir da utilização do geoprocesso “Voronoi”, foram gerados segmentos de retas equidistantes, simultaneamente aos pontos das margens já referidas. Esta relação foi utilizada para interagir com o critério da Lei nº. 5.439, de 9 de setembro de 1959. É possível observar a linha média, correspondente ao álveo (Figura 3). Foram registradas 51 ilhas sedimentares no total ao longo do Mar Pequeno. As tabelas 1, 2 e 3 apresentam os resultados obtidos, demonstrando as áreas de cada ilha, por município. A tabela 4 sintetiza os registros, por município, agrupando as ilhas por arquipélago.

Figura 3. Linha Média do Mar Pequeno, obtida através da aplicação do Diagrama de Voronoi.

Tabela 1. Relação das ilhas do Mar Pequeno, Município de Iguape – SP.

Município de Iguape		
Nome da Ilha, Referência Carta Náutica Nº 1.702	Rótulo das Ilhas	Área das Ilhas (m ²)
Sem denominação	27	21.070,00
Sem denominação	28-1	33.030,00
Sem denominação	28-2	
Ilha Grande	29	283.937,00
Sem denominação	38	54.001,00
Sem denominação	39	344,00
Sem denominação	41	46.401,00
Sem denominação	42-1	591.767,00
Sem denominação	42-2	
Área Total dos Arquipélagos		1.030.549,00

Tabela 2. Relação das ilhas do Mar Pequeno, Município de Cananéia – SP.

Município de Cananéia		
Nome da Ilha, Referência Carta Náutica Nº 1.702	Rótulo das Ilhas	Área das Ilhas (m ²)
Ilha do Pai Matos - 2	1	65.317,00
Ilha do Pai Matos - 1	2	60.707,00
Ilha do Boqueirão	3-1	99.912,00
Ilha do Boqueirão	3-2	
Sem denominação	4-1	173.568,00
Sem denominação	4-2	
Sem denominação	5	8.551,00
Sem denominação	6	203.728,00
Sem denominação	9	6.038,00

(Continuação)

Tabela 2. Relação das ilhas do Mar Pequeno, Município de Cananéia – SP.

Município de Cananéia		
Ilha da Garça	10	24.998,00
Sem denominação	11	20.565,00
Sem denominação	12	21.814,00
Sem denominação	14	915,00
Ilha Furadinho	15	232.171,00
Ilha do Rodrigues	16-1	945.759,00
Ilha do Rodrigues	16-2	
Sem denominação	17	1.168,00
Sem denominação	18	841,00
Sem denominação	19	1.500,00
Sem denominação	20	535,00
Sem denominação	26	20.224,00
Área Total dos Arquipélagos		1.888.310,00

Tabela 3. Relação das ilhas do Mar Pequeno, Município de Ilha Comprida – SP.

Município de Ilha Comprida		
Nome da Ilha, Referência Carta Náutica Nº 1.702	Rótulo das Ilhas	Área das Ilhas (m ²)
Sem denominação	7	38.288,00
Sem denominação	8	63.665,00
Sem denominação	13	3.479,00
Sem denominação	21	1.985,00
Sem denominação	22	9.670,00
Sem denominação	23	3.498,00
Sem denominação	24	4.285,00
Sem denominação	25	57.551,00
Sem denominação	30	8.956,00
Sem denominação	31	44.168,00
Sem denominação	32-1	415,00
Sem denominação	32-2	
Sem denominação	33	9.128,00
Sem denominação	34	465,00
Sem denominação	35	1.272,00
Sem denominação	36-1	3.419,00
Sem denominação	36-2	
Ilha Baqueri	37-1	144.049,00
Ilha Baqueri	37-2	
Sem denominação	40	96.590,00
Sem denominação	43	7.178,00
Sem denominação	44	103.646,00
Sem denominação	45	30.255,00
Sem denominação	46-1	97.939,00
Sem denominação	46-2	
Ilha da Enseada	47-1	517.723,00
Ilha da Enseada	47-2	
Sem denominação	48-1	56.178,00
Sem denominação	48-2	
Sem denominação	49	30.796,00
Sem denominação	50	1.216,00
Sem denominação	51	370.827,00
Área Total dos Arquipélagos		2.121.316,00

Tabela 4. Resumo das áreas das ilhas de cada município, agrupadas por arquipélago.

Município	Área dos arquipélagos (m ²)
Cananéia	1.888.310,00
Iguape	1.030.549,00
Ilha Comprida	2.121.316,00

O Diagrama de Voronoi se mostrou útil para a definição da jurisdição das ilhas do Mar Pequeno, a partir da obtenção da linha média com alta precisão. Sua aplicação para a delimitação das áreas e da sua respectiva jurisprudência exemplificam a aplicabilidade de geotecnologias para estudos de ordenamento territorial.

Com base na Lei Estadual nº 5.439, de 9 de setembro de 1959, que dispõe sobre convênio celebrado entre os estados de São Paulo e Minas Gerais para fixação das respectivas jurisdições para as ilhas existentes no Rio Grande, entendemos que a aplicação do mesmo critério para as ilhas existentes no Mar Pequeno, no trecho compreendido entre a Foz do Rio Ribeira até a Barra de Cananéia, é válida. O agrupamento das ilhas por arquipélagos, a exemplo do que consta na referida lei, poderá ser útil para o planejamento da ocupação territorial dos municípios de Cananéia, Iguape e Ilha Comprida, objetivando minimizar os impactos decorrentes da ação humana e a obtenção de futuros recursos ambientais, inerentes a um complexo lagunar-estuarino.

Além desse enfoque, será necessário considerar as Unidades de Conservação de diversas categorias de manejo presentes nesses canais lagunares, tais como a Área de Proteção Ambiental Cananéia-Iguape-Peruíbe (APA CIP), Área de Relevante Interesse Ecológico do Guará (ARIE do Guará) e Parque Estadual do Lagamar de Cananéia (PELC), criadas em 1985, 2008 e 2008, respectivamente.

4. CONCLUSÕES

Com base na Lei Estadual nº 5.439, de 9 de setembro de 1959, que dispõe sobre convênio celebrado entre os estados de São Paulo e Minas Gerais para fixação das respectivas jurisdições para as ilhas existentes no Rio Grande, foi aplicado o mesmo critério para as ilhas existentes no Mar Pequeno, trecho entre a Foz do Rio Ribeira até a desembocadura de Cananéia.

Os resultados obtidos atestaram a eficácia do método, aplicando-se o Diagrama de Voronoi para a obtenção da linha média do Mar Pequeno e, por conseguinte, o agrupamento das ilhas existentes. O benefício esperado é que a partir deste estudo, os órgãos competentes do Estado de São Paulo, especificamente dos municípios de Cananéia, Iguape e Ilha Comprida, possam usufruir desta metodologia e utilizá-la para nortear discussões em situações na qual a organização dos seus territórios é necessária, além de viabilizar a obtenção de futuros recursos voltados para a conservação ambiental.

REFERÊNCIAS

- [1] Barcellini, V.C.; Motta, F.S.; Martins, A.M.; Moro, P.S. Recreational anglers and fishing guides from an estuarine protected area in southeastern Brazil: socioeconomic characteristics and views on fisheries management. *Ocean Coastal and Management*, v. 76, p. 23-29, 2013.
- [2] Cunha-Lignon, M.; Coelho-Jr., C.; Almeida, R.; Menghini, R.; Correa, F.; Schaeffer-Novelli, Y.; Cintrón-Molero, G. & Dahdouh-Guebas, F. Mangrove Forests and Sedimentary Processes on the South Coast of São Paulo State (Brazil). *Journal of Coastal Research*, SI 56: 405 – 409, 2009.
- [3] Cunha-Lignon, M.; Almeida, R.; Lima, N.G.B.; Galvani, E.; Menghini, R.P.; Coelho-Jr., C.; Schaeffer-Novelli, Y.. Monitoramento de Manguezais: abordagem integrada frente às alterações ambientais. *Anais... VIII CBUC - Trabalhos Técnicos*, Curitiba, 1-17, 2015.
- [4] Silva, J.F. Dados climatológicos de Cananéia e Ubatuba (Estado de São Paulo). *Boletim Climatológico do Instituto Oceanográfico*, v. 6, p. 1-21, 1989.
- [5] Tessler, M.G.; Furtado, V.V. Dinâmica de sedimentação das feições de assoreamento da região lagunar Cananéia-Iguape, Estado de São Paulo. *Bolm. Inst. Oceanogr.*, São Paulo, 32 (2): 117-124, 1983.
- [6] Tessler, M.G.; Suguio, K.; Mahiques, M.M.; Furtado, V.V. Evolução temporal e espacial da desembocadura lagunar de Cananéia (SP). *Boletim do Instituto Oceanográfico*, v. 38, n. 1, p. 23-29, 1990.
- [7] Tessler, M.G.; Souza, L.A.P. Dinâmica sedimentar e feições sedimentares identificadas na superfície de fundo do sistema Cananéia-Iguape, SP. *Revista Brasileira Oceanografia*, v. 46, n.1, p. 69-83, 1998.

Capítulo 6

Detecção e caracterização de alvos na imagem Radarsat-1 da superfície do mar no Golfo do México utilizando diagramas de espaços de estados defasados

Gil Márcio Avelino Silva

Fernando Pellon de Miranda

Jorge de Albuquerque Vieira

Ana Claudia da Rocha

Resumo: Este trabalho propõe o estudo de alvos presentes na superfície do mar, representada por dados radarsat-1, a partir de “transect lines”. Tais feições são linhas que cruzam a imagem e fornecem o valor do nível de cinza de cada pixel por elas atravessado. A ferramenta selecionada para esta análise é o “espaço de estados”, que se define como um espaço matemático, formado por eixos ortogonais. As coordenadas que são colocadas nestes eixos referem-se às medidas com defasamento no espaço dos níveis de cinza dos pixels contidos nas “transect lines”. Essas coordenadas mudam à medida que o ponto-estado se desloca pelo diagrama, gerando uma curva. Esta curva-trajetória geometrizava a transformação sofrida pelo sistema em seus estados, representando a assinatura do sistema no percurso definido pela “transect line”. Verificou-se que as trajetórias desenvolvidas pelos sistemas “mar”, “óleo” e “falso alvo” em seus diagramas de espaços de estados apresentam comportamentos diagnósticos.

Palavras-chave: Mar, óleo, RADARSAT-1, espaço de estados, Golfo do México.

1. INTRODUÇÃO

No presente trabalho, o estudo de alvos presentes na superfície do mar foi configurado a partir de “transect lines”, ou seja, de linhas que cruzam a imagem RADARSAT-1 e fornecem o valor do nível de cinza (DN – Digital Number) de cada pixel que elas atravessam. Tais valores são proporcionais à amplitude do sinal que retorna à antena do radar e resultam da interação do pulso de energia eletromagnética transmitido pelo sensor com os diferentes alvos presentes na superfície do oceano.

Cada “transect line” representa uma coleção de “sinais” que variam em função do espaço no intervalo de tempo em que a imagem RADARSAT-1 foi adquirida. Estes “sinais” descrevem o comportamento dos sistemas constituídos pela superfície do mar e por alvos nela selecionados.

Para representar tal configuração, foi utilizada uma imagem RADARSAT-1 adquirida em 22 de julho de 2001, no módulo de operação SCN1 (ScanSAR Narrow-1), em órbita ascendente, às 00:11:10 GMT (Greenwich Mean Time), conforme ilustrado na Figura 1.

Figura 1 - Imagem RADARSAT-1 SCN1 ascendente de uma região do Golfo do México, adquirida às 00:11:10 GMT de 22 de julho de 2001, horário local de 19:11:10 de 21 de Julho 2001.

A velocidade do vento medida pelo satélite QuikSCAT no momento da aquisição dos dados SAR variou de 1.5 a 9 m/s [1]. Nessa região do Golfo do México está situado o complexo de Cantarell, que inclui uma exsudação natural de óleo e várias plataformas petrolíferas.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

O retorno do pulso do radar é modulado pela rugosidade superficial do oceano. Assim, se for possível medir quantitativamente a distribuição no espaço desse retorno em determinado instante de tempo, a coleção de tais medidas constitui o estado do sistema naquele instante de tempo. Essa representação explicita os sinais na forma $DN(x)$, que constitui uma série espacial unidimensional, tendo por base a conceituação de [2].

Considera-se que ocorre eventualmente em $DN(x)$ alguma “contaminação”, $n(x)$, que pode ser considerado “ruído”. É possível ainda dizer que $n(x)$ refere-se a algum sinal que “envolve” um sinal aproximadamente estável $DN(x)$.

Em regiões offshore onde a velocidade do vento se situa no intervalo de 3 a 8 $m.s^{-1}$, a interação entre o pulso incidente do radar e a superfície rugosa do mar se dá através do espalhamento Bragg. Nesse caso, o mecanismo de interação com o alvo é o retroespalhamento difuso, que resulta em forte retorno para a antena do sensor, ou seja, em valores altos de $DN(x)$. Quando a velocidade do vento é menor que 3 $m.s^{-1}$, o espalhamento Bragg é fortemente atenuado e o oceano se apresenta liso e calmo (configurando um falso alvo para manchas de óleo, como se verá a seguir). Para esta situação, os pixels da imagem RADARSAT-1 apresentam valores de $DN(x)$ muito baixos, em razão da reflexão especular do pulso do radar na superfície lisa do mar.

A presença de óleo na superfície do mar também atenua o espalhamento Bragg, resultando igualmente em feições escuras na imagem RADARSAT-1. Por outro lado, quando a velocidade do vento está acima de 8 m.s^{-1} , o mar fica muito agitado; neste caso, as irregularidades na superfície do mar aumentam consideravelmente, assim como o retorno ao RADARSAT-1. Uma terceira possibilidade consiste na presença de navios ou plataformas petrolíferas na superfície do oceano, os quais são constituídos por inúmeros diedros e triedros. Tal geometria provoca o fenômeno de *double bounce* do pulso incidente do radar, que acarreta em um retorno fortíssimo para a antena do sensor e, assim, em valores muito altos $\text{DN}(\text{x})$.

A ferramenta selecionada na presente pesquisa para a análise das “*transect lines*” é o “espaço de estados”, que se define como um espaço matemático, formado por eixos ortogonais. As coordenadas que são colocadas nestes eixos referem-se às medidas dos níveis de cinza $\text{DN}(\text{x})$ dos pixels da imagem RADARSAT-1. Na medida em que tal propriedade muda ao longo de uma determinada “*transect line*”, estas coordenadas mudarão também e o ponto-estado irá deslocar-se pelo diagrama gerando uma curva. Como todos os pontos que compõem este espaço representam estados do sistema, fica assim construído um espaço de estados. Esta curva-trajetória geometriz a transformação sofrida pelo sistema em seus estados, representando sua assinatura no percurso definido pela “*transect line*”. A assinatura de um sistema é expressa pelo comportamento da trajetória que se desenvolve no espaço de estados.

Podem ocorrer muitos comportamentos quanto ao preenchimento do espaço de estados. A partir do momento em que um processo é disparado, um ponto é identificado como a condição inicial e uma trajetória desenvolve-se segundo a evolução no espaço do sistema. Observa-se que as órbitas acabam por preencher preferencialmente determinadas regiões (ou seja, há regiões do espaço de estados atraindo as trajetórias), enquanto que podem existir restrições quanto à ocupação de outras regiões.

Tendo por inspiração a abordagem proposta por [3], a presente pesquisa sugere um método onde, a partir de uma única “*transect line*”, é possível construir um espaço de estados formado por esta “*transect line*” e por ela mesma defasada no espaço. Assim, se a “*transect line*” é denotada $\text{DN}(\text{x})$, constroem-se, por exemplo, $\text{DN}(\text{x}+\text{k})$, etc., onde k é um número inteiro de pixels ao longo da “*transect line*”. Se $\text{k} = 1$, ocorre o par $\langle \text{DN}(\text{x}), \text{DN}(\text{x}+1) \rangle$, que implica confrontar um valor de DN ao longo da “*transect line*” com o seu sucessor imediato. Pode-se construir, desse modo, um espaço de estados defasado.

O espaço de estados aqui proposto, construído a partir de uma “*transect line*” defasada no espaço em relação a ela própria, possui algumas propriedades inerentes à sua forma de construção. Assim, se considerados os pares $\langle \text{DN}(\text{x}), \text{DN}(\text{x}+1) \rangle$, ocorrerá o caso em que $\text{DN}(\text{x}) = \text{DN}(\text{x}+1)$. Tal condição de identidade define uma “diagonal de correlação”. Desse modo, todos os pontos situados nessa diagonal indicam estados fortemente correlacionados do processo estudado. Por sua vez, no par $\text{DN}(\text{x})$ e $\text{DN}(\text{x}+\text{k})$, sendo k um número diferente de 1, está expressa a relação entre estados mais defasados.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Foram selecionadas duas sub-áreas na imagem RADARSAT-1 (Figura 1) para investigar o comportamento do mar e de diferentes alvos em sua superfície. Na primeira sub-área (Figura 2), a qual representa uma região do mar desprovida de alvos, foi definida a “*transect line*” V2.

Figura 2 – “*Transect line*” V2 no mar (ver localização na Figura 1).

Na outra sub-área (Figuras 3 e 4), onde ocorrem manchas de óleo (incluindo a exsudação natural), um falso alvo e várias plataformas petrolíferas, foi estabelecida a “transect line” V4.

Figura 3 – Região do mar com óleo e plataformas petrolíferas cruzadas pela “transect line” V4 (ver localização na Figura 1).

Figura 4 – Ampliação da Figura 3 na região em que V4 cruza manchas de óleo e uma plataforma petrolífera.

A área com óleo na superfície do mar aparece em detalhe na Figura 5, enquanto que aquela correspondente ao falso alvo é exibida na Figura 6. Nessas regiões oceânicas, foram definidas, respectivamente, as “transect lines” V5 para o óleo e V8 para o falso alvo.

Figura 5 - “Transect line” V5 cruzando manchas de óleo (ver localização na Figura 1).

Figura 6 - “Transect line” V8 cruzando falso alvo (ver localização na Figura 1).

De posse de tais “transect lines”, criou-se um atlas formado por mapas bidimensionais, exibindo arranjos tomados quatro a quatro, ou seja, $DN(x)$ versus $DN(x+1)$, $DN(x)$ versus $DN(x+5)$, até $DN(x)$ versus $DN(x+9)$. As coordenadas que são colocadas nos eixos cartesianos de tais mapas bidimensionais referem-se às medidas dos níveis de cinza $DN(x)$ dos pixels da imagem RADARSAT-1 ao longo de “transect lines” (Figuras 7 a 10).

Figura 7. “Transect line” V2 defasada (mar).

Figura 8. “Transect line” V4 defasada (mar com alvos).

Figura 9. “Transect line” V5 defasada (óleo).

Figura 10 – “Transect line” V8 defasada (falso alvo).

O retroespalhamento difuso relacionado ao efeito Bragg na superfície do oceano pode explicar o comportamento estável exibido por V2 (Figura 7). Somente no par $\langle DN(x), DN(x+1) \rangle$, a totalidade dos pontos se concentra ao longo da diagonal de correlação. A partir dos demais defasamentos, apresentam uma assinatura própria, bem estável. De fato, o que se obtém em V2 é um aglomerado de forma circular, com centro nas coordenadas (100,100). Esse é um sintoma de ausência de correlação.

A “*transect line*” V4, além da superfície do mar, inclui manchas de óleo e uma plataforma petrolífera (Figura 8). Para $DN(x+1)$, grande parte dos pontos tende a se concentrar ao longo da diagonal de correlação, lembrando o comportamento de V2. Todavia, sua distribuição no diagrama indica a existência de pontos situados sobre os eixos cartesianos. Além disso, a partir das coordenadas (100,100), há pontos esparsos que se alinham na direção da diagonal de correlação. As trajetórias estão em grande parte orientadas na direção da diagonal de correlação e possuem lóbulos bem pronunciados. No caso de $DN(x+5)$, a maioria dos pontos tende a formar um aglomerado com centro aproximadamente nas coordenadas (75,75), sem a influência da diagonal de correlação. São encontrados pontos situados sobre os eixos cartesianos, alguns com valores altos (>100) na abscissa e na ordenada. Pontos esparsos além da coordenada (100,100) tendem a se distanciar da diagonal de correlação. As trajetórias se posicionam tanto na abscissa como na ordenada em vários de seus trechos. Além dos aspectos acima mencionados, para $DN(x+9)$ as trajetórias tendem a se dispor numa configuração em formato de cruz, cujas partes vertical e horizontal se interceptam aproximadamente nas coordenadas (75,75), ou seja, no centro do aglomerado de pontos verificado nos defasamentos anteriores.

Para V5, a “*transect line*” referente à mancha de óleo, ocorre uma diminuição progressiva de pontos situados fora dos eixos cartesianos, até que em $DN(x+9)$ todos se situam inteiramente nas abscissas ou ordenadas.

Na “*transect line*” V8, desenvolvida no falso alvo resultante de uma área de baixo vento, o defasamento $DN(x+1)$ inclui pontos situados nos eixos cartesianos. A maioria, contudo, se dispõe ao longo da diagonal de correlação, lembrando o comportamento de V2 (Figura 7). Em seguida, em $DN(x+5)$, verifica-se a ocupação (inclusive pelas trajetórias), do espaço quadrado delimitado pelas coordenadas (50,50). Existem pontos situados nas abscissas e ordenadas. Tal comportamento se repete para $DN(x+9)$.

4. CONCLUSÕES

As trajetórias desenvolvidas pelos sistemas “mar”, “óleo” e “falso alvo” em seus diagramas de espaços de estados apresentam comportamentos diagnósticos. Com efeito, na medida em que $DN(x)$ caminha ao longo de uma “*transect line*”, os valores mudam ao serem introduzidos os defasamentos $DN(x+k)$. A assinatura dos sistemas é expressa pelo comportamento das trajetórias que se desenvolvem no espaço de estados.

Enquanto a assinatura do mar (V2) é bem definida, constatou-se que a contaminação de uma região oceânica por óleo e plataformas petrolíferas (V4) pode ser considerada como um “ruído”. É possível ainda dizer que o sinal do ruído “envolve” aquele definido em V2.

Observada isoladamente, ocorre na “*transect line*” V5 um espaço de estados em $DN(x+9)$ com pontos situados apenas nas abscissas e ordenadas. Por sua vez, o comportamento é marcadamente distinto para a “*transect line*” V8, que se localiza na área de falso alvo. Nesse caso, para os defasamentos $DN(x+5)$ e $DN(x+9)$, os pontos ocupam uma região quadrada delimitada pelas coordenadas (50,50).

Assim, dependendo do alvo na superfície do mar, as trajetórias acabam por preencher preferencialmente determinadas regiões (ou seja, há restrições no espaço de estados atraindo as trajetórias), enquanto podem existir restrições quanto à ocupação de outras regiões.

REFERÊNCIAS

- [1] Miranda, F.P., Marmol, A.M.Q., Pedroso, E.C., Beisl, C.H., Welgan, P., Morales, L.M., Analysis of Radarsat-1 data for offshore monitoring activities in the Cantarell Complex, Gulf of Mexico, using the Unsupervised Semivariogram Textural Classifier. Canadian Journal of Remote Sensing, v. 30, n. 3, p. 424-436, 2004.
- [2] UNWIN, D. J., Hepple, L. W., The statistical analysis of spatial series. The Statistician, v. 23, n.3/4, p. 211-227, 1974.
- [3] Packard, N., Crutchfield, J., Farmer, J., SHAW, R., Geometry from a time-series Physical Review Letters, v. 45, n. 9, p. 712-716, 1980.

Capítulo 7

Favorabilidade para disposição de resíduos de rochas ornamentais utilizando análise multicritério e lógica fuzzy: Um estudo de caso em Cachoeiro de Itapemirim-ES

Julio Almeida Moreira

Luiz Felipe Lempê

Marcos Moulim da Paschoa

Fabricia Benda de Oliveira

Resumo: A produção de rochas ornamentais é uma atividade que gera um grande volume de resíduos durante as etapas de beneficiamento, e o seu correto descarte, tem se tornado um desafio para o setor. Os métodos de análise espacial são instrumentos que podem colaborar com o plano de gerenciamento e destinação desses resíduos, visto que podem fornecer informações importantes sobre o espaço geográfico. Nesse contexto, o presente estudo buscou determinar os locais mais adequados para a disposição de resíduos de rochas ornamentais no município de Cachoeiro de Itapemirim-ES, utilizando análise multicritério com aplicação de lógica *fuzzy*. Para definir os locais mais aptos, foram considerados em ordem decrescente de importância, os fatores hidrografia, declividade, solos, rodovias, zonas naturais, áreas urbanas, geologia e corredor ecológico. Como restrições foram consideradas as distâncias e condições mínimas exigidas para a implantação de aterros. Os fatores foram padronizados numa escala contínua de adequabilidade através da lógica *fuzzy*, sendo estes combinados pelo método de combinação linear ponderada e utilizando o processo de hierarquia analítica, foram comparados por uma matriz de comparação par a par e assim calcularam-se os pesos para cada fator. Como resultado, obteve-se um mapa com escala de adequabilidade entre 0 a 255, com três possíveis locais favoráveis à disposição dos resíduos, de área mínima de 60 ha. Dentre eles, a área 3 foi considerada a mais promissora por estar em uma posição que favorece a logística para o escoamento dos resíduos. O método se mostrou eficaz, visto que foi possível definir locais favoráveis à disposição dos resíduos e, além disso, o produto gerado pode ser útil para a futura gestão de resíduos no município do estudo.

Palavras-chave: Sistema de informações geográficas, resíduos, gestão ambiental.

1. INTRODUÇÃO

As atividades básicas desenvolvidas pela humanidade, em todos os seus aspectos (industriais, sociais e residenciais), são responsáveis pela geração de grande quantidade de resíduos (PEREIRA NETO, 1999). Nas últimas décadas, a problemática ambiental causada pelo processo do desenvolvimento da sociedade tem despertado interesse por parte das políticas públicas. Assim, as leis ambientais se tornaram mais rígidas em relação ao processo de produção e descarte de resíduos, além dos órgãos fiscalizadores que mostram um desempenho mais eficiente.

No segmento econômico, o Estado do Espírito Santo apresenta grande destaque nacional na exploração do potencial mineral do setor de rochas ornamentais, sendo responsável pela produção de 75% do mármore e 50% de granito do país. No Estado, o município de Cachoeiro do Itapemirim (Figura 1) se destaca como maior polo de beneficiamento deste setor.

Durante o processo de beneficiamento dos blocos de rochas (método de teares), é utilizada uma polpa de serragem (lama abrasiva) composta por granalha de aço, cal e água (BRAGA, et al., 2010). O pó de rocha produzido é então incorporado à lama, sendo posteriormente descartado.

O volume de resíduos produzidos nas diversas etapas de produção do setor de rochas ornamentais e a busca por locais adequados de descarte a fim de se atender a legislação vigente, têm gerado preocupação em grande parte das empresas deste setor. O custo de locais ideais para disposição de resíduos é alto, justificando assim a busca por alternativas que sejam cada vez mais viáveis (SOUSA, 2007).

A utilização do Sistema de Informações Geográficas (SIG) constitui-se como uma importante ferramenta na tomada de decisões, uma vez que torna possível a manipulação de grande quantidade de informações e análise dos dados de maneira eficiente. Dessa forma, o objetivo desse trabalho foi encontrar locais adequados para o descarte dos resíduos sólidos gerados pelo setor de rochas ornamentais no Município de Cachoeiro de Itapemirim-ES, por meio da análise multicritério e lógica *fuzzy*.

Figura 1. Mapa de localização da área de estudo.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Para o processamento dos dados foram utilizados os seguintes materiais: Mapa Geológico da Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM) na escala 1:250.000 - Folha Cachoeiro de Itapemirim (SF.24-V-A) (VIEIRA, 1997); Mapa de declividade, gerado através de imagem de radar da *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM), refinado pela plataforma TOPODATA (INPE, 2011); *Shapefile* de ferrovias e rodovias federais em escala 1:50.000 (DNIT, 2016); *Shapefile* de Rodovias Estaduais na escala de 1:50.000 (DER-ES, 2016); *Shapefile* de Hidrografia na escala de 1:50.000 (IBGE, 1983); Mapa de solos do projeto Radam Brasil, na escala de 1:250.000 (RADAMBRASIL, 1983); Cartas temáticas na escala de 1:50.000 com *shapefiles* de áreas urbanas, limites administrativos, corredores ecológicos e zonas naturais (IJSN, 2011).

O modelo de análise multicritério é estruturado por níveis hierárquicos de análise, sendo processado em três etapas: padronização (ou normalização) dos fatores; avaliação de pesos; e combinação. Para a

avaliação, utilizou-se a Combinação Linear Ponderada (WLC) e os fatores foram padronizados numa escala contínua de adequabilidade através da lógica *fuzzy*.

Como critérios foram utilizados fatores e restrições. As restrições utilizadas excluem áreas de acordo com determinadas condições e possuem caráter booleano. Os fatores definem algum grau de aptidão para a área considerada, sendo necessário uma padronização, e neste trabalho foram normalizados em uma escala entre 0 e 255.

Como fonte complementar para o auxílio na determinação das áreas mais adequadas para disposição de resíduos, utilizou-se a norma NBR 13.896 (ABNT, 1997) e os trabalhos de Marques (2001) e Calijuri et al. (2007).

As restrições impõem limitações absolutas aos critérios considerados. Assim sendo, as condições máximas ou mínimas determinadas para os fatores devem ser estabelecidas com relação à distância máxima ou mínima em relação às distâncias destes.

As restrições utilizadas encontram-se no Quadro 1. Para hidrografia, áreas urbanas e declividade, foram utilizados valores baseados na norma NBR 13.896 (ABNT, 1997), que determina as condições mínimas exigidas para a implantação de aterros de resíduos não perigosos. Com relação ao sistema viário e ao corredor ecológico determinou-se uma distância mínima de 100 metros.

Quadro 1. Critérios utilizados para a definição das restrições.

Restrição	Valor adotado
Hidrografia	200 m (<i>buffer</i>)
Declividade	Entre 2% a 29%
Rodovias	100 m (<i>buffer</i>)
Ferrovias	100 m (<i>buffer</i>)
Áreas Urbanas	550 m (<i>buffer</i>)
Corredor Ecológico	100 m (<i>buffer</i>)
Limite do município	Limite municipal

Os fatores utilizados foram: hidrografia, declividade, solos, rodovias, zonas naturais, áreas urbanas, geologia e corredor ecológico.

Em relação às unidades geológicas, os valores de maior adequabilidade foram atribuídos às unidades com maciços graníticos e rochas metamórficas com baixo grau de fraturamento. Dessa forma, os Depósitos Aluvionares receberam o menor valor de adequabilidade (0), por serem saturados, compressíveis e por possuírem baixa resistência ao cisalhamento. Os valores intermediários foram atribuídos às unidades: Complexo Paraíba do Sul (100) e Rochas Intrusivas Gnáissificadas de Regime Compressivo (200). O maior valor de adequabilidade foi atribuído à unidade de rochas intrusivas, ácidas, intermediárias e básicas tardi-a-pós-transcorrentes (255).

Posteriormente, utilizou-se o mapa de solos a fim de reconhecer as principais unidades de solos. Considerando que solos mais argilosos (coeficiente de permeabilidade inferior a 10⁻⁶ cm/s) são os mais favoráveis para deposição de resíduos de acordo com a NBR 13.896, atribuiu-se aos solos aluviais o menor valor de adequabilidade (0). Os demais solos receberam valores intermediários: litólico (30), cambissolo (50), brunizéns avermelhados (100), podzólico eutrófico (160). Já o latossolo vermelho-amarelo obteve o maior valor de adequabilidade (255).

O fator zonas naturais tem como base o mesmo processo na obtenção dos fatores geológicos, pedológicos e ambientais. Os locais de menor adequabilidade são as zonas frias, acidentadas e chuvosas (30). As zonas de valor intermediário foram: zonas amenas, acidentadas e chuvosas (80), zonas quentes, acidentadas e chuvosas (100), zonas quentes, acidentadas e chuvosas/secas (125), zonas quentes, acidentadas e secas (230). Já as zonas naturais caracterizadas por serem quentes, planas e secas obtiveram o maior valor de adequabilidade (255).

A combinação dos fatores se deu pela combinação linear ponderada, em que a partir do processo de hierarquia analítica, os fatores foram comparados dois a dois, por uma matriz de comparação par a par. Este algoritmo considera os fatores a partir de sua importância relativa, calculando diferentes pesos para cada variável envolvida na escolha das áreas mais aptas para disposição de resíduos de rocha ornamental.

Foram considerados em ordem decrescente de importância os seguintes fatores: hidrografia, declividade, solos, rodovias, zonas naturais, áreas urbanas, geologia e corredor ecológico. Os valores dos pesos

calculados encontram-se no Quadro 2.

Quadro 2. Pesos calculados para cada fator.

Fatores	Pesos calculados
Hidrografia	0,3228
Declividade	0,2187
Solos	0,1687
Rodovias	0,1337
Zonas naturais	0,0767
Áreas urbanas	0,0425
Geologia	0,0237
Corredor Ecológico	0,0131

3.RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir dos critérios utilizados no processo de hierarquia analítica, foi gerado um mapa de adequabilidade de disposição de resíduos de rochas ornamentais no município de Cachoeiro de Itapemirim-ES, com a adequabilidade variando entre 0 a 255, onde 0 é considerado inapto e 255 são áreas com maior adequabilidade.

A partir dos pesos atribuídos aos fatores, gerou-se o mapa final de adequabilidade (Figura 2). Observa-se que as áreas mais favoráveis se encontram localizadas nas porções central, sudeste e oeste, não ultrapassando valores de 157 de adequabilidade.

Figura 2. Mapa de favorabilidade apresentando as áreas potenciais para a disposição de resíduos de rochas ornamentais no município de Cachoeiro de Itapemirim-ES.

Para refinar a análise, gerou-se um mapa com adequabilidade mínima de 140 e área mínima de 60 hectares (ha), valor este estabelecido por Marques (2001), sendo a área mínima necessária para receber o volume médio mensal de resíduos produzidos por empresas de rochas ornamentais do município, obtendo-se como resultado três locais potenciais, enumerados de 1 a 3 (Figura 3)

O local 1 possui área de 82,39 ha e está localizado no distrito de São Vicente. O local 2 dispõe de 116,79 ha e situa-se no distrito de Gironda. Já o local 3, com 77,20 ha de área, encontra-se na sede do município (Figura 4).

Dentre os locais potenciais procurou-se identificar o mais promissor. A área 3 foi o que se demonstrou como tal, por estar em uma posição estratégica, no centro do município e próximo as áreas urbanizadas, onde se encontra o maior número de empresas de beneficiamento, favorecendo a logística para o escoamento dos resíduos.

Figura 4. Mapa com a localização das áreas potenciais em relação aos limites distritais e área urbanizada do município.

4.CONCLUSÕES

A metodologia utilizando análise multicritério e sistema de informações geográficas como ferramenta na avaliação de escolha das áreas ditas mais aptas no município de Cachoeiro de Itapemirim-ES, mostrou-se eficaz e adequada para a seleção de possíveis áreas para a disposição de resíduos gerados pelo setor de rochas ornamentais.

Nota-se que o resultado do trabalho evidenciado pelos três locais potenciais gerados mostrou-se bastante restritivo, uma vez que se buscou atender as exigências requeridas pela NBR 13.896, considerando que o município de Cachoeiro do Itapemirim apresenta um denso sistema hidrográfico, o que limitou os resultados.

Para resultados mais precisos, sugere-se a utilização de levantamentos hidrogeológicos e geotécnicos e visitas *in loco*. As variações sazonais da superfície freática de aquíferos livres e as características geotécnicas dos solos são fatores muito importantes, que são considerados como uma das exigências pela norma NBR 13.896 (ABNT, 1997).

Denota-se a importância das autoridades locais nas considerações propostas neste trabalho, com relação aos locais de maior favorabilidade para a deposição de resíduos de rochas ornamentais, visto que a legislação ambiental vigente é rigorosa, obrigando as empresas a buscarem alternativas para que esta seja atendida.

REFERÊNCIAS

- [1] ABNT Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR - 13.896: Aterros de resíduos não perigosos – Critérios para projeto, implantação e operação. Rio de Janeiro, 1997.
- [2] Braga, F. S.; Buzzi, D. C.; Couto, M. C. L.; Lange, L. C. Caracterização ambiental de lamas de beneficiamento de rochas ornamentais, Engenharia Sanitária e Ambiental, v.15, n.13, pp.237-244, 2010.
- [3] Calijuri, M. L.; Loures, S. S. P.; Santiago, A. F.; Schaefer, C. E. G. R.; Lugão, W. G.; Alves, J. E. M. Identificação de áreas alternativas para disposição de resíduos sólidos na região do Baixo Ribeira do Iguape – SP, Engenharia Sanitária e Ambiental, v.12, n.3, p.335-342, 2007.
- [4] DER-ES Departamento de Estradas de Rodagem do Estado do Espírito Santo. Mapa Rodoviário DER-ES 2016. Vitória, 2016. Disponível em: <<https://der.es.gov.br/mapa-rodoviario-DER-ES>>. Acesso em: 03 set. 2019.
- [5] DNIT - Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Mapas Multimodais – Shapefiles - Ferrovias e Rodovias Federais em escala 1:50.000. Brasília, 2016. Disponível em: <<http://www.dnit.gov.br/mapas-multimodais/shapefiles>>. Acesso em: 03 set. 2019.
- [6] IBGE Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Mapas: Bases e Referenciais – Cartas Topográficas 1:50.000. Rio de Janeiro, 1983. Disponível em: <<https://mapas.ibge.gov.br/bases-e-referenciais/bases-cartograficas/cartas>>. Acesso em: 03 set. 2019.
- [7] IJSN Instituto Jones dos Santos Neves. ES em Mapas: Arquivos Shapefile. Vitória, 2011. Disponível em: <<http://www.ijsn.es.gov.br/mapas/>>. Acesso em: 03 set. 2019.
- [8] INPE Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Topodata - Banco de Dados Geomorfométricos. São José dos Campos, 2011. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/topodata/>>. Acesso em: 03 set. 2019.
- [9] Marques, E. T. Identificação de áreas potenciais para a disposição de rejeitos de mármore e granito em Cachoeiro de Itapemirim através de análise multicritério. 2001. 134 p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2001.
- [10] Pereira Neto, J. T. Quanto Vale nosso lixo, IEF/UNICEF, Viçosa, pp.70, 1999.
- [11] Radambrasil. Mapas: Bases e Referenciais - Cartas Temáticas – Pedologia: Folha SF.24 1:250.000/Projeto Radambrasil. Rio de Janeiro, 1983. Disponível em: <http://geoftp.ibge.gov.br/informacoes_ambientais/pedologia/vetores/escala_250_mil/recorte_milionesimo/>. Acesso em: 03 set. 2019.
- [12] Sousa, J. G. Análise ambiental do processo de extração e beneficiamento de rochas ornamentais com vista a uma produção mais limpa: aplicação Cachoeiro de Itapemirim-ES. 2007. 42 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de Especialização em Análise Ambiental) - Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora. 2007.
- [13] Vieira, V. S. Cachoeiro de Itapemirim: Folha SF.24-V-A: Estados do Espírito Santo, Rio de Janeiro e Minas Gerais. Brasília: CPRM, 1997. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil - PLGB. Disponível em: <<http://rigeo.cprm.gov.br/xmlui/handle/doc/8745?show=full>>. Acesso em: 03 set. 2019.

Capítulo 8

Geotecnologias aplicadas à delimitação de corredores ecológicos entre unidades de conservação de proteção integral no Estado de Rondônia

Aricson Garcia Lopes

Nicolly Dal Santo Svierzowski

Marcos Leandro Nunes

Josiane de Brito Gomes

Resumo: Com a intensa ocupação que ocorreu no estado de Rondônia no século XX, houve uma devastação considerável de seus recursos naturais. Desde então, suas florestas foram alteradas e até eliminadas, inicialmente devido ao valor comercial de sua biodiversidade faunística e florística e, mais recentemente, para dar lugar às várias atividades econômicas, com ênfase na pecuária e na agricultura de grãos. Essas ações resultam na fragmentação florestal, que por sua vez provoca a interrupção do fluxo de genes de várias espécies, diminuindo consequentemente o número de espécies ou mesmo as extinguindo. Assim, a implementação de corredores ecológicos entre os remanescentes florestais, como unidades de conservação, representa uma estratégia promissora para a conservação da biodiversidade da fauna e da flora. Neste contexto, o presente trabalho propõe a delimitação de corredores ecológicos entre as unidades de conservação Reserva Biológica Guaporé e Parque Estadual Corumbiara, localizadas no sudeste do estado de Rondônia, utilizando modelagem geográfica por geotecnologias, utilizando o Processo de Hierarquia Analítica (AHP). Os resultados revelaram sete propostas de corredores ecológicos, com comprimento médio de 32.155 metros, largura média de 3.215,5 metros e área média de 10.095,5 hectares. Todas as propostas estão inseridas nos limites do município de Alta Floresta D'Oeste. Dentre as sete propostas, o corredor “E” foi o que apresentou melhores condições ambientais, apresentando 91,4% de sua área total coberta por florestas.

Palavras-chave: Sensoriamento remoto, processamento digital de imagens, fragmentação florestal, modelagem geográfica.

1. INTRODUÇÃO

Com a intensa ocupação ocorrida na Amazônia no século XX, houve uma significativa devastação de seus recursos naturais. Desde então, suas florestas vêm sendo alteradas e até mesmo eliminadas, inicialmente devido o valor comercial de sua biodiversidade faunística e florística e mais recentemente para dar lugar às diversas atividades econômicas.

De acordo com Garcia et al. (2013) especialmente no estado de Rondônia, as áreas de florestas naturais são removidas principalmente para a formação de pastagem e criação de gado bovino, que é a principal atividade econômica do estado. Tais processos resultam em uma crescente fragmentação dos ecossistemas naturais (CASTRO, 2004).

Neste contexto, torna-se importante o desenvolvimento de medidas que visem a mitigação dos impactos causados pela fragmentação florestal. Dessa forma, a implementação de corredores ecológicos (CEs) torna-se uma importante ferramenta.

Conforme a Resolução nº 9 de 1996 do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA), o CE é definido como uma faixa de cobertura vegetal existente entre remanescentes de vegetação primária, em estágio médio e avançado de regeneração, capaz de propiciar habitat ou servir de área de trânsito para a fauna residente nos remanescentes. Os CE entre remanescentes constituem-se de faixas de cobertura vegetal existentes, nas quais seja possível sua interligação, em especial às UCs e áreas de preservação permanentes (APPs).

A fim de que estudos relacionados à delimitação de CEs sejam realizados, visto que são, geralmente, extensas áreas geográficas, faz-se o uso de geotecnologias para auxiliar na delimitação e identificação dos melhores locais para estabelecê-los, sendo fundamentais e proporcionando um resultado satisfatório (OLIVEIRA, 2012). As geotecnologias são importantes para a análise integrada da paisagem através de Sensoriamento Remoto e Sistemas de Informação Geográficas - SIG (ROCHA et al., 2007).

Sendo assim, o presente trabalho propõe a delimitação de corredores ecológicos por método indireto, a partir do uso de modelagem de eventos terrestres por geotecnologias que serão descritos na metodologia.

2. METODOLOGIA DE TRABALHO

2.1 ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo corresponde às unidades de conservação de proteção integral Reserva Biológica do Guaporé, Parque Estadual (PE) de Corumbiara e a zona de entorno (buffer) de 10 quilômetros para ambas as unidades. A área está localizada na porção sudeste do estado de Rondônia, Amazônia Ocidental, abrangendo parte de oito municípios, sendo eles: São Francisco do Guaporé, Seringueiras, São Miguel do Guaporé, Alta Floresta D'Oeste, Alto Alegre do Parecis, Pimenteiras do Oeste, Cerejeiras e Corumbiara, conforme Figura 1.

Figura 5. Mapa de localização da área de estudo.

2.2. PROCEDIMENTO METODOLÓGICO

Para a realização da modelagem do corredor ecológico utilizou-se a metodologia proposta por Louzada et al. (2010), que por sua vez faz uso do método *Analytic Hierarchy Process* (AHP), desenvolvido por Thomas L. Satty na década de 70, método amplamente utilizado e conhecido no apoio à tomada de decisões (MARINS et al., 2009).

A modelagem foi realizada no SIG ArcGis versão 10.3 (versão para estudantes). Para dar início à modelagem foram definidas as variáveis de entrada, sendo elas:

1. Uso e cobertura da terra;
2. Declividade;
3. Áreas de Preservação Permanente (Hidrografia e nascentes).

Vale ressaltar que para as áreas de preservação permanente foram considerados apenas as redes de drenagem e as nascentes, sendo que, devido à inviabilidade de verificar *in loco* a largura de cada rede de drenagem, foi considerada largura máxima de 10 metros. Desta forma, de acordo com a Lei 12.651/2012 (Novo Código Florestal), a APP para corpos hídricos de até 10 metros de largura é de 30 metros em cada faixa marginal e para as nascentes, a APP foi delimitada com um raio de 50 metros.

Assim, a partir dos dados processados, foram atribuídos os custos de característica identificada nas variáveis de entrada. A Tabela 1 apresenta os custos de cada classe do uso e cobertura da terra.

Tabela 1. Custos de cada classe de uso da terra.

Classes	Custos	Justificativas
Floresta	1	Área com cobertura florestal conservada, consideradas propicia para a passagem de corredores ecológicos.
Cerrado	1	Área com vegetação característica do bioma cerrado, recomendada para passagem de corredores ecológicos por apresentar rica biodiversidade.
Área úmida	1	Área com características de pantanal, recomendada para passagem de corredores ecológicos por servir de abrigo para diversas espécies de fauna.
Água	1	Área adequada para integração dos corredores ecológicos, por ser lugar de dessedentação de animais e constituir em seu entorno área de preservação permanente.
Antropizado	100	Áreas consideradas barreiras para a implementação dos corredores ecológicos por se encontrarem em atividade agropecuária.
Nuvens	1	Classe nos entornos de florestas, logo se supõe que se não tivessem nuvens na imagem, seriam classificadas como floresta.
Afloramento rochoso	100	Área que não indicada para ser passagem de corredores ecológicos por ter características parecidas com áreas antropizadas.

Fonte: Adaptado de Louzada et al., (2010).

A Tabela 2 apresenta os custos para a declividade.

Tabela 2. Custos de cada classe da declividade.

Declividade (graus)	Custos	Justificativas
< 20	100	Áreas consideradas como agricultáveis, se enquadrando como barreiras para a passagem de corredores ecológicos.
20 a 45	50	Características de relevo fortemente ondulado, são áreas restritas para integrar os corredores ecológicos.
> 45	1	Área de preservação permanente, consideradas áreas propicias para passagem de corredores ecológicos.

Fonte: Adaptado de Louzada et al., (2010).

Para a variável APP, foi atribuído o custo máximo (100), por estas serem consideradas áreas ideais para passagem de corredores ecológicos.

Após a atribuição dos custos de cada variável, foi aplicado o método AHP, gerando os pesos de importância de cada variável para identificar trajetos entre os fragmentos considerando o menor custo, ou seja, os menores valores atribuídos a cada variável. A Tabela 3 apresenta a matriz de custos gerada pelo método AHP.

Tabela 3. Matriz de custos e pesos de cada variável.

Fatores	Declividade	APPs	Uso da terra	Pesos
Declividade	1	1/3	1/5	0,1061
APPs	3	1	1/3	0,2605
Uso da terra	5	3	1	0,6334

Fonte: Adaptado de Louzada et al., (2010).

Após a aplicação do método AHP, foram gerados os caminhos que apresentaram os menores custos para implementação dos corredores ecológicos. Após a delimitação das linhas de passagem dos corredores, delimitou-se a largura de sua faixa marginal, com base nos parâmetros estabelecidos na Resolução CONAMA nº 9 de 1996, a qual define que a largura de um corredor ecológico deverá ser 10% do seu comprimento, não podendo ser inferior a 100 metros. Após a delimitação dos corredores e suas respectivas larguras, foram elaborados mapas temáticos de uso da terra e de localização de cada corredor.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. VERIFICAÇÃO DA ACURÁCIA DE CLASSIFICAÇÃO

A verificação da acurácia foi realizada através da análise da matriz de confusão gerada pelo SIG SPRING. Com base na matriz de confusão o SIG aplica o cálculo do desempenho geral e do índice KAPPA. Dessa forma, o índice KAPPA, a confusão média e o desempenho geral, que são descritos na Tabela 4.

Tabela 4. Resultado da análise estatística descritiva da classificação.

Descrição	Resultado
Índice KAPPA	91.16%
Confusão média	4.77%
Desempenho geral	95.23%

Como pode ser observado, o índice KAPPA foi de 91,16%, de acordo com Fonseca (2000) esse valor é classificado como Excelente, evidenciando pouca confusão espectral entre as classes. O desempenho geral da classificação foi de 95,23% e a confusão média entre as classes, foi de 4,77%, a confusão média pode ter ocorrido devido a semelhança da resposta espectral das classes cerrado/antropizado/afloramento rochoso. Tais valores, assim como o índice KAPPA indicam que os resultados da classificação foram satisfatórios, apresentando de forma coerente à realidade da área estudada.

3.2. MODELAGEM DOS CORREDORES ECOLÓGICOS

Após a aplicação do método AHP, foi verificada a análise de consistência dos custos, que apresentou valor de 0,041. Segundo Louzada et al. (2010) o valor da análise de consistência deve ser menor que 0,1. Sendo assim, o valor encontrado para este trabalho foi aceitável. O método supracitado resultou em uma proposta de sete corredores ecológicos (Figura 2). Sales (2015) utilizando a mesma metodologia obteve a proposta de 14 corredores ecológicos entre terras indígenas na porção sudeste do estado de Rondônia.

Figura 2. Mapa dos corredores ecológicos resultantes do método AHP.

É possível constatar que grande parte da área está conservada, ou seja, o mapeamento dos corredores foi tarefa mais de tomada de consciência da conservação. Não obstante, um fator de risco observado é a presença de uma estrada que perpassa a área, e que em algumas áreas está camuflada pela floresta.

Na porção central da área de análise observaram-se áreas claras, certamente devido à presença de uma estrada. Como efeito, espera-se para os próximos anos um avanço da retirada da vegetação, que sempre ocorreu e ocorre em Rondônia a partir da abertura de uma estrada.

Como referido, a modelagem resultou em sete corredores ecológicos que conectam a REBIO Guaporé e o PE de Corumbiara, nomeados de corredores A, B, C, D, E, F e G. O comprimento médio destes foi de 32.155 metros, com largura média de 3.215,5 metros e área média de 10.095,5 hectares. Louzada et al. (2010) em estudo semelhante realizado no estado do Espírito Santo, obteve a proposta de seis corredores com médias de comprimento, largura e área de 15.010,5 metros, 1.501,05 metros e 2.044,4 hectares, respectivamente, que conectam os Parques estaduais de Forno Grande e Pedra Azul. Assim, as informações referentes aos corredores foram organizadas e apresentadas na Tabela 5.

Tabela 5. Corredores ecológicos propostos pelo método AHP (em ordem crescente de tamanho).

Corredor	Comprimento (m)	Largura (m)	Área (ha)
Corredor A	30.512	3051,2	9.174,36
Corredor B	29.755	2975,5	8.684,34
Corredor C	34.000	3400	11.220,62
Corredor D	34.878	3487,8	11.807,90
Corredor E	31.430	3143	9.492,86
Corredor F	31.178	3117,8	9.363,20
Corredor G	33.333	3333,3	10.925,64

Como pode ser observado, o corredor que apresentou maior comprimento e maior área foi o D, com 34,84 km de comprimento e 11.807,9 hectares de área e o corredor B apresentou as menores medidas, com 29,75 km de comprimento e área de 8.684,34 hectares. Como referido, para obtenção da largura do corredor foi seguida a Resolução CONAMA nº 09 de 1996, que especifica uma largura de 10% do comprimento. Outros estudos encontrados na literatura definiram larguras distintas. Nunes et al. (2005) utilizaram 90 metros e Altoé et al. (2005) utilizaram 200 metros. Louzada et al. (2010), Saito et al. (2016) e Sales (2015) seguiram também a Resolução CONAMA nº 09/1996.

Para a escolha da melhor proposta de corredor, foi relevante o mapeamento do uso e ocupação da terra em cada corredor (Figura 3); os dados do mapeamento foram organizados nas Tabelas 6 e 7.

Figura 3. Mapa do uso e ocupação da terra nos corredores ecológicos.

Tabela 6. Uso e ocupação da terra em cada corredor ecológico.

Classes	Corredores Ecológicos - área de cada classe (ha)						
	A	B	C	D	E	F	G
Floresta	1.647	1.257,12	1.308,33	1.697,13	8.696,54	8.590,95	9.966,42
Área úmida	6.331,50	6.994,53	9.151,20	9.332,82	591,67	563,04	618,93
Antropizado	888,21	116,73	521,46	449,37	237,75	243,09	372,69
Água	349,29	347,4	265,5	353,43	0	0	0

Tabela 7. Percentual do uso e ocupação da terra em cada corredor ecológico.

Classes	Corredores Ecológicos - Percentual de cada classe						
	A	B	C	D	E	F	G
Floresta	17,9%	14,4%	11,6%	14,3%	91,4%	91,3%	91,0%
Área úmida	68,7%	80,3%	81,4%	78,9%	6,2%	6,0%	5,6%
Antropizado	9,6%	1,3%	4,6%	3,8%	2,5%	2,6%	3,4%
Água	3,8%	4,0%	2,4%	3,0%	0,0%	0,0%	0,0%

Analisando as Tabelas 6 e 7 foi possível constatar que o corredor A apresentou maior área antropizada enquanto que o corredor B apresentou a menor. Porém, o corredor B, assim como os corredores A, C e D possuem em sua maior parte, áreas úmidas, que no período de seca podem vir a ser utilizadas como pastagem para o gado bovino. Entretanto, segundo Santos (2008), as áreas úmidas apresentam grande diversidade de espécies faunísticas. Pode-se destacar o Cervo do pantanal - *Blastocerus dichotomus*, espécie ameaçada de extinção encontrada na REBIO Guaporé e que tem como seu habitat as áreas alagadas (ICMBio, 2016). Além disso, destaca essa área como apta a se tornar um Sítio Ramsar, ou seja, à incluindo na lista de Zonas Úmidas de Importância Internacional.

Os corredores E, F e G destacaram-se por apresentar as maiores áreas de floresta, correspondendo a 91,4 %, 91,3% e 91% respectivamente. Estas áreas podem ser consideradas corredores já implantados caso não ocorra alteração significativa na vegetação. Porém em campo foi possível observar áreas de ocupação na parte sobreposta dos respectivos corredores, aparentemente grileiros. Como as imagens analisadas foram referentes ao ano de 2015, sugere-se que as ocupações ocorreram no ano 2016.

Após a análise dos dados, constatou-se que a melhor opção para efetiva implementação é o corredor “E”, pois apresenta uma contígua área de floresta preservada, apresenta também a maior área de APPs e menor área antropizada dentre os corredores mais ao norte. Considerou-se relevante o avanço da agropecuária no município de Alta Floresta D'Oeste, onde estão inseridos os corredores, tendo em vista que estão mais próximos às áreas antropizadas, o que sugere que em breve possa haver a conversão florestal em pastagens para criação de gado bovino. Assim, torna-se importante à implementação de tal corredor que servirá de rota para diversas espécies e para promover o uso sustentável dos recursos naturais.

4. CONCLUSÕES

A partir dos resultados foi possível constatar que a expansão das atividades agropecuárias, na porção central da área de estudo tem se tornado uma grande ameaça à conservação dos recursos naturais, sendo que os pecuaristas realizam o desmate das áreas de floresta para o desenvolvimento de pastagens, fazendo com que ocorra a compactação do solo, devido ao pisoteio do gado bovino, assim, acelerando os processos erosivos e o assoreamento dos corpos hídricos, bem como a perda de nutrientes do solo e a alteração da qualidade da água superficial.

Em relação aos corredores ecológicos, a metodologia utilizada se mostrou satisfatória, na qual originou a proposta de sete corredores, denominados corredores A, B, C, D, E, F e G. Destes, o corredor que apresentou as melhores condições ambientais para sua efetiva implementação foi o corredor E, sendo que apresentou 91,4% de sua área coberta por florestas e 2,6% de área antropizada, e ainda que está próxima às áreas antropizadas, identificadas em campo como sendo áreas de pastagem para criação de gado bovino.

Nesse contexto, a implementação do corredor aqui proposto, além de garantir a manutenção das populações biológicas e a conectividade entre as áreas protegidas, ainda servirá como unidade de planejamento, possibilitando o uso sustentável dos recursos naturais ali presentes.

Adicionalmente, sugere-se em uma posterior pesquisa, realizar o levantamento faunístico e florístico da área, identificando as espécies ali presentes para ampliar o entendimento da dinâmica ecossistêmica de cada espécie e realizar a gestão ambiental do corredor de acordo com as características de cada espécie da fauna e flora presentes.

REFERÊNCIAS

- [1] Altoé, R. T.; Oliveira, J. C.; Ribeiro, C. A. Sistema de Informações Geográficas na Definição de Corredores Ecológicos para o Município de Conceição da Barra. In: XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR. Anais... Goiânia. INPE, p. 1322-1328, 2005.
- [2] Brasil. Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 25 maio 2012. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm>. Acesso em: 09 de abril de 2016.
- [3] Castro, G. C.; Análise da estrutura, diversidade florística e variações espaciais do componente arbóreo de corredores de vegetação na região do Alto Rio Grande, MG. UFLA: 2004, p. 83. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Lavras, MG, 2004. Disponível em: <<http://www.esalq.usp.br/lcb/lerf/divulgacao/recomendados/dissertacoes/castro2004.pdf>> Acesso em 10 de maio de 2016.
- [4] Conselho Nacional de Meio Ambiente (Conama). Resolução nº 009, de 24 de outubro de 1996. Define “corredor de vegetação entre remanescentes” como área de trânsito para a fauna.. Brasília, DF. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=208>> Acesso em: 14 de fevereiro de 2016.
- [5] Fonseca, L. M. G. Processamento digital de imagens. (Tutorial) Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), p. 105, 2000.
- [6] Garcia, L. S.; Santos, A. M.; Fotopoulos, I. G.; Furtado, R. S. Fragmentação florestal e sua influência sobre a fauna: Estudo de Caso na Província Ocidental da Amazônia, Município de Urupá, Estado de Rondônia. In: XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR. Anais... Foz do Iguaçu, PR. INPE, 2013, p. 3163 – 3170. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/sbsr2013/files/p0904.pdf>>. Acesso em: 08 de março de 2016.
- [7] Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade – ICMBio. Mapas Temáticos e Dados Geoestatísticos das Unidades de Conservação Federais. 2016. Disponível em <<http://www.icmbio.gov.br/portal/geoprocessamentos/51-menu-servicos/4004-downloads-mapa-tematico-e-dados-geoestatisticos-das-uc-s>> Acesso em 12 de março de 2016.
- [8] Louzada, F. L. R. O; Santos, A. R; Silva, A. G. Delimitação de Corredores Ecológicos no ArcGIS 9.3. Alegre - ES: Caufes, 2010. p. 50. ISBN 978-85-61890-11-7. Disponível em: <<http://www.mundogeomatica.com.br/DelimitacaoCorredoresEcologicosArcGIS93.htm>>. Acesso em 16 de março de 2016.
- [9] Marins, C. S.; Souza, D. O.; Barros, Magno. S.; O uso do método de análise hierárquica (AHP) na tomada de decisões gerenciais – um estudo de caso. In: XLI Simpósio Brasileiro de Pesquisas Operacionais – SBPO. Anais... Porto Seguro, BA. 2009, p. 1778 – 1788. Disponível em: <<http://www.din.uem.br/~ademir/sbpo/sbpo2009/artigos/55993.pdf>> Acesso em: 26 de julho de 2016.

- [10] Nunes, G. M.; Souza Filho, C. R.; Vicente, L. E.; Madruga, P. R.; Watzlawick, L. F. Sistema de Informações Geográficas aplicados na Implantação de Corredores Ecológicos na Sub-Bacia Hidrográfica do Rio Vacacal-Mirim - RS. In: XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR. Anais... Goiânia. INPE, p. 3183-3189, 2005.
- [11] Oliveira, A. P. G.; Uso de Geotecnologias na Identificação de Corredores de Biodiversidade. UFMS: 2012, p. 71. Dissertação (mestrado) – Programa de Pós Graduação em Tecnologias Ambientais da Universidade Federal de Mato grosso do Sul. Campo Grande, MS, 2012. Disponível em: <<http://repositorio.cbc.ufms.br:8080/jspui/bitstream/123456789/2183/1/Ana%20Paula%20Garcia%20Oliveira.pdf>> Acesso em 10 de maio de 2016.
- [12] Rocha, C. C.; Silva, A. B.; Nolasco, M. C.; Rocha, W. F.; Modelagem de Corredores Ecológicos em ecossistemas fragmentados utilizando Processamento Digital de Imagens e Sistemas de Informações Georreferenciadas. In: XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR. Anais... Florianópolis, SC. INPE, 2007, p. 3065 – 3072. Disponível em: <<http://marte.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2006/11.15.10.51/doc/3065-3072.pdf>>. Acesso em: 08 de março de 2016.
- [13] Saaty. T. H. A scaling method form priorities in hierarquical structures. Journal of Mathematical Psychology, v.15, n. 3, p. 234-281, 1977.
- [14] Saito, N. S.; Moreira, M. A.; Santos, A. R.; Eugenio, F. C.; Figueiredo, A. C. Geotecnologia e Ecologia da Paisagem no Monitoramento da Fragmentação Florestal. Revista Floresta e Ambiente. v. 3, n. 9, p. 1 – 10, 2016.
- [15] Sales, M.S. Proposta de delimitação de corredores ecológicos entre terras indígenas na área de transição Amazônia/cerrado em Rondônia. Unir, 2015. Monografia (Bacharelado em Engenharia Ambiental), Departamento de Engenharia Ambiental, Ji-Paraná – RO; Universidade Federal de Rondônia, 2015.
- [16] Santos, A. M. O uso da terra e as implicações sócio-ambientais na zona úmida do rio Araguaia, estado de Goiás, Brasil. Finisterra, XLIII, p. 91-106, 2008.

Capítulo 9

Análise espacial e temporal de focos de calor no projeto de desenvolvimento sustentável Nova Baixa Verde: Indicador do efeito da Ação Civil Pública do “Fogo Zero”

Karla da Silva Rocha

Abib Alexandre de Araújo

Fábio Ferreira da Silva

Laura de Souza Moraes Dueti

Resumo: Este trabalho teve como objetivo comparar os focos de calor detectados pelos satélites AQUA, TERRA e GOES no período temporal de 2010 a 2015. O estudo foi realizado no Projeto de Desenvolvimento Sustentável (PDS) Nova Baixa Verde, localizado nos municípios de Rio Branco e Senador Guiomard no Estado do Acre. Resultados mostraram que em 2010, 82,60% dos focos de calor detectados pelos satélites ocorreram na parte B do PDS Nova Baixa Verde correspondente ao município de Senador Guiomard e apenas 17,39%, foram encontrados na parte A, correspondente ao município de Rio Branco. Quando comparado os anos de 2010 e 2011, observou-se uma queda no percentual de focos de 45,65%. Neste período foram detectados focos de calor apenas na parte B do PDS. Uma redução no número dos focos de calor também foram observadas para os anos de 2012, 2013, 2014. Esta redução pode estar relacionada com a proibição do uso do fogo através da implementação da Ação Civil Pública. Em 2015, o número de focos de calor no PDS, voltaram a subir, se assemelhando com o ano de 2010. Neste espaço temporal, o Estado do Acre experimentou severa e prolongada seca com ocorrências de extensos incêndios florestais acidentais. Os satélites orbitais, são excelentes fontes de dados para quantificar e mapear incidências de focos de calor em qualquer espaço temporal, permitindo a comparação e funcionando como indicadores espacial para ações de coibição do uso do fogo. Apesar de o número de focos de calor no PDS ser pequena quando comparado com os números de focos de calor ocorrido no Acre e nos municípios de Rio Branco e Senador Guiomard, este trabalho destaca o sensoriamento remoto como uma excelente ferramenta metodológica para análise espacial e temporal de focos de incêndio.

Palavras-chave: Amazônia, Focos de calor, Sensoriamento remoto.

1 INTRODUÇÃO

É consenso entre pesquisadores que o uso do fogo é tradicional na cultura da Amazônia. O fogo é considerado uma ferramenta básica de manejo nos trópicos, por ser uma forma rápida, eficaz e barata de limpar a terra, produzir cinzas ricas em nutrientes e reduzir a incidência de plantas invasoras e pragas. A médio e longo prazos, no entanto, ou quando escapa dos limites desejados, o fogo gera prejuízos que superam seus eventuais benefícios, tanto para os produtores rurais quanto para a sociedade. Uma vez que o fogo é o principal método para limpar a terra e para a manutenção da pastagem (Fearnside, 1990), eventos de ignição são comuns na Amazônia.

Aspectos econômicos e sociais geralmente motivam o uso do fogo para o preparo de roças por pequenos produtores. Transformar floresta em pastos, roçados e áreas de cultivo, torna o fogo uma alternativa mais viável, uma vez que o custo de maquinário pesado para retirada de troncos das derrubadas é muito alto, e a mão de obra para limpeza da área e controle de plantas invasoras é escasso.

A identificação dos focos de calor é uma tarefa de extrema relevância, pois permite o monitoramento e acompanhamento das áreas atingidas e das áreas que estão sujeitas a ação do fogo. O avanço tecnológico tornou possível utilizar imagens de satélites, obtidas a partir de sensores remotos a bordo de satélites, para detectar e localizar, em tempo real, focos de incêndio (Granemann e Carneiro, 2009).

Atualmente, através das técnicas de sensoriamento remoto, é possível dotar a sociedade com informações sobre onde e quando estão sendo feitas as queimadas em qualquer parte do mundo. Essas ferramentas têm sido utilizadas no Estado do Acre por instituições responsáveis por atividades de fiscalização, monitoramento e pesquisa, realizadas pelo Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) e instituições de fiscalização e controle estadual e municipais.

O Projeto de Desenvolvimento Sustentável (PDS) onde foi realizado esta pesquisa é uma modalidade de assentamento rural voltada para as atividades ambientalmente diferenciadas, destinadas as populações que baseiam sua subsistência no extrativismo, na agricultura familiar e em outras atividades de baixo impacto ambiental. Portanto, subentende-se que não se poderá fazer uso do fogo no preparo da terra.

Este artigo visa fazer uma análise comparativa do número de focos de calor ocorridos no PDS Nova Baixa Verde, nos municípios de Rio Branco e Senador Guiomard no Estado do Acre, entre os anos de 2010 a 2015. Este período consistiu na implementação da Ação Civil Pública – ACP, ingressado pelo Ministério Público Federal – MPF/AC e Ministério Público Estadual – MPE/AC, na qual coibia o uso do fogo por produtores rurais em todo o Estado. Esta ação também visava obrigar o governo do Estado a fornecer alternativas técnicas e práticas para o uso das queimadas como parte do processo produtivo agrícola, conforme a tradição local.

Neste estudo, buscamos responder a estas duas perguntas:

- A ACP do fogo zero têm tido resultados satisfatórios na diminuição das queimadas dentro do Assentamento Nova Baixa Verde?
- O Assentamento Nova Baixa Verde tem preservado sua função de produção sustentável?

1.1 AÇÃO CIVIL PÚBLICA DO “FOGO ZERO” NO ESTADO DO ACRE

Em 2005, houve uma grande seca no Estado do Acre. A seca resultou em um desastre ambiental, causado por queimadas acidentais e incêndios florestais de grandes proporções, que ficou na história da região. Este período de extrema seca causou muitos prejuízos econômicos, sociais e ambientais (Vasconcelos et al., 2009). O ano de 2010, também foi marcado por severa seca e grandes incêndios no Estado.

Os fenômenos ocorridos em 2005 e 2010 têm mostrado que mudanças no clima da região, associados ao uso do fogo, têm se intensificado e se tornado uma grande preocupação para as autoridades locais. Com base nestes fatos, é que, em 2009, o Ministério Público Federal no Acre (MPF/AC) e o Ministério Público Estadual do Acre (MPE), em uma ação inédita no Brasil, entraram com um pedido de Ação Civil Pública - ACP, com o objetivo de coibir o uso do fogo pelos produtores rurais. Em seu texto, a ação pede que no ano de 2009 seja tolerada a queima de somente um hectare por requerente ou imóvel e, apenas para agricultura de subsistência, em todo o Estado do Acre. E a partir de 2010, seja decretado fogo zero para todo leste do Acre e no ano seguinte, proibição total para todo o Estado (ACP, 2009).

A ACP também possui o objetivo de forçar o fornecimento de alternativas técnicas e práticas ao uso da queimada como parte do procedimento produtivo agrícola de acordo com o costume local (ACP, 2009).

Medidas alternativas ao uso do fogo foram mencionadas como forma de diminuir sua utilização na região. As instituições responsáveis pelo acompanhamento dos serviços de extensão rural foram cobradas no sentido de respeitar e cumprir o que determina a Constituição Federal, no sentido de proteger o meio ambiente e combater a poluição em qualquer de suas formas, preservar as florestas, a fauna e a flora, além de fomentar a produção agropecuária e organizar o abastecimento de alimento.

Várias instituições responsáveis pelo meio ambiente foram envolvidas na discussão, como por exemplo, o Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), o Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBIO), o Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA), o Instituto de Meio Ambiente do Acre (IMAC), além de todas as 22 prefeituras municipais do Acre (ACP, 2009).

1.2 SENSORIAMENTOS REMOTOS E O MONITORAMENTO DE QUEIMADAS

O uso de tecnologias de Sensoriamento Remoto (SR), através de satélites orbitais, representa uma importante fonte de dados sobre as queimadas que ocorrem em toda a superfície terrestre. O SR se constitui em uma ferramenta importante e poderosa para entender a dinâmica do uso da terra e de seus impactos sociais e ecológicos, já que o mesmo permite a obtenção de informações de locais com vasta extensão e com intervalos temporais regulares. Um exemplo disto é a obtenção de informações espaciais e temporais sobre ocorrências de queimadas e quantificações de área e de biomassa atingidas pelo fogo. Esse tipo de tecnologia disponibiliza uma vasta contribuição para o estudo de incêndios e seus efeitos climáticos na atmosfera, ecológicos e na química do solo (FRANÇA; FERREIRA, 2005).

PHULPIN et al. (2002), mostra que as imagens de satélite têm sido utilizadas para monitorar incêndios em vegetação, tanto globalmente, para estudos climáticos, quanto regionalmente, para avaliação de impactos das queimadas. Ao mesmo tempo, os dados provenientes de satélites têm se mostrado de fundamental importância para alertar a população local e as autoridades competentes, durante os períodos de queimadas. Além disso, as informações geradas por SR sobre a distribuição, o padrão e o ritmo da queima de biomassa em diferentes escalas podem ainda oferecer novas oportunidades para observar as relações entre as condições da vegetação e as queimadas (FRANÇA, 2005 apud JUSTICE et al., 1993). Além das vantagens do SR mencionadas, o mesmo pode ser considerando uma alternativa de custo relativamente baixo quando comparado às metodologias tradicionais (levantamento de campo).

2 METODOLOGIA

2.1 ÁREA DE ESTUDO

O estudo foi realizado no PDS Nova Baixa Verde, compreendendo os municípios de Rio Branco e Senador Guimard, localizados no Estado do Acre (Figura 1). A área de estudo abrange aproximadamente um total de 5.046,08 hectares, possuindo acesso durante todo o ano, distante 28 km do centro urbano da cidade de Rio Branco e 22 km, de Senador Guimard.

Figura 1: Localização da área de estudo.

O acesso ao PDS Nova Baixa Verde pode ser feito pelas BRs 364 e 317. Para fins de análise, o mesmo foi dividido em duas partes: parte A (município de Rio Branco) e parte B (município de Senador Guiomard) (tabela 1).

Tabela 1: Distribuição da área do PDS Nova Baixa Verde.

	Municípios	Área em ha	Total
Parte A	Rio Branco	2.922,1139	5.046,0877
Parte B	Senador Guiomard	2.123,9738	

O uso do PDS Nova Baixa Verde para fins de reforma agrária foi formalizado pelo Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária – INCRA, através do Decreto Lei nº 433, de 24 de janeiro de 1992. Este Decreto enfatizava o cuidado de obedecer à legislação ambiental vigente, mais precisamente a resolução Conselho Nacional de Meio Ambiente/CONAMA, nº 289, de 25 de outubro 2001, que dita às diretrizes e metodologia para o licenciamento ambiental para projetos de assentamento de reforma agrária.

2.2 FOCOS DE CALOR NO PDS NOVA BAIXA VERDE

Para a análise e caracterização dos focos de calor, primeiramente fez-se um levantamento bibliográfico sobre quais satélites estariam disponíveis para coleta destas informações para o período temporal proposto. Com base neste levantamento, os satélites utilizados foram: os da série AQUA e TERRA (ambos transportam o sensor Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer -MODIS), e o satélite GOES - geostationary operational environmental satellite, o qual capta informações de calor tanto durante o dia quanto à noite. Os dados de focos de calor foram obtidos através do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (CPTEC/INPE), na qual produz diariamente dados importantes para a detecção de queimadas (focos de calor), riscos de fogo e previsão

de chuva. As informações foram encontradas no endereço eletrônico: <http://www.dpi.inpe.br/proarco/bdqueimadas>. Após o download, os dados de satélites foram organizados por ano e satélite, utilizado o programa Microsoft Excel.

Em razão da implementação da Ação Civil Pública - ACP, optou-se por iniciar o período temporal de análise no ano de 2010. A partir deste ano, foi estipulado um prazo de 6 anos a fim de avaliar os efeitos da ACP na proibição do uso do fogo no PDS Nova Baixa Verde. Após estabelecido o período temporal, os dados de focos de calor foram organizados e analisados em forma de mapas, nos quais foram gerados utilizando recursos do software ArcGis 10.0. Isto possibilitou a visualização da dinâmica dos focos de calor na área de estudo ao longo da série temporal.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Durante o período de estudo, observou-se que os anos de 2010 e 2015 foram os que apresentaram o maior número de focos de calor no estado do Acre, com 10.384 e 24.559, respectivamente. Este cenário se repete tanto nos municípios que abrangem o PDS Nova Baixa Verde como dentro do próprio assentamento. A Tabela 1 mostra a distribuição dos focos de calor por ano no Acre, nos municípios nos quais está inserido o PDS e os focos de calor encontrados no PDS na parte A, localizada no município de Rio Branco e na parte B, localizada no município de senador Guimard.

Em 2010, 82,60% (38) do total da soma de focos de calor detectados pelos satélites no PDS Nova Baixa Verde ocorreu na parte B e apenas 17,39% (8), foram encontrados na parte A do projeto de assentamento. Comparando os anos de 2010 e 2011, o percentual de focos de calor no PDS Nova Baixa Verde caiu para cerca de 45,65% (21) em 2011. Pode-se observar que foram detectados focos de calor apenas na parte B do PDS em 2011. Uma redução significativa dos focos de calor também ocorreu em 2012, 2013, 2014 comparado com os números de 2010. Esta redução do número de focos de calor, deve-se a proibição do uso do fogo através da Ação Civil Pública pelos Ministérios Públicos Federal e Estadual.

No ano de 2015, 34 focos de calor foram registrados no PDS Nova Baixa Verde, um significativo aumento com relação aos anos anteriores. Nesse período, ocorreram extensas queimadas acidentais e incêndios florestais no Acre.

Tabela 1. Distribuição de foco de calor na área de estudo, nos anos de 2010 a 2015.

Áreas	2010	%	2011	%	2012	%	2013	%	2014	%	2015	%
Acre	10.348		3.489		5.916		5.565		9.490		24.559	
Rio Branco	1.359	13,1	227	6,5	453	7,7	445	8,0	604	6,4	2.413	9,8
Senador Guimard	467	4,5	113	3,2	100	1,7	74	1,3	95	1,0	400	1,6
PDS Nova Baixa Verde	46	0,4	21	0,6	8	0,1	12	0,2	17	0,2	34	0,1
PDS Parte A (RBR)	8	0,1	0	0,0	1	0,0	2	0,0	1	0,0	11	0,0
PDS Parte B (SGD)	38	0,4	21	0,6	7	0,1	10	0,2	16	0,2	23	0,1

Quanto as ocorrências de focos de calor analisadas nos municípios onde está localizado o PDS Nova Baixa Verde, Rio Branco se destaca com relação a Senador Guimard em todo o período temporal analisado.

Um fato curioso observado nas análises foi que apesar de Rio Branco se destacar em número de focos de calor, este cenário não é observado quando analisado o PDS Parte A (RBR) e Parte B (SGD). Do total, aproximadamente 83% (115) dos focos de calor ocorreram nas áreas do PDS Nova Baixa Verde localizado no município de Senador Guimard para todo período temporal analisado (Figura 2). Enquanto, aproximadamente 17% (23) dos focos de calor se concentram nas áreas do PDS do município de Rio Branco. Isso indica que nas áreas do PDS Nova Baixa Verde localizado em Senador Guimard, poderá estar ocorrendo uma forte intensificação do uso do fogo com vistas a implementação de atividades agrícolas e pecuária e ser área de influência das BRs 364 e 317.

Figura 2 – Distribuição de focos de calor no PDS Nova Baixa Verde.

Essa dinâmica do uso do fogo como ferramenta de preparo do solo para o plantio evidência uma característica marcante da ocupação das fronteiras agrícolas, deixando nítido que o uso do fogo nessa região está se intensificando. Isto sugere que mudanças estão ocorrendo na cobertura e no uso da terra ocasionado transformações na paisagem dessa região e consequentemente contribuindo para as mudanças climáticas regionais e globais.

4 CONCLUSÕES

O ano de 2010 foi de severa e prolongada seca em todo Estado do Acre e, neste período, foi detectado o maior número de focos de calor no PDS Nova Baixa Verde. Porém, a quantidade de focos de calor no PDS é considerada muito pequena quando comparado com os números de focos de calor ocorrido no Estado do Acre e nos municípios de Rio Branco e Senador Guimard.

A baixa ocorrência do número de focos de calor pode ser atribuída a diversos fatores, como por exemplo, a utilização de práticas alternativas ao uso do corte e queima pelos produtores rurais residentes no PDS Nova Baixa Verde. Isso significa que o objetivo pelo qual foi criado está sendo cumprido, implementando atividades ambientalmente diferenciadas, destinadas a populações que baseiam sua subsistência no extrativismo, na agricultura familiar e em outras atividades de baixo impacto ambiental.

Um outro fator que poderia ter influenciando na baixa ocorrência dos focos de calor é o cumprimento da Ação Civil Pública – ACP ingressada pelos Ministérios Públicos Federal e Estadual, no qual coíbe o uso do fogo pelos produtores rurais. Porém, medidas de fiscalização e monitoramento devem sempre ser intensificadas ao longo das BRs 317 e 364, onde se observou a prática do uso do fogo para limpeza de pasto e limpeza da margem da estrada.

AGRADECIMENTOS

A Universidade Federal do Acre (UFAC), através do Laboratório de Geoprocessamento, pelo apoio no levantamento e processamento de dados. Também os autores agradecem o excelente sítio do CPTEC/INPE sobre queimadas, no qual forneceu os dados usados neste estudo.

REFERÊNCIAS

- [1] Ação Civil Pública - ACP sobre queimadas no Acre. Disponível em: <<http://portal.rebia.org.br/noticias/destaque/1196-justica-decide-por-fogo-zero-no-acre>>. 2009.
- [2] ALVERGA, Davi P. de Polari. Estudo da distribuição espacial das queimadas de floresta com copa afetada no leste do Estado do Acre. Rio Branco: Universidade Federal do Acre, Centro de Filosofia e Ciências Humanas, Curso de Geografia. 2012.
- [3] FEARNside, P.M. Fire in the tropical rain forest of the Amazon basin. In J.G. Goldammer (ed.) Fire in the Tropical Biota: Ecosystem Processes and Global Challenges. Ecological Studies, vol. 84, Springer-Verlag, Berlin, Germany, 1990, pp. 106-116.
- [4] FRANÇA, A. D; FERREIRA, J. N. Considerações sobre o uso de satélites na detecção e avaliação de queimadas. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. 2005.
- [5] GRANEMANN, D. C.; CARNEIRO, G. L. Monitoramento de focos de incêndio e áreas Queimadas com a utilização de imagens de Sensoriamento remoto. Revista de Engenharia e Tecnologia, v. 1, n. 1, p. 55-62, 2009.
- [6] JUSTICE, C.; Malingreau, J; Setzer, A. W. Satellite remote sensing of fires: potential and limitations. In: Ecological, atmospheric, and climatic importance of vegetation fires. John Wiley and Sons, 1993. p. 77-88. Publicado como: INPE-7607-PRE/3458.
- [7] LOPES; S. Análise temporal de focos de calor na terra indígena Parakanã, Pará – Brasil. Bahia: Universidade Federal do Recôncavo da Bahia 2009.
- [8] PHULPIN, T.; LAVENU, F.; BELLAN, M. F.; MOUGENOT, B.; BLASCO, F. Using SPOT-4 HRVIR and VEGETATION sensors to assess impact of tropical forest fires in Roraima, Brazil. International Journal of Remote Sensing, v. 23, n. 10, p. 1943-1966, 2002. Publicado como: INPE-4503-TDL/326.
- [9] VASCONCELOS, S.S.; BROWN, I.F.; FEARNside, P.M. Focos de calor no sudeste da Amazônia: indicadores de mudanças no uso da terra. In: Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, Brasil, 25-30 abril 2009, INPE, p. 6353-6360.

Capítulo 10

Caracterização do regime de ventos e potencial eólico com base em torre anemométrica da rede SONDA em Petrolina

Wellington Winícius Ferreira Fonseca

Francisco José Lopes de Lima

Fernando Ramos Martins

Resumo: A geração de eletricidade por conversão da energia cinética do vento vem crescendo continuamente no Brasil desde 2004 e contribuindo para a diversificação de fontes de energia na matriz elétrica brasileira. O aproveitamento do recursos eólico requer uma base de dados meteorológicos de boa qualidade e metodologias numéricas que possibilitam compreender a variabilidade sazonal do recurso energético. Este estudo teve como objetivo a caracterização do regime de vento em duas regiões distintas do Brasil, avaliando o comportamento anual e sazonal da velocidade de vento. Os dados anemométricos foram coletados em torres anemométricas operadas no Projeto SONDA localizada em Petrolina, interior de Pernambuco. A série de dados compreende o período de 2007 a 2011. Para realização do estudo, foi necessário o desenvolvimento de algoritmo numérico para avaliação da qualidade dos dados observados de vento com base em critérios estabelecidos pela Organização Mundial de Meteorologia. A série de dados permitiu avaliar a variabilidade sazonal e interanual do regime de ventos. Os valores sazonais dos fatores de forma e de escala da distribuição de Weibull também foram determinados e o regime de vento apresentou baixa variação sazonal. A estação localizada em Petrolina (PE) apresentou um regime de ventos intensos e persistentes, requisito fundamental para o aproveitamento do recurso eólico para a geração de eletricidade. O estudo constatou também a complementaridade sazonal entre a intensidade de vento e a precipitação em Petrolina no Nordeste Brasileiro.

Palavras-chave: Energia eólica; Distribuição estatística dos ventos; Sensoriamento remoto; Rede SONDA.

1. INTRODUÇÃO

Atualmente, a questão energética é um tópico bastante relevante em razão da sua relação intrínseca com a qualidade de vida da sociedade, com a infraestrutura necessária para dar suporte ao desenvolvimento socioeconômico do país, e com a questão ambiental associada à variabilidade climática e emissão de poluentes atmosféricos (Goldemberg e Lucon, 2007). Um esforço mundial iniciou-se nas últimas décadas com o intuito de promover a adoção de fontes renováveis de energia. Porém, os combustíveis fósseis ainda são a principal fonte de energia utilizada no mundo. A versão preliminar do World Energy Outlook 2016, publicada em junho deste ano, alerta que a participação das fontes renováveis na matriz energética global precisa atingir 37% até 2040 a fim de atender à meta de manter o aquecimento global abaixo de 1,5 °C. (IEA, 2016).

A utilização da energia cinética dos ventos teve início há milhares de anos pela humanidade. No entanto, o ponto de partida para o desenvolvimento tecnológico para geração de eletricidade com aproveitamento do recurso eólico ocorreu na Dinamarca em meados da década de 1980. As primeiras turbinas apresentavam capacidade geradora reduzida quando comparada com as turbinas atuais. Uma turbina *onshore* moderna apresenta uma capacidade entre 2,5 MW e 3 MW, porém as maiores turbinas do mercado possuem capacidade de aproximadamente 7,5 MW (EWEA, 2016). Com investimentos em pesquisa e engenharia, a tendência é o crescimento da instalação de parques eólicos em todo o planeta. Um aspecto importante é a redução do custo ao longo dos últimos anos em função desse desenvolvimento tecnológico. (EWEA, 2016; Viterbo, J.C., 2008; WindPower Monthly, 2004).

A matriz energética brasileira conta com cerca de 43,2% de energia produzida a partir de fontes renováveis (MCTIC, 2018). No entanto, ainda há forte concentração da geração hidráulica, responsável por cerca de 64% da geração de energia elétrica. A fins comparativos, 9,2% foi a participação da energia eólica e 1,3% a da energia solar, ao final de 2018 (ANEEL, 2019). Vale ressaltar que a diversificação das fontes de energia na composição da matriz elétrica vem contribuindo para reduzir a vulnerabilidade do sistema elétrico nacional. A elevada contribuição da energia hidroelétrica, sob o ponto de vista de segurança energética, tem trazido preocupação constante com o nível de reservatórios em razão de longos períodos de estiagem que estão ocorrendo com maior frequência e afetam tanto a geração de eletricidade quanto o atendimento de outros usos da água como a irrigação de culturas agrícolas, a sedentação de animais e o abastecimento urbano.

O governo brasileiro vem adotando políticas de incentivo à diversificação da matriz com fontes renováveis desde 2002. O PROINFA foi o principal programa de incentivo na última década e resultou no crescimento do aproveitamento do recurso da energia dos ventos disponível principalmente no Nordeste brasileiro, onde os períodos de estiagem afetam de forma importante os reservatórios das usinas hidroelétricas (Martins e Pereira, 2011). O Atlas do Potencial Eólico Brasileiro estimou o potencial eólico de 143GW no Brasil (Amarante *et al.*, 2001). Este valor encontra-se defasado em razão de assumir a altura de 50m acima do solo para a estimativa do potencial eólico. Os aerogeradores atuais possuem alturas superiores a 80 m para possibilitar o aproveitamento de velocidades maiores do vento. Estudos avaliam que o potencial estimado pode atingir valores na ordem de 300GW a 100 m acima da superfície (Simas e Pacca, 2013). As maiores velocidades médias do vento ocorrem principalmente nas regiões Nordeste, Sudeste e Sul. Isto configura como uma vantagem para a transmissão elétrica dada a maior densidade de linhas de transmissão e da malha viária nessas regiões. Este fato também repercute favoravelmente no custo dos projetos eólicos.

O crescimento de energia eólica também ajudará o país a cumprir os objetivos estratégicos de reforçar a segurança energética nacional sem a necessidade de crescimento significativo das emissões de gases de efeito estufa. No entanto, o aproveitamento do recurso eólico requer um conhecimento detalhado de variabilidade espaçotemporal da velocidade e direção do vento. O vento está fortemente relacionado com as condições de tempo e clima em escalas regional e local. A previsão de potência eólica disponível está intimamente relacionada ao conhecimento detalhado do regime de vento no local de interesse, que envolve a coleta e análise cuidadosa dos dados de vento observados em diferentes alturas acima da superfície em uma torre anemométrica. A confiabilidade das informações é essencial para o desenvolvimento e avaliação da viabilidade econômica de uma planta eólica (Martins *et al.*, 2008).

No Brasil, a rede SONDA (Sistema de Organização Nacional de Dados Ambientais) é a principal rede pública de coleta de dados meteorológicos com a finalidade de aprimorar os modelos numéricos utilizados na estimativa do potencial eólico nacional. A rede SONDA é operada e administrada pelo Laboratório de Estudos de Energias Renováveis instalado no Centro de Ciência do Sistema Terrestre do Instituto Nacional

de Pesquisas Espaciais (CCST/INPE). O acesso à base de dados coletados nas torres anemométricas pode ser feito em (<http://sonda.ccst.inpe.br/>)

O foco principal deste trabalho é o estudo de caracterização e variabilidade do regime de ventos nas torres anemométricas da rede SONDA instaladas em São Marinho da Serra/RS e Petrolina/PE. Para alcançar esse objetivo, foi necessário o desenvolvimento de um código computacional para avaliação de qualidade da base de dados coletados nas duas estações. Além disso, o estudo comparou a sazonalidade da intensidade dos ventos com a precipitação observada nos locais das torres anemométricas com o intuito de uma avaliação preliminar sobre a complementaridade sazonal entre o recurso de energia eólico e o recurso hídrico no dois locais de estudo.

2.FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

De forma geral, a formação dos ventos é ocorre a partir dos gradientes de pressão atmosféricos que geram movimentação de massas de ar sujeitas ao campo gravitacional terrestre e às forças resistivas internas ao movimento. No entanto, tomando a superfície terrestre como referencial não inercial, a rotação terrestre provoca um movimento curvo das parcelas de ar decorrente da ação da força de deflexão do movimento, conhecida como força de Coriolis.

O movimento das massas de ar na atmosfera é descrito pela equação (1). A equação representa a expressão matemática vetorial do movimento das massas de ar na atmosfera terrestre, onde $\frac{D\vec{U}}{Dt}$ é a taxa de variação temporal da velocidade

$$\frac{D\vec{U}}{Dt} = -2.\vec{\Omega}\times\vec{U} - \frac{1}{\rho}\nabla p + \vec{g} + \vec{F}_r(1)$$

O termo $-2.\vec{\Omega}\times\vec{U}$ representa a força de Coriolis; $-\frac{1}{\rho}\nabla p$ representa a força do gradiente de pressão por unidade de massa, dado que ρ é a densidade do ar, e p representa a pressão. O vetor $\vec{g}$ é a aceleração gravitacional; e $\vec{F}_r$ é a força resistiva do sistema.

Dado que o ar é um fluido sujeito ao princípio de aderência, o atrito oferecido pela superfície terrestre afeta o perfil vertical da velocidade dos ventos conforme mostra a Figura 1. A rugosidade do terreno é uma propriedade que está associada às características físicas do solo (obstáculos, cobertura vegetal, uso do solo, por exemplo) que delineiam o escoamento do ar próximo a superfície. Desta forma, a rugosidade é um dos principais fatores a serem considerados para estimar a velocidade dos ventos dentro da camada limite da atmosfera (CLA). A CLA é a região com espessura de até 1000m que apresenta condições diferenciadas em relação ao restante da atmosfera devido às interações com a superfície (Stull, 1988; Kaimal e Finnigan, 1994).

Figura 1 – Perfil vertical da velocidade do vento desde a superfície até a altura do vento geostrófico. O comprimento da rugosidade (z_0) é a altura onde a velocidade é nula. Vento geostrófico é a denominação atribuída para o escoamento não afetado pelo uso ou cobertura do solo. Fonte: Martins et al, 2008.

O vento é responsável pelo transporte de energia por meio da movimentação de massas de ar na atmosfera terrestre. Desta forma, é uma importante fonte de energia renovável gerada pela conversão de sua energia mecânica em outras formas de energia, sobretudo a elétrica. Assim, é de extrema importância ter conhecimento da variação da velocidade das massas de ar. A equação (2) representa a potência contida nos ventos.

$$P = \frac{1}{2} \rho \cdot A \cdot u^3$$

onde A é a área circular perpendicular à direção da velocidade do vento. É possível perceber que a potência eólica (P) é diretamente proporcional ao cubo da velocidade escalar dos ventos, representada por u . Assim, uma pequena variação na velocidade do vento influenciará de forma relevante a potência disponível para a geração de eletricidade. Ainda em relação à equação (2), é importante ter em mente que a densidade do ar, representada por ρ , é função da pressão atmosférica e da temperatura local.

Devido à influência da superfície sobre a velocidade e direção do vento, a condição ideal para aquisição de dados de velocidade do vento deve ser realizada na altura dos aerogeradores. No entanto, há pouca disponibilidade de bases de dados públicas que atendam esse requisito. A maior parte das medições de velocidade de vento é realizada em estações meteorológicas com anemômetros instalados de 10m de altura. Dados de vento coletado a cerca de 50 m acima da superfície com uso de torres anemométricas são escassos para o acesso público.

Quando apenas medidas realizadas em baixa altitude estão disponíveis, torna-se necessário extrapolar os dados de ventos para a altitude de operação dos aerogeradores. Modelos numéricos são capazes de simular o escoamento atmosférico em vários níveis verticais, fornecendo uma boa representação da circulação das massas de ar na atmosfera. Desta forma, a modelagem numérica aplicada ao setor eólico trabalha com a estimativa das velocidades médias dos ventos, a fim de avaliar quais localidades são mais propícias à instalação de aerogeradores, além de possibilitar uma análise da viabilidade econômica do projeto. A modelagem permite, também, a previsão das velocidades dos ventos a curto e médio prazo, facilitando o planejamento da operação dos parques geradores ao identificar a sazonalidade dos ventos locais. A confiabilidade do modelo proposto precisa ser avaliada com adoção de procedimentos de validação baseada em dados coletados em torres anemométricas.

Fica evidente a partir do exposto acima que a caracterização do regime de ventos em um local tem um papel bastante importante em todas as etapas do aproveitamento do recurso eólico, desde o projeto até a operação planejada e otimizada de um parque eólico. A distribuição da velocidade dos ventos para um dado local é normalmente bem descrita pela distribuição de Weibull. A distribuição probabilística mais utilizada para a caracterização do regime de ventos está apresentada na equação (3) onde f_w representa a densidade de probabilidade de velocidades do vento, c é denominado parâmetro de escala, k é o parâmetro de forma. A determinação da distribuição estatística da velocidade dos ventos numa localidade requer uma base de dados observados extensa a fim garantir a representatividade da variação sazonal do clima e sua influência no regime de ventos locais.

$$f_w(u) = \frac{k}{c} \left(\frac{u}{c}\right)^{k-1} \exp\left(-\left(\frac{u}{c}\right)^k\right) \quad (3)$$

2. METODOLOGIA

2.1 ESTAÇÕES ANEMOMÉTRICAS

Para o desenvolvimento do presente estudo foram utilizados dados anemométricos coletados entre 2007 e 2011 em torre anemométrica operando em Petrolina, no interior do estado de Pernambuco, sob gerenciamento do LABREN/INPE (Laboratório de Estudos de Modelagem de Recursos Renováveis de Energia do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais).

A região Nordeste do território brasileiro apresenta um potencial eólico superior à média nacional, conforme demonstra o Atlas Brasileiro do Potencial Eólico. Além dos dados de vento (velocidade e direção), as torres também possuem sensores para aquisição de dados de temperatura do ar nas mesmas alturas de coleta de dados de vento. Cada torre anemométrica possui três anemômetros modelo 05106 (R. M. Young Co.) instalados em 10, 25 e 50 metros de altura acima do solo. Dois sensores de temperatura do

ar modelo 41342 estão instalados nas alturas de 25 e 50m. Além disso, um barômetro Vaisala PTB101 e um sensor de temperatura/umidade do ar modelo 41372 (R. M. Young Co.) e um pluviômetro (Sutron modelo 5600-040L) estão instalados a 2m acima do solo. Os dados de vento à 25 e 50m foram registrados em intervalos de 10 minutos durante todo o período analisado.

Considerando a influência da velocidade do vento na disponibilidade de energia eólica (vide equação (2)), é essencial manter um controle criterioso da qualidade da base de dados observados em campo. A Organização Mundial de Meteorologia (WMO – sigla do nome original em inglês – World Meteorological Organization) estabelece os critérios de qualidade a serem utilizados com o intuito de assegurar a confiabilidade dos dados. As prováveis causas de erro na aquisição de dados de vento estão associadas a ocorrência de descargas elétricas e ruídos eletrônicos devido a problemas de conexão dos cabos entre os sensores e o data logger que armazena temporariamente os dados observados.

2.2 QUALIFICAÇÃO DOS DADOS

A Tabela 1 apresenta os critérios de qualificação adotados no desenvolvimento do código computacional para automatizar a qualificação dos dados observados de velocidade e direção do vento. O código computacional foi elaborado utilizando o pacote MATLAB.

Dado o intervalo entre as medições (6 medições/hora x número de horas), 52.560 medições foram realizadas ao ano. Para qualificação desta imensa base de dados observados, foram utilizados algoritmos distintos para cada variável meteorológica observada, fazendo uso, porém, da mesma lógica. A Figura 2 ilustra a esquematização da lógica utilizada no código numérico para qualificação dos dados observados.

Tabela 1 – Critérios utilizados para qualificação de dados observados na rede SONDA.

Algoritmo 1	Algoritmo 2	Algoritmo 3	Algoritmo 4
Temperatura (°C)			
Valores Mínimo e Máximo estabelecidos com base em climatologia local.	Variação < 5 °C em um período de 1 hora	Variação > 0,5°C em um período de 12 horas	Não Aplicado
Velocidade (m/s)			
Min. 0 Max. 25	Variação > 0,1 m/s em um período de 3h	Variação > 0,5 m/s em um período de 12 horas	Velocidade maiores em altitudes maiores.
Direção (graus)			
Min.: 0° Max.: 360°	Variação > 1° em um período de 3h	Variação > 10° em um período de 18 h	Não Aplicado

Figura 2 – Fluxograma lógico implementado no código de qualificação dos dados observados nas duas estações da rede SONDA: W é o número de observações por ano. P é o número de observações no intervalo de tempo analisado nos algoritmos 2 e 3 descritos anteriormente.

2.3 ANÁLISE ESTATÍSTICA DE DADOS

Após a etapa de qualificação da base de dados de velocidade de vento, análise estatística dos registros de velocidade e direção dos ventos foi realizado para a caracterização e estudo da variabilidade do regime de vento na torre anemométrica localizadas em Petrolina (PE). A análise estatística sazonal foi realizada sendo definido o verão composto por dados observados no período Dezembro/Janeiro/Fevereiro; o Outono refere-se aos dados observados em

Março/Abril/Maio; o Inverno é representado por Junho/Julho/Agosto; e os meses de Setembro/Outubro/Novembro estão na Primavera.

O estudo avaliou também a distribuição estatística da velocidade do vento e determinou os parâmetros de forma e de escala para a distribuição de Weibull que melhor se ajustou os dados observados nas duas torres anemométricas. O método utilizado para esta determinação foi o Método dos Mínimos Quadrados.

3.RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 BASE DE DADOS QUALIFICADOS

Na primeira etapa deste estudo foi realizada a qualificação dos dados observados, com o intuito de garantir a qualidade das informações utilizadas na caracterização do regime de ventos observados nos locais das duas torres anemométricas da rede SONDA. Os dados identificados como suspeitos não foram descartados, mas sinalizados para permitir a decisão sobre o descarte ou utilização para os outros usuários. A sinalização de qualidade adicionada à base de dados demonstra o atendimento a todos os critérios de qualidade estabelecidos ou, caso contrário, qual critério não foi satisfeito pelo registro da observação. A Tabela 2 indica a porcentagem de dados observados na torre anemométrica que atendem os critérios de qualidade estabelecidos.

Tabela 2 – Fração da quantidade de dados (em %) que atenderam plenamente os critérios de qualidade estabelecidos para a base de dados da rede SONDA

Alt. (m)	Estação	Vel.	Direção	Temp.
25	Verão	82,2	84,5	84,3
	Outono	84,7	87,0	86,7
	Inverno	87,4	87,5	87,5
	Primavera	89,4	90,1	90,0
50	Verão	82,3	85,5	84,3
	Outono	84,8	87,0	86,7
	Inverno	87,4	87,5	87,5
	Primavera	89,5	90,1	89,9

3.2 DISTRIBUIÇÃO ESTATÍSTICA DOS DADOS DE VENTO

A distribuição estatística dos dados de vento é caracterizada neste estudo pela rosa dos ventos juntamente com o histograma de frequência de valores de velocidade. A rosas dos ventos descreve a frequência relativa dos dados de direção, velocidade do vento simultaneamente. A seguir são apresentados comparativos das rosas dos ventos dos dados brutos (sem qualificação) e dos dados qualificados pelo código computacional desenvolvido no estudo.

A Figura 3 e 4 apresentam a rosa dos ventos observados a 25 m acima do solo para os 4 períodos sazonais do ano em Petrolina (PE). As distribuições obtidas para os dados brutos de velocidade e direção do vento estão indicadas na esquerda da Figura 3, enquanto que na parte direita estão apresentados os mesmos gráficos considerando apenas os registros que atenderam os critérios de qualidade da WMO.

A Figura 4 apresenta os mesmos gráficos de frequência de ocorrência mostrados na Figura 3, mas agora para os dados que atendem os critérios de qualidade estabelecidos. A climatologia de temperatura, velocidade e direção do vento adotada como critério de qualificação no Algoritmo 1 utilizou valores estabelecidos pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2019).

Nesta localidade não há grandes divergências entre as rosas dos ventos obtida na análise de dados brutos e dos dados qualificados. Os dados de vento coletados nesta torre anemométrica apresentaram índice elevado de atendimento dos critérios de qualidade – maior que 80% dos dados coletados. Localizada no Nordeste Brasileiro, Petrolina está sob influência dos ventos alísios, apresentando maiores médias de

velocidade, acima de 4 m/s à 50m acima do solo, e direção bem definida com predominância de ventos Sudeste (SE) durante todas as estações do ano. Estas informações estão em boa concordância com a base de dados do Atlas Brasileiro de Energia Eólica (Amarante *et al.* 2001). A Tabela 3 lista os valores de velocidade média ($\bar{u}$), juntamente com os parâmetros de forma (k) e escala (c) a 25 e 50m.

Tabela 3 – Parâmetros estatísticos dos dados de vento observados na torre anemométrica localizada em Petrolina (PE). As torres anemométricas são operadas pelo LabREN/INPE e integram a rede SONDA.

Alt. (m)	Estação do ano	Petrolina		
		$\bar{u}$ (m/s)	c	k
25	Verão	3,492	2,922	1,985
	Outono	3,316	2,099	2,725
	Inverno	4,197	3,608	2,647
	Primavera	4,3	3,784	2,519
50	Verão	4,55	4,066	2,081
	Outono	4,414	3,894	2,215
	Inverno	5,538	5,092	3,224
	Primavera	5,53	5,154	2,744

Figura 4. (a) Rosa dos ventos dos dados observados a 25m na estação de SMS. (b) Rosa dos ventos dos dados observados a 50m na estação de SMS

As Figuras 5 e 6 apresentam os histogramas de velocidade de vento a 25 m e 50 m e o ajuste da distribuição de Weibull (linha contínua) para a torre anemométrica em Petrolina.

Nesta etapa da análise foram utilizados apenas os dados aprovados na etapa de qualificação dos dados observados. Os dados sinalizados com baixa qualidade aumentariam os desvios no ajuste dos parâmetros da distribuição probabilística de Weibull (Eq. 3) e produziria uma caracterização não confiável da velocidade e direção do vento nas duas localidades.

Pode-se perceber nos histogramas que dados de vento observados em Petrolina definem curvas de distribuição estatística de Weibull com fatores de forma próximos a 3. Os fatores de escala estão próximos a 3,5 e 5 para as alturas de 25 m e 50 m, respectivamente. Valores dos parâmetros encontrados podem ser considerados adequados para o aproveitamento do recurso eólico na geração de eletricidade (Grah *et. al*, 2014).

Figura 5 – Histograma de dados de velocidade do vento coletados a 25 m acima da superfície na torre anemométrica localizada em Petrolina (PTR). A linha contínua representa a distribuição de Weibull ajustada ao histograma.

Figura 6 – Histograma de dados de velocidade do vento coletados a 50 m acima da superfície na torre anemométrica localizada em Petrolina (PTR). A linha contínua representa a distribuição de Weibull ajustada ao histograma.

Figura 7 - Distribuição estatística anulados ventos a 25 m acima da superfície na torre anemométrica em PTR. (a) Histograma e distribuição de Weibull.

(b) Rosa dos ventos.

(a)

(b)

Figura 8 - Distribuição estatística anual dos ventos a 50 m acima da superfície na torre anemométrica em PTR. (a) Histograma e distribuição de Weibull. (b) Rosa dos ventos.

(a)

(b)

Figura 9 – Relação entre precipitação e potência

As Figuras 7 e 8 apresentam a distribuição estatística anual dos ventos observados na torre anemométrica localizada em Petrolina. Nesta localidade há predominância de ventos Sudeste nas duas alturas de observação. A velocidade média é de 3,84 m/s à 25 m acima do solar, e 5,02 m/s à 50 m de altura. O fator de forma (k) da distribuição de Weibull apresentou o valor igual a 2,38, valor considerado adequado para o aproveitamento do recurso eólico na geração de eletricidade.

3.3 AVALIAÇÃO DO POTENCIAL EÓLICO DISPONÍVEL

A potência eólica calculada a partir da equação (2) está apresentada na Figuras 9 com base na distribuição de ventos observados a 50 m acima da superfície em Petrolina. A Figuras 9 também apresenta o total mensal de precipitação observado nas localidades das torres anemométricas. A densidade do ar considerada foi de 1,225 kg/m³. As distribuições estatísticas do regime de ventos nas duas localidades apontaram maiores velocidades médias nas estações de inverno e primavera, normalmente mais secas.

disponível ao longo de um ano característico Petrolina. Em amarelo, a potência média disponível. Em azul, a precipitação média.

A estação localizada em Petrolina apresenta verões/outonos chuvosos e invernos/primaveras secos. A média mensal da potência eólica disponível e a precipitação média apresentam perfis inversos em PTR. A disponibilidade maior do recurso eólico coincide com o período de menor precipitação (estação seca). Isso configura uma situação economicamente vantajosa para a implementação de energia eólica particularmente no Pernambuco, que vem enfrentando intensos períodos de estiagem nos últimos anos (Nascimento *et al.*, 2012).

A complementaridade sazonal entre o recurso eólico e hidroelétrico no Nordeste brasileiro foi observada em outros estudos realizados recentemente (Amarante *et al.*, 2001b; Alves, 2010). Essa característica é um fator importante em dois aspectos principais: contribui para melhor gestão do recurso hídrico em uma região que sofre com longos períodos de estiagem; e promove o aumento da segurança energética do sistema elétrico nacional por meio da diversificação das fontes de energia usadas para atendimento da demanda nacional de eletricidade (Dutra e Szklo, 2008; Nascimento *et al.*, 2012). Lima e Carvalho (2016) apontam a necessidade de compromisso coletivo e implementação de políticas públicas para fazer uso da complementaridade dos recursos hídricos e eólicos no Nordeste brasileiro. A localização do território brasileiro também possibilita o aproveitamento de outras fontes de energia – solar e biomassa – também para a diversificação da matriz brasileira em razão também da complementaridade dos ciclos de disponibilidade e variabilidade especial e temporal de cada fonte de energia (Witzler, 2015; Velloso *et al.*, 2019).

4. CONCLUSÕES

Este trabalho avaliou a disponibilidade e variabilidade do recurso de energia eólica nas torres anemométricas da rede SONDA instaladas em Petrolina/PE. A base de dados abarcou observações realizadas no período entre 2007 e 2011. Apesar de não haver disponibilidade de uma série histórica com 30 anos de dados observados para uma estudo climatológico, o uso de observações realizadas por um

período de 5 anos permitiu compreender características importantes do regime de ventos nesta localidade próxima ao lago do reservatório de Sobradinho no Rio São Francisco.

O estudo possibilitou uma visão abrangente da variabilidade sazonal do regime de ventos e constatou-se que as maiores velocidades médias do vento ocorrem durante o inverno – 5,83 m/s a 50 m acima do solo. Os dados eólicos observados na torre anemométrica em Petrolina indicaram valores próximos a 5 e 2,5 para os parâmetros de escala e de forma da distribuição estatística de Weibull, respectivamente. A estação apresentou um regime de vento com grande persistência durante o ano inteiro, havendo predominância de ventos SE.

O estudo também comparou a intensidade do vento com o regime de precipitação observado nas mesmas localidades de observação do vento. Observou-se complementaridade sazonal entre as duas variáveis de modo que os ventos são mais intensos na mesma época do ano em que ocorre os menores índices de precipitação em Petrolina.

A análise do ciclo diário da velocidade do vento será realizado na continuidade da pesquisa com o intuito de identificar e compreender os fatores climáticos e fenômenos meteorológicos que influenciam a variabilidade do vento ao longo do dia nas duas regiões de grande potencial eólico do Brasil.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq pelo financiamento deste estudo e bolsas de pesquisa dos autores deste trabalho. Agradecem também ao FINEP e Petrobras pelo suporte financeiro para instalação, operação e manutenção da rede SONDA. Agradecimentos também são devidos aos colegas pesquisadores e técnicos do Laboratório de Instrumentação Meteorológica do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais pelo apoio nas atividades de operação e manutenção das estações da rede SONDA.

REFERÊNCIAS

- [1] Alves, J. J. A. (2010) Análise regional da energia eólica no Brasil. *Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional*, 6, 1, 165–188.
- [2] Amarante, O. C., Brower, M., Zack, J., Sá, A. L., (2001). Atlas do Potencial Eólico Brasileiro. Rio de Janeiro: Eletrobrás, 45 pp.
- [3] Amarante, O. A. C., Schultz, D. J., Bittencourt, R. M., Rocha, N. A. (2001) Wind/Hydro Complementary Seasonal Regimes in Brazil. *DEWI Mag*, 19, 79–86.
- [4] Aneel, Agência Nacional de Energia Elétrica, 2019. Banco de Informações de Geração. Disponível online em http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidade_brasil/capacidadebrasil.cfm, Acesso: Abril de 2019.
- [5] Dutra, R. M., Szklo, A. S. (2008) Hydro-Wind power complementarity: a way to implementing wind power in Brazil. In: 10th. World Renewable Energy Congress - WREC X, 2344–2349. Glasgow.
- [6] EWEA (2016) European Wind Energy Association. Disponível online em <http://www.ewea.org/>. Acesso: Dezembro 2016.
- [7] Goldemberg, J., Lucon, O. (2007) Energia e meio ambiente no Brasil. *Estudos Avançados*. São Paulo, 21, 59, 7-20.
- [8] Grah, V. de F., Ponciano, I. M., Botrel, T. A. (2014), Potential for wind energy generation in Piracicaba, SP, Brazil. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 18, 5, 559564.
- [9] IEA (2016) World Energy Outlook (WEO2016). Part B: Special Focus on Renewable Energy. International Energy Agency, 684 pp. ISBN:97892-64-26495-3.
- [10] INMET (2019). Normais Climatológicas do Brasil: 1961-1990. Brasília: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Disponível online em www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/normaisClimatologicas/.
- [11] Kaimal, J. C., Finnigan, J. J. (1994). Atmospheric Boundary Layer Flows: Their Structure and Measurement. New York: Oxford University Press.
- [12] Lima, C. C., Carvalho, L. M. O. (2016). A Produção de Energia Elétrica, a Exaustão Ambiental da Fonte Hídrica e a Opção Proveniente da Base Eólica Renovável. *Revista Brasileira de Energias Renováveis*, 5, 65–90.
- [13] Martins, F. R., Pereira, E. B. (2011) Enhancing Information for Solar and Wind Energy Technology Deployment in Brazil. *Energy Policy*, 39, 7, 4378–4390.

- [14] Martins, F. R., Guarnieri, R. A., Pereira, E. B. (2008) O aproveitamento da energia eólica. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 30, 1, 1304. doi: 10.1590/S1806-11172008000100005
- [15] MCTIC (2018) Plano de ciência, tecnologia e inovação para energias renováveis e biocombustíveis: 2018-2022. Brasília, Ministério de Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações, 60pp.
- [16] Nascimento, T. C., Mendonça, A. T. B. B., Cunha, S. K. (2012) Inovação e sustentabilidade na produção de energia: o caso do sistema setorial de energia eólica no Brasil. *Cadernos EBAPE.BR*, 10, 3, 630-651.
- [17] Simas, M. Pacca, S. (2013) Energia eólica, geração de empregos e desenvolvimento sustentável. *Estudos Avançados*, 27, 77, 99-116.
- [18] Stull, R. B. (1988) An introduction to Boundary Layer Meteorology. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- [19] Velloso, M. F. A., Martins, F. R. Pereira, E. B. (2019). Case study for hybrid power generation combining hydro and photovoltaic energy resources in the Brazilian semiarid region. *Clean Technologies and Environmental Policy*. doi: 10.1007/s10098-019-01685-1.
- [20] Viterbo, J. C. (2008) Geração de energia elétrica a partir da fonte eólica offshore. Dissertação (Mestrado). São Paulo, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Naval e Oceânica.
- [21] WindPower Monthly Editorial (2004). Becoming Respectable in Serious Circles. *Wind Power Monthly*, vol. 20, Jan. 2004.
- [22] Witzler, L. T. (2015) Metodologia para reconstrução de séries históricas de vento e geração eólica visando a análise da complementariedade energética no Sistema Interligado Nacional. Dissertação (Mestrado).
- [23] São Paulo, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

Capítulo 11

Sensoriamento remoto: Fundamentos e uso

Bianca Schlickmann Felisbino

Yader Guerrero

Breno Barra

Helena Nierwinski

Marcelo Heidemann

Resumo: A evolução tecnológica ocorrida nas últimas décadas trouxe novos meios para levantar informações sobre o terreno de forma remota, entre elas se destacam as técnicas com o uso de sensores passivos (fotografias aéreas e imagens de satélite) e com o sensor Laser Scanner, também conhecido por LIDAR (Light Detection and Ranging). As aplicações da tecnologia LIDAR são muito variadas e podem abranger diferentes âmbitos da ciência (geodesia, arqueologia, geografia, engenharia florestal, entre outras). Tendo em conta os usos desta tecnologia, pode se afirmar que uma das aplicações mais assíduas ocorre nas diferentes áreas da construção civil de grande extensão, em especial obras rodoviárias. A partir da análise de sua grande aplicabilidade, se conclui que é uma tecnologia eficaz, que reduz tempo e custo, além de proporcionar uma maior quantidade e qualidade de dados, podendo-se prevenir possíveis obstáculos na execução e abordar soluções com uma visão mais ampla da situação.

Palavras-chaves: LIDAR, Sensoriamento Remoto, construção civil.

1 INTRODUÇÃO

Em pesquisas elaboradas por Schawlow e Townes (1958) foram estabelecidas as teorias para a amplificação das ondas de luz por meio da utilização de Laser fundamentados nos princípios estabelecidos por Einstein em 1917. E a partir do surgimento, houve grandes avanços tendo em conta as perspectivas de utilização nas diferentes áreas [1].

O princípio de funcionamento da tecnologia LIDAR está baseado na emissão pulsos LASER sob uma determinada taxa de frequência de repetição e numa taxa de varredura geralmente do tipo perpendicular à direção da linha de voo. Dessa forma, o sensor LASER possui a capacidade de atingir múltiplas reflexões, ou seja, vários pulsos podem ser refletidos sob um mesmo objeto. Por isso, este aspecto constitui uma poderosa ferramenta para vários tipos de análise de dados [2].

As técnicas de modelagem de terreno têm sido amplamente aplicadas em ciências físicas e da terra. No mapeamento topográfico, representações digitais do terreno frequentemente são um dos elementos do processo de mapeamento. A modelagem topográfica de escala grande é de particular importância, pois forma a base para a modelagem de projetos de engenharia civil [3].

O LIDAR vem sendo utilizado, em nível mundial, há mais de vinte anos e para uma variedade de aplicações. Mais recentemente, tem sido utilizado para gerar Modelos Digitais do Terreno (MDTs) em mapeamentos de grande escala e alta acurácia [4-6]. No Brasil, os primeiros mapeamentos foram realizados no ano de 2001 [7].

2 O SISTEMA LASER SCANNER (LIDAR)

Ultimamente, a implantação e a aplicação dos sistemas LIDAR (Light Detection and Ranging) sofreram um enorme crescimento. A eficiência e a acessibilidade tornaram o LIDAR uma ferramenta principal para coletar uma variedade de dados de superfície de alta qualidade em períodos de tempo muito mais curtos do que antes para vários propósitos [8-10]. Além disso, a tecnologia de hardware LIDAR também foi melhorada, em particular a frequência de pulso aumentou significativamente; enquanto sistemas anteriores forneciam taxa de pulso de 33 kHz, os sistemas LIDAR de última geração são capazes de fornecer taxa de repetição de pulso de até 100 kHz. Além disso, a precisão da variação melhorou para um nível de 2-3 cm, e a disponibilidade do sinal de intensidade tornou-se comum [11]. Estes desenvolvimentos resultaram na melhoria da qualidade dos dados em termos de maior densidade de pontos e melhor precisão, que por sua vez, abriu novas áreas de aplicação do LIDAR [12].

A tecnologia LIDAR possui sua própria fonte de energia que emite radiação eletromagnética em ondas curtas, motivo pelo qual é considerado um sensor ativo. Propósito que, quando comparado com o sistema fundamentado na fotogrametria, apresenta grandes vantagens, pois não depende da iluminação solar para a realização do levantamento, desta forma, os dados não são prejudicados pela presença de sombras [13].

Outro fator importante a favor da tecnologia LIDAR é que os pulsos laser podem penetrar pequenas aberturas em áreas com cobertura vegetal, dessa forma pode fornecer informações sobre a estrutura vegetal e o relevo da área. O sistema Laser scanner aerotransportado é um sistema de Sensoriamento Remoto ativo, que utiliza uma técnica de varredura ótico-mecânico com pulsos laser para a coleta de informações. O pulso laser considera o intervalo de tempo entre a emissão e recepção para determinar a distância entre o sensor e o objeto [14].

O sistema Laser Scanner gera coordenadas tridimensionais de pontos sobre uma superfície num curto período de tempo. Seu princípio de operação é bastante simples. Os pulsos de laser são gerados e emitidos pelo sistema com o auxílio de um espelho de varredura atingindo os objetos. Estes objetos refletem o pulso emitido e parte de sua energia volta para o sistema. Com isto, a medida da distância entre o sensor e o objeto iluminado é determinado através do intervalo de tempo entre a emissão e a reflexão (retorno) do pulso. O posicionamento 3D destes pontos pode ser determinado caso a posição e a orientação do pulso enviado seja conhecida em relação ao sistema de referência WGS 84. Para haver uma acurácia na determinação dos pontos é necessário haver uma boa sincronização entre os componentes envolvidos pelo sistema [15].

A varredura é feita no sentido transversal à direção da linha de voo, com a divergência configurável pelo sistema permitindo a determinação da largura da faixa abrangida pelo perfilamento laser. Com a realização do voo, o sistema fornece dados brutos com informações tridimensionais do terreno sobrevoado. Esses dados são de posição (GPS), orientação da aeronave e de cada pulso emitido (SMI) e intervalos de tempo (medida laser). Os dados são posteriormente integrados, gerando um grande

conjunto de pontos que devem ser processados para modelar a superfície do terreno tridimensionalmente [7].

De forma geral, os sistemas ALS (Airborne Laser Scanner) podem ser divididos por um sensor laser encarregado de registrar o tempo entre os sinais (emitidos e recebidos) tendo em conta o posicionamento num sistema Inercial de Navegação INS (Inertial Navigation System) e um receptor GPS [16] (Figura 1).

Figura 1. Princípios de um sistema ALS.

Fonte: <http://www.arcland.eu/capture/lidar/1514-airborne-lidar-technology>

3 UTILIZAÇÃO DA LIDAR NA ENGENHARIA CIVIL

O uso da tecnologia LIDAR vem se tornando cada vez mais frequente no campo de aplicações da Engenharia, tendo em vista a grande quantidade de informações geradas pelo sensor, a elevada precisão, a velocidade da aquisição e o baixo custo dessa tecnologia. Uma das aplicações está relacionada com a obtenção de informações altimétricas de alta precisão bem como informações quantitativas e qualitativas que auxiliam na detecção de elementos presentes na área de interesse [17].

Sistemas LIDAR modernos com precisão de faixa de nível cm e alta taxa de pulso, em teoria, poderiam ser aplicados a trabalhos de topografia, como processos de nivelamento [18], ainda mais, sistemas LIDAR baseados em terra estão sendo usados para monitorar movimentos de grandes estruturas e deslizamentos de terra, como complemento de outros instrumentos, por exemplo, estação total sem prisma [19].

Em muitos países, o LIDAR tem encontrado possibilidades de grande variedade de aplicações. Ele traz benefícios para fins de planejamento, projeto, inspeção e manutenção de trabalhos de infraestrutura. Pode ser utilizado no planejamento de corredores viários e simulações de impacto ambiental [20].

Segundo [21] turbinas eólicas estão crescendo em potencial de geração e, conseqüentemente, em tamanho. Para monitoramento e avaliação das características locais torres meteorológicas precisam cada vez monitorar os ventos em maiores alturas. Tendo em vista esta necessidade, técnicas de sensoriamento remoto estão sendo cada vez mais utilizadas para medir as características do vento a grandes alturas [22], reduzindo os custos operacionais. Particularmente, sistemas de perfilagem dos ventos pela tecnologia LIDAR (Light Detection and Ranging) estão sendo aplicados para avaliar a velocidade e direção do vento dentro da camada limite atmosférica [23].

O LIDAR também se adapta bem para mapeamento de faixas lineares da superfície tais como faixa de domínio de rodovias. A aeronave pode voar ao longo do eixo da rodovia, resultando no mapeamento somente de áreas de interesse e provendo um mapa digital do terreno com alta resolução espacial, capturando informações sobre pavimento, sistema de drenagem e vegetação e edificações. O sensor pode ser ajustado para obter um ponto de medida LASER a cada poucos metros ou vários pontos por metro quadrado, com um pulso de 10 a 15 cm de diâmetro, provendo informações suficientes para criar um MDT adequado para muitas aplicações de engenharia, incluindo o alinhamento de autoestradas [24].

Segundo [17] em projetos de Engenharia de Infraestrutura Viária, é de grande importância que as informações altimétricas do terreno e da cobertura vegetal, bem como informações sobre a existência de travessias e cruzamentos sejam conhecidas previamente na fase de pré-projeto. O conhecimento prévio da

existência desses elementos, bem como suas características qualitativas e quantitativas, auxilia no desenvolvimento de traçados apropriados e de um projeto geométrico consistente que dará subsídio às demais etapas tais como:

- Projeto de Terraplenagem;
- Projeto de Drenagem e Obras de Artes Correntes;
- Projeto de Desapropriação; e
- Projeto de Estudos Ambientais.

Para isso, através do processamento dos dados gerados pelo sistema LIDAR, é possível detectar de forma automática e semiautomática os elementos de interesse tais como: modelo digital de terreno (MDT), áreas de cobertura vegetal e edificações. Além disso, utilizando informações de intensidade do retorno fornecidas pelo pulso laser é possível detectar elementos/feições tais como: estruturas de pavimentação asfáltica, linhas de transmissão e corpos d'água [17].

Dependendo da necessidade do usuário, a captura de realidade pode ter diferentes importâncias. Os modelos 3D de prédios que envolvem atividades de alta periculosidade, como usinas nucleares por exemplo, são usados para monitoramento e planejamento de modificações [25]. Em obras de terra, modelos criados por laser scanner são utilizados para verificar a movimentação de estruturas de contenção visando identificar possíveis deformações que podem comprometer a estabilidade da estrutura. O mesmo conceito é utilizado para a verificação de estruturas de pontes, identificando deformações que não são perceptíveis a olho nu, mesmo por um engenheiro especialista treinado [26].

5 CONCLUSÕES

A utilização da tecnologia LIDAR vem crescendo e se posicionando como uma excelente escolha para a utilização em grandes obras de engenharia civil, e este trabalho apresenta vários exemplos.

A tecnologia permite fazer uma análise geral e específica de grandes obras como, por exemplo, as obras viárias, que apresentam uma grande extensão e com as tecnologias convencionais se torna difícil o levantamento e a visualização de todos os pontos existentes. Assim a tecnologia LIDAR torna-se um diferencial, na qual podemos fazer uma análise de toda a via em questão, com uma boa qualidade e altíssima precisão com boa produtividade, fatores estes que são cada vez mais presados em obras de engenharia, para extinguir possíveis erros.

Outros diferenciais citados, é a autossuficiência que esta apresenta, pois não necessita de uma boa iluminação solar para sua funcionabilidade, assim consegue realizar a captação dos dados mesmo em ambientes com sombras. Além da sua vasta visualização, a presença de vegetação alta e em grandes proporções não dificulta a captação do modelo do terreno por pontos para a tecnologia LIDAR, diferentemente das tecnologias fotogramétricas convencionais.

Após o levantamento dos diversos pontos positivos da tecnologia LIDAR provou-se que o investimento em tecnologias como está e sua utilização em maior escala vão melhorar diversas análises como, da produtividade da equipe, do melhor modo de construção e manutenção a se empregar além, da análise de pontos críticos. Assim, com a otimização destas ocorreram grandes avanços no ramo da engenharia civil. Ou seja, a implantação do LIDAR vai influenciar positivamente em parâmetros determinantes em uma obra, como produtividade, planejamento, tempo e custos tanto da implantação quanto da operação e controle de uma obra.

REFERÊNCIAS

- [1] Schawlow, A. L. and Townes, C.H. "Infrared and Optical Masers. Physical Review".
- [2] Dalmolin, Q. e Santos, D. R. "Sistema Laserscanner: conceitos e princípios de funcionamento" (3ª edição). Curitiba, UFPR, 2004.
- [3] Petrie, G.; Kennie, T.J.M. "Terrain modelling in surveying and civil engineering". Londres: Editora Whittles, 1990.
- [4] Kraus, K. and Pfeifer, N. "Determination of terrain models in wooded areas with airborne laser scanner data". ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. 53, pp. 193–203. 1998.

- [5] Means, J.E.; Acker, A.A.; Fitt, B.J.; Renslow, M.; Emerson, L. and Hendrix, C. 2000. "Predicting forest stand characteristics with airborne scanning LIDAR". *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, Vol. 66, No.11, pp. 1367-1371.
- [6] Berg, R. and Fergunson, J. "Mapping Ontario's highways with LIDAR". *Gim International*, Canadá, v. 15, n. 11, p. 44 a 47, nov. 2001.
- [7] Schafer, A.G. e Loch, R.E.N. "Aplicação do sensoriamento remoto em projetos rodoviários: um histórico, uma realidade e uma necessidade como disciplina em cursos de engenharia". 2013. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/228829126_Aplicacao_do_sensoriamento_remoto_em_projetos_rodoviar_ios_um_historico_uma_realidade_e_uma_necessidade_como_disciplina_em_cursos_de_engenharia>. Acesso em: 15 maio 2018.
- [8] Alexander, C.; Smith-Voysey, S.; Jarvis, C. and Tansey, K. "Integrating building footprints and LiDAR elevation data to classify roof structures and visualise buildings". *Computers, Environment and Urban Systems*. Vol. 33. 2009. pp. 285-292.
- [9] Stephens, P.; Kimberley, M.; Beets, P.; Thomas, S.; Searles, N.; Bell, A.; Brack, C. and Broadley, J. "Airborne scanning LiDAR in a double sampling forest carbon inventory". *Remote Sensing of Environment*. Vol. 117. 2012. pp. 348-357.
- [10] Næsset, E.; Gobakken, T.; Bollandsås, O.; Gregoire, T.; Nelson, R. and Ståhl, G. "Comparison of precision of biomass estimates in regional field sample surveys and airborne LiDAR-assisted surveys in Hedmark County, Norway". *Remote Sensing of Environment*. Vol. 130. 2013. pp. 108-120.
- [11] C. Toth. "Future Trends in LiDAR". *Proceedings of the ASPRS 2004 Annual Conference*. Denver, USA. Unpaginated CD-ROM. 2004.
- [12] Renslow, M. "The Status of LiDAR Today and Future Directions. *Proceedings of the 3D Mapping from InSAR and LiDAR*", ISPRS WG I/2 Workshop. Banff, Canada. Unpaginated CD-ROM. 2005.
- [13] Andersen, H.E.; Mcgaghey, R.J. and Reutebuch, S.E. "A rigorous assessment of tree height measurements obtained using airborne lidar and conventional field methods".
- [14] Wagner, W.; Ullrich, A.; Melzer, T.; Briese, C. and Kraus, K. "From singles-pulse to fullwaveform airborne laser scanners: potential and practical challenges". In: *ISPRS Congress, 20., 2004, Istanbul, Turkey. Geo-Imagery Bridging Continents: proceedings...Istanbul, 2004*. p. 201-206. (International archives of photogrammetry, remote sensing and spatial information sciences, v.35. pt. B3. Comission 3. Disponível em: <<http://www.isprs.org/proceedings/XXXV/congress/comm3/papers/267.pdf>>. Acesso em: 10 maio 2018.
- [15] Dalmolin, Q. e Santos, D. R. "Sistema Laserscanner: conceitos e princípios de funcionamento" (3ª edição). Curitiba, UFPR, 2004.
- [16] Giongo, P.R.; Moura, G.B.A.; Silva, A.P.N. e De Medeiros, S.R.R., "Uso de sensoriamento remoto para estimar o saldo de radiação em áreas de cana-de-açúcar e cerrado." *Revista Científica Eletrônica de Agronomia, Garça*, v.18, n.1, p.8-21, jun, 2010.
- [17] Bastos, B. C. e Ercolin Filho, L. "Utilização da tecnologia lidar em projetos de engenharia de infraestrutura viária". Disponível em: <<http://www.anea.org.br/artigos/LidarInfraEstruturaViaria.pdf>>. Acesso em: 15 maio 2018.
- [18] Wenquan, H. "Research on Analyze Accuracy of LiDAR Data in Surveying Projects". *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. Congress*. Vol. XXXVII. Beijing, China. 2008. pp. 1253-1256.
- [19] Yang, I.; Park, J. and Kim, D. "Monitoring the symptoms of landslide using the non-prism total station". *KSCE Journal of Civil Engineering*. Vol. 11. 2007. pp. 293- 301.
- [20] Lemmens, M. and Lohani, B. "Geo-information from LIDAR. *Gim International*". Canadá, v. 15, n. 07, p. 30-33, July 2001.
- [21] Nassif, F.B. "A tecnologia lidar aplicada a medições eólicas sobre corpos hídricos e oceano". 2017. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/186188>>. Acesso em: 16 maio 2018.
- [22] Hasager, C. B.; Pena, A.; Christiansen, M.B.; Astrup, P.; Nielsen, M.; Monaldo, F.; Thompson, D. and Nielsen, P. "Remote sensing observation used in offshore wind energy". *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, IEEE, v. 1, n. 1, p. 67-79, 2008.
- [23] Shu, Z.; Li, Q.S.; He, Y.C. and Chan, P.W. "Observations of offshore wind characteristics by doppler-lidar for wind energy applications". *Applied Energy*, Elsevier, v. 169, p. 150-163, 2016.
- [24] Gutelius, Bill. "Engineering applications of airborne scanning lasers: reports from the field". *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*. EUA, v.64, n. 04, p. 246-253, apr. 1998.
- [25] Cantzler, H. "Improving architectural 3D reconstruction by constrained modeling". Tese (PhD.). School of Informatics, University of Edinburgh, 2003.
- [26] Muller filho, A.V. "Captura da realidade por laser scanner e fotogrametria para a geração de BIMs". 2015. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/157217>>. Acesso em: 17 maio 2018.

Capítulo 12

Utilização de operadores booleanos na análise temporo-espacial do uso da terra e cobertura vegetal na Rodovia BR-174, trecho de Manaus a Presidente Figueiredo-AM

Bruno Sarkis Vidal

João Cândido André da Silva Neto

Resumo: O presente trabalho teve como objetivo realizar uma análise temporo-espacial do uso da terra e cobertura vegetal no entorno (20km) da Rodovia BR 174 em um período de 32 anos, através da utilização de operadores booleanos (lógicos) para análise espacial. O mapa de análise temporo-espacial síntese foi gerado através do processamento de imagens do satélite Landsat 5 MSS e 8 OLI no software SPRING e a aplicação da linguagem em LEGAL para chegar-se no plano de informação síntese.

Palavras-chave: Amazônia, Uso da Terra, Geoprocessamento, LEGAL, Operadores Booleanos.

1 INTRODUÇÃO

A lógica do desmatamento na Amazônia é de expansão na dimensão temporo-espacial, nota-se pressões na borda da Amazônia Legal, devido ao avanço da fronteira agrícola de monoculturas de grãos, pecuária extensiva e exploração ilegal de madeira.

As explicações para a origem do processo do desmatamento na Amazônia são complexas, portanto, não devem ser associadas apenas em um único fator. Entretanto, Fearside (2005) atribui que o principal fator do desmatamento na Amazônia é a construção e pavimentação das rodovias, além da abertura dos vicinais.

Segundo o Projeto Prodes do INPE, a Amazônia Brasileira tem uma área de 5.033.072 km² de extensão, sendo que 680 mil km² já foram desmatados. A maior parcela do desmatamento na Amazônia concentra-se nas margens das rodovias, que são estruturas complexas com o objetivo de desempenhar como via de transporte terrestre para pessoas e cargas (BANDEIRA e FLORIANO, 2004).

Nas décadas de 60 e 70 as estradas começaram a ser planejadas e construídas na Amazônia, para Oliveira Neto (2014) foi um plano do Governo Federal que tinha o discurso geopolítico fundamentado na segurança nacional, onde a pretensão era de integrar e dominar o Brasil Setentrional, com a possibilidade de extração de riquezas minerais, industriais e agrícolas, resultado no desenvolvimento da Região Norte.

É neste contexto que a Rodovia BR 174 é criada, sua construção inicia-se em 1970, mas a sua total pavimentação só se deu em 1997, onde o discurso político foi a possibilidade de escoamento da Zona Franca de Manaus para os países vizinhos, além de realizar a ligação entre as capitais Manaus/AM e Boa Vista/RR (RODRIGUES, 2011).

As rodovias implicam em inúmeros problemas de caráter socioambiental, seus impactos começam no planejamento, se desenvolvem na implementação e construção e continuam até a fase operacional, onde a qualidade da manutenção gera grandes implicações (BANDEIRA e FLORIANO, 2004).

O desmatamento na Amazônia está diretamente ligado a essas implicações oriundas das rodovias, é marcado pela substituição das áreas florestas por áreas de pastagens, agricultura familiar e a agroindústria (MARGUILIS, 2003).

Nesse sentido, a Amazônia pode ser entendida como passiva ao aumento dos impactos ambientais negativos decorrentes do processo de apropriação da natureza, que associado às transformações dos sistemas naturais em sistemas agrícolas, devem ser analisadas e possuírem prerrogativas públicas importante de conservação e planejamento.

A abordagem da natureza nas perspectivas das ações e intencionalidades da sociedade na paisagem, que através das atividades econômicas transformam a natureza em mercadoria, resultando em diversos tipos de impactos de caráter socioambiental e os diagnósticos de transformações da paisagem, por meio da análise do uso do solo e cobertura vegetal.

Portanto, o objetivo da proposta é analisar o uso da terra e cobertura vegetal na dimensão temporo-espacial através do SPRING, utilizando operadores booleanos no módulo LEGAL.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo foi realizado em uma faixa de 20km (10km para cada margem) da rodovia BR-174, entre os municípios de Manaus e Presidente Figueiredo, localizados no norte do Amazonas, Região Norte do Brasil (Figura 01).

Figura 01: Área de estudo.

Fonte: Autores (2019)

O processamento dos dados foi implementado no módulo de análise no software Spring. Silva Neto e Aleixo (2017) compreendem que o termo “espacial” em SIG, adota uma conotação de estrutura topológica, relacionada à localidade e dimensionamento dos elementos, fenômenos e atributos estudados.

A análise espacial tem como objetivo essencial responder questões levantadas a partir de um problema fundamentado em 5 tipos de análises: condição; localização; tendência; padrões e modelos, regidos por um problema geral (Quadro 01). Os resultados conseguidos através da análise de mapas, gráficos, tabelas e textos, permitirão observar, na medida do possível, uma análise de determinada realidade.

Quadro 01: Exemplos de análise espacial.

Análise	Pergunta Geral	Exemplo
Condição	O que está...? E como está?	Implementação da Rodovia, quais são os malefícios e benefícios?
Localização	Onde está...?	Áreas onde os vicinais foram abertos. Locais de desmatamento.
Tendência	O que mudou...?	As áreas de florestas estão diminuindo nos últimos anos?
Padrões	Qual o padrão...?	Como se dá a dinâmica do desmatamento e do crescimento populacional?
Modelos	O que acontece se...?	Como a construção e pavimentação de rodovias e vicinais propaga o desmatamento.

De acordo com Lang e Blaschke (2009), a análise espacial é a relação de camadas (layers), que pode diferenciar-se em análise horizontal ou vertical. Servem para a pesquisa de relações espaciais entre entidades dentro de uma ou mais camadas, objetivando gerar novas informações, que é originária da manipulação e integração com camadas de dados já existentes.

As análises espaciais dos tipos horizontais e verticais se complementam, enquanto a horizontal verifica padrões e formas das áreas, calculando as distâncias entre as mesmas. A vertical faz a antítese da horizontal, utilizando todos os métodos de análise, onde as camadas de dados (layers) são analisados de forma integrada.

Os geo-campos são descritos como uma representação da distribuição espacial de uma variável que possui valores em todos os pontos pertencentes a uma região geográfica, num dado tempo t (CÂMARA e MONTEIRO, 2001). Os geo-campos podem ser especializados em temático, numérico e dado sensor remoto.

A correlação dos geo-campos foi executada por sobreposição com operadores lógicos (Figura 2), onde utilizou-se da lógica booleana, utilizada em análise espacial qualitativa gerando um temático. A escolha dessa abordagem é a simplicidade e fácil aplicação da combinação lógica de mapas em SIG.

As imagens utilizadas foram dos satélites Landsat-5, do sensor Multispectral Scanner Subsystem (MSS) para o ano de 1985 e o Landsat-8 com o sensor Operational Land Imager (OLI) para a imagem de 2017.

O processo anterior à análise espacial das imagens, foi necessário o processo de criação do mosaico das cenas de órbita 231 e pontos 61 e 62. A composição em falsa-cor e a correção geométrica, definidas como etapas essenciais para o processo de classificação de imagens.

As classificações de imagens de satélite foram realizadas no software de geoprocessamento SPRING 5.5¹, resultando na elaboração dos planos de informação (PI's) dos anos de 1985 e 2017, possibilitando a análise dos diferentes tipos de uso da terra na área estudada através da metodologia utilizada (Figura 02)

Figura 02: Organograma das etapas para classificação de imagens no Spring. Fonte: Autores (2019)

A figura 03 representa os procedimentos realizados para o mapeamento das classes de uso da terra e cobertura vegetal, onde “A” corresponde a composição das bandas do Landsat utilizado, “B” é a imagem segmentada após a definição dos limiares de área e similaridade, a “C” representa o processo de treinamento, onde as classes temáticas foram definidas e “D” é a imagem classificada.

Figura 03: Procedimentos para o mapeamento do uso da terra.

¹ Disponível gratuitamente pelo Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE) - <http://www.dpi.inpe.br/spring/>

As funções dos operadores booleanos permitem realizar o cruzamento entre os planos de informação, neste caso, foram cruzados quatro PI's: floresta, desmatamento, solo exposto e corpos hídricos, gerando o PI síntese do uso da terra e cobertura vegetal.

O plano de informação síntese teve um recorte temporal de 1985 e 2017, onde foi realizado no módulo de análise do Spring, pela programação na Linguagem Espacial de Geoprocessamento Algebrico (LEGAL), uma linguagem de programação intrínseca ao Spring.

Os operadores utilizados no LEGAL foram os de intersecção / e "&&", união ou similaridade / ou "|", exclusão, desunião ou diferença / xor "|" e negação / não "!=" (Quadro 02).

Quadro 02: Operadores Booleanos utilizados na análise espacial para determinação da análise temporal do uso da terra e cobertura vegetal.

Operador Lógico	Significado	Sintaxe no LEGAL
e	Intersecção	&&
ou	União ou similaridade	
=	Igual	==
não	Negação	!=

No código de programação escrito no LEGAL, foram estabelecidas as classes temáticas das áreas que foram preservadas, desmatadas, reflorestadas e as que se tornaram corpos hídricos (Figura 04).

Figura 03: Código de programação criado no LEGAL.

```
{
//declarações
Tematico usoini ("CLASSIFICADA_06_07_85");
Tematico usofim ("CLASSIFICADA_30_07_17");
Tematico temporal ("MULTITEMPORAL_85_17");

//instanciações
usoini = Recupere( Nome = "CLASSIFICADA_85" );
usofim = Recupere( Nome = "CLASSIFICADA_17" );
temporal = Novo( Nome = "MULTITEMPORAL", ResX = 30 , ResY = 30 , Escala = 60000 );

//operações
temporal = Atribua (CategoriaFim = "MULTITEMPORAL_85_17")
{
"PRESERVADA" : ((usoini == "FLORESTA") && (usofim == "FLORESTA")),
"REFLORESTADA" : ((usoini == "DESMATAMENTO") || (usoini == "SOLO_EXPOSTO" || usoini == "CORPOS_HIDRICOS")
&& (usofim == "FLORESTA")),
"DESMATADA" : ((usoini == "FLORESTA" || usoini == "SOLO_EXPOSTO" || usoini == "DESMATAMENTO") && (usofim
== "DESMATAMENTO" || usofim == "SOLO_EXPOSTO")),
"CORPOS_DAGUA" : ((usoini == "CORPOS_HIDRICOS" || usoini == "DESMATAMENTO" || usoini == "SOLO_EXPOSTO" ||
usoini == "FLORESTA") && (usofim == "CORPOS_HIDRICOS"))
};
}
```

3. RESULTADOS

A análise temporal realizada do uso da terra e cobertura vegetal permitiu a observação das mudanças provenientes da ação antrópica no entorno da rodovia BR-174, entre os municípios de Manaus/AM e Presidente Figueiredo/AM, com uma extensão de 266km e uma área total de 5.355km².

A dinâmica socioespacial verificada, onde a logística do transporte é rodoviária, está inserida dentro dos estudos produzidos sobre o desmatamento na Amazônia. Para Soares Filho (1998) e Laurence (2001) a distribuição do desmatamento se encontra nas adjacências das estradas de rodagem, onde possui caráter indeterminado em relação à distância da estrada principal.

A análise espacial dos dados estudados foi através do correlacionamento dos PI's de uso da terra e cobertura vegetal dos anos de 1985 e 2017. O plano de informação síntese é oriundo dos geo-campos que foram combinados, sobrepostos e entrecortados (Figura 05).

Figura 05: Organograma do cruzameto dos geo-campos.

Fonte: SILVA NETO (2013)

A correlação entre os planos de informação configura-se como um dos principais métodos para análise espacial de dados geográficos. A sobreposição lógica adotada caracteriza-se pela utilização dos operadores booleanos, geralmente este tipo de sobreposição aplica-se aos arquivos matriciais, pelo fato da sobreposição das diferentes camadas (FITZ, 2008)

Os operados booleanos possibilitaram espacializar onde houverem mudanças no uso da terra e cobertura vegetal na área estuda, como por exemplo, as áreas de florestas que tornaram-se solo exposto. (Figura 06)

Figura 06: Análise temporo espacial do uso da terra e cobertura vegetal da BR-174: 1985 e 2017.

Fonte: Autores

Com o plano de informação síntese gerado, foi possível realizar a análise têmporo-espacial do uso da terra no entorno da BR-174, no recorte analisado, constata-se que entre 1985 e 2017 11% da área foi desmatada, 77% permaneceu preservada, 8% foi reflorestada e 4% tornaram-se corpos d'água. (Figura 07)

Figura 07: Quantificação da análise temporo espacial. Fonte: Autores (2019)

4 DISCUSSÃO

O aumento do desmatamento e o surgimento das áreas de solo exposto em Manaus podem ser associado ao crescimento demográfico elevado da cidade nas últimas décadas (IBGE, 2010). Onde a mancha urbana da capital amazonense se expande e necessita de ampliações de habitações desde o advento da Zona Franca de Manaus, o êxodo rural e o fluxo migratório para capital em busca de melhores condições de vida são exemplos desta dinâmica de transformações no espaço urbano.

A dinâmica das alterações do uso da terra e cobertura vegetal em Presidente Figueiredo estão diretamente associadas a contrução e pavimentação da rodovia BR-174. Onde a abertura da estrada possibilitou o escoamento da produção do estado do Amazonas, a exploração da jazida de Pitinga, além da construção da hidrelétrica de Balbina, contribuindo para o crescimento demográfico da cidade e implementação de grandes empreendimentos.

O plano de informação síntese mostra a expansão da mancha urbana de Manaus e o surgimento de vicinais e áreas de pastagem em Presidente Figueiredo, assim como o surgimento do lago de Balbina.

5 CONCLUSÕES

A utilização de geotecnologias aplicadas na análise ambiental, utilizando o modulo de análise espacial, com emprego da programação em LEGAL, e operadores booleanos, além da classificação de imagens de satélites no SPRING, permitiu a análise das transformações da paisagem ao longo de 32 anos no entorno da rodovia BR 174, onde foi possível espacializar onde houveram mudanças no uso da terra.

A redução nas áreas de floresta em Manaus está relacionada ao crescimento populacional pós Zona Franca. Enquanto em Presidente Figueiredo está vinculado as atividades econômicas desenvolvidas após a construção da rodovia.

Apesar da rodovia estar ligada a redução das áreas de florestas, ela tem importância significativa para a dinâmica terrestre, pois, possibilita o escoamento de mercadorias, fluxos de pessoas e cargas, além da formação de novas comunidades que desenvolvem atividades sociais e culturais.

A criação de projetos sustentáveis obedecendo a legislação ambiental para assegurar o uso sustentável dos recursos naturais e florestais devem ser criados pelo poder público, assegurado por estudo prévios das condições físico-naturais das paisagens, através de diagnósticos e zoneamentos em escala regional e local, proporcionando a análise socioespacial das diferentes dinâmicas da natureza e sociedade conjunta da participação dos grupos tradicionais.

REFERÊNCIAS

- [1] FEARNSIDE, P. M. Desmatamento na Amazônia brasileira: história, índices e consequências. Megadiversidade, 2005. 15 p.
- [2] BANDEIRA, C; FLORIANO, E. P. Avaliação de impacto ambiental em rodovias. Série Cadernos Didáticos. Associação de Pesquisa, Educação e Proteção Ambiental do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul. 2004. 69 p.
- [3] OLIVEIRA NETO, Thiago. A Geopolítica rodoviária na Amazônia: BR-319. Revista de Geopolítica, v. 5, nº 2, jul./dez. 2014. p. 109-128.
- [4] RODRIGUES, Eduardo Paschoal. Dinâmica da paisagem no entorno da BR-174 (1978 - 2008). Programa de Pós-Graduação em Ciências do Ambiente e Sustentabilidade na Amazônia (PPG/CASA). UFAM, 2011. 96 p.
- [5] MARGULIS, Sergio. Causas do Desmatamento da Amazônia Brasileira. Banco Mundial – Brasil. 1ª edição. Brasília, 2003. 101 p.
- [6] SILVA NETO, J. C. A, ALEIXO, N. C. R. Análise temporo-espacial do uso da terra e cobertura vegetal no baixo rio Tefé – Amazonas. In: Silva Neto, J. C. A, Aleixo, N. C. R. & DIAS, L. S. Dinâmicas Socioambientais na Amazônia Brasileira / Tupã: ANAP, 2017. Cap. 1, p. 16-29.
- [7] LANG, S; BLASCHKE, T. Análise da paisagem com SIG. Tradução Hermann Kux. São Paulo: Oficina de texto. 2009.
- [8] CÂMARA, G. e MONTEIRO, A. M. V. Cap. 2. Conceitos básicos em ciência da geoinformação. In: Câmara, G.; Davis, C. e Monteiro, A. M. V. Introdução à Ciência da Geoinformação. São José dos Campos. INPE-10506-RPQ/249, 2001.
- [9] SOARES FILHO, B.S. Modelagem da dinâmica de paisagem de uma região de fronteira de colonização amazônica. Tese (Doutorado em Engenharia de Transporte) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1998. 299p.
- [10] LAURANCE, W.F., COCHRANE, M.A., BERGEN, S., FEARNSIDE, P.M., DELAMONICA, P., BARBER, C., D'ANGELO, S. e FERNANDES, T. The future of the Brazilian Amazon. Science, 2001, v. 291, p. 438-439.
- [11] SILVA NETO, J. C. A. Zoneamento ambiental como subsídio para o ordenamento do território da bacia hidrográfica do rio Salobra, Serra da Bodoquena – MS. 2013. 291f. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente.
- [12] FITZ, P. R. Geoprocessamento sem complicação. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.
- [13] Instituto Brasileiro de Geografia Estatística (IBGE), Cidade. 2010. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/>

Capítulo 13

Sistema de varredura a laser terrestre (SVLT): Um estado da arte e possibilidades no meio urbano

Adriano Antonio Tronco

Bianca Ferraz

Joandson Fernandes Campos

Roney Berti de Oliveira

Marcelo Luiz Chicati

Resumo: O Sistema de Varredura a Laser Terrestre (SVLT) é uma técnica para coleta de dados por meio de pulsos eletromagnéticos que gera uma nuvem de pontos do local onde é feita a análise, a partir do qual é possível fazer uma modelagem tridimensional e ainda combinar dados provenientes de outras fontes como GNSS, estação total e outros sensores para maior detalhamento em função do objetivo final. Neste artigo foi feito um pequeno estudo de aprofundamento no que tange ao funcionamento e caracterização do SVLT além de uma análise do estado da arte do uso do sistema de varredura à laser terrestre, abordando alguns artigos nas áreas de maior uso e contemplando alguns referentes aos usos urbanos.

SVLT. Sensoriamento remoto. Estado da arte. Aplicações do SVLT.

Palavras-chave: SVLT. Sensoriamento remoto. Estado da arte. Aplicações do SVLT.

1. INTRODUÇÃO

O sistema de varredura a laser terrestre (SVLT) é um método utilizado em várias engenharias para coleta de dados de caráter geométrico em campo, tais como estudos topográficos, modelagens de terrenos e superfícies diversas, análise de edificações, cobertura vegetal, estudos geomorfológicos entre outros. O SVLT é baseado no LIDAR, ou Light Detection and Ranging.

Análogo ao sonar e ao radar, o LIDAR se utiliza da propagação de ondas eletromagnéticas e detecção das mesmas por meio de um sensor. O sonar utiliza ondas sonoras, o radar faz uso das ondas de rádio e o LIDAR trabalha com a faixa do espectro referente à luz visível e suas proximidades. Iremos analisar mais profundamente os princípios básicos do SVLT e verificar alguns trabalhos realizados na atualidade em várias áreas do conhecimento com ajuda deste sistema do sensoriamento remoto, sendo que uma destas abordagens se refere aos usos no ambiente urbano.

2. SISTEMA DE VARREDURA A LASER TERRESTRE

O princípio de funcionamento de um equipamento que faz a varredura terrestre (scanners a laser) é o mesmo de todos aqueles que fazem medidas de distância com uso da luz. O scanner emite um pulso de luz e um sensor interno vai captar o retorno deste mesmo pulso. Com o tempo da trajetória conhecido, dividido pela metade e multiplicado pela velocidade da luz resulta na distância absoluta entre o objeto visado e o equipamento. Os scanners são capazes de analisarem milhares de pontos por segundo, adquirindo também dados como a posição do objeto refletido num eixo de coordenadas cartesianas (XYZ), a intensidade da reflexão e sua cor (RGB). Um posicionamento relativo na casa de milímetros de acurácia pode ser obtido com o SVLT.

O sistema de varredura a laser terrestre apresenta muitas vantagens. Este sistema provê uma densidade sem precedentes de informação espacial através de um conjunto de vetores tridimensionais que vão de encontro ao ponto em que se encontra o scanner (nuvem de pontos). O scanner pode ser controlado por um computador portátil que também é usado para aquisição dos dados e um processamento inicial. Outra vantagem do SVLT é a possibilidade de combinação com o sistema GNSS (*Global Navigation Satellite System*), permitindo um conjunto de dados completamente georreferenciados.

A nuvem de pontos tridimensional gerada no scanner é uma transformação cartesiana do dado recebido pelo pulso do laser (transformação do alcance do laser e da refletância do ponto, além das coordenadas XYZ calculadas) em um sistema onde o scanner é o centro de referência. A nuvem tridimensional gerada de um local específico deriva da superposição do alcance e imagem de refletância de cada pulso do laser. Com a nuvem (Figura 1), tem-se uma base para subsequente análise e são utilizadas para criação de modelos em plataformas CAD ou em Sistemas de Informação Georreferenciadas (SIGs).

Figura 1. Nuvem de pontos de uma ponte.

A captura da refletância pelo pulso do laser no scanner tridimensional é análoga ao funcionamento de um sensor de satélite. O produto gerado é uma imagem com níveis de cinza e terá feição de uma fotografia em preto e branco do local de cobertura. Os pontos individualmente medidos são definidos em função de valores de refletância da seguinte forma: pontos de alta refletância (claros) são exibidos na forma de um pixel cinza claro; pontos de grande absorvância (escuras) são exibidos na forma de um pixel cinza mais escuro e na inexistência de uma medição será exibido um pixel preto. Estes pixels podem ser manipulados para transformar a escala de cinza em cores para maior conveniência.

Um aparelho de scanner 3D possui vários parâmetros que devem ser avaliados em função da necessidade. Cada trabalho pode exigir algo diferente do equipamento, tanto em função de precisão, acurácia ou logística necessária de caso a caso. A seguir são apresentados alguns dos parâmetros de maior relevância.

Divergência do pulso eletromagnético: o raio emitido possui um diâmetro na saída do equipamento que pode variar de poucos milímetros a centímetros. Seu diâmetro aumenta com a distância em que o alvo se apresenta. O diâmetro final vai ser igual ao inicial mais a distância do alvo multiplicado pelo fator de divergência do scanner. Este fator de divergência também varia com o equipamento.

Passo angular: o passo angular se refere ao ângulo que um pulso do laser vai ter de diferença entre o próximo pulso. Quanto menor for o passo angular maior vai ser a precisão da coleta. Um passo angular de 0,002 graus pode gerar pontos distanciados de aproximadamente 3,5 cm um do outro a uma distância de 1000 metros.

Alcance: A refletância do alvo pode fazer variar o alcance de um pulso unitário em centenas de metros. Além disso, o próprio equipamento possui laser e sensor com características que definem o alcance máximo e mínimo do pulso, variando entre distâncias mínimas de 5 metros até máxima de milhares de metros dependendo do alvo e equipamento.

Campo de visão: a base rotativa permite uma rotação horizontal de 360 graus, já na vertical o espelho do equipamento permite uma cobertura de aproximadamente 90 graus. A imagem final gerada poderá ter aparência de uma panorâmica do alvo visado se a cobertura horizontal for muito grande.

Pontos por segundo: vai influenciar diretamente no tempo de coleta dos dados. Os equipamentos atuais têm capacidade de coletar até dezenas de milhares de pontos por segundos

Tamanho e peso: fator a se considerar para organização de logística de campo na coleta dos dados.

Vemos que a divergência do pulso e o passo angular são fatores que influenciam diretamente a acurácia do scanner a laser. Outro fator de grande influência na precisão dos dados coletados é a refletividade da superfície. A refletividade é diferente em função da distância do objeto ao scanner, da atmosfera, do ângulo de incidência do pulso, do albedo da superfície (capacidade de reflexão). Os fatores ambientais também devem ser considerados na busca por maior precisão na coleta. É importante operar o equipamento dentro da temperatura especificada, as condições atmosféricas modificam levemente a velocidade de propagação. Poeira, neblina, e humidade podem gerar erros e dificultam a coleta. A radiação solar também interfere, a onda eletromagnética proveniente do sol é muito forte em relação ao sinal do equipamento e deve-se prevenir ou evitar a coleta sob luz do sol direta.

Há que se fazer um controle de campo quando da necessidade de utilizar o scanner em vários pontos diferentes para integrar a coleta de um único trabalho. Este controle pode ser feito com auxílio de câmeras fotográficas, estações totais, aparelhos GNSS e essencialmente pontos materializados estrategicamente alocados em campo. A instalação do scanner em vários pontos pode ser realizada para análise mais detalhada de uma única superfície ou para a análise de várias superfícies que não são possíveis de visualizar de um único ponto de instalação, como mostra a figura 2. O primeiro caso é utilizado para a diminuição de “sombras”, pontos que o laser não consegue captar devido a um obstáculo qualquer ou a rugosidade da própria superfície de estudo.

Figura 2. Multiposicionamento do scanner.

Poderemos verificar no decorrer deste trabalho que muitos dos estudos realizados sobre o SVLT estão relacionados ao desenvolvimento de algoritmos para o processamento dos dados coletados, de maneira que seja possível identificar feições desejadas automaticamente, seja para motivos de contagem, cadastramento, modelagem, análise ou até para eliminação destas feições do conjunto de dados.

Em várias áreas se usam o SVLT, analisaremos alguns trabalhos voltados para áreas principalmente ambientais e com possíveis usos em ambientes urbanos.

3. USOS DO SVLT

3.1. ÁRVORES E VEGETAÇÃO

O sistema de varredura a laser terrestre está sendo estudado para análise de ambientes florestais no sentido de criar e validar algoritmos para detecção de árvores e criação de base de dados destas espécies. BUCK et al. [1] propõem um método para detecção de árvores a partir de uma nuvem de pontos 3D de plantios florestais. Utilizando apenas uma seção transversal da nuvem de pontos (cerca de 1 metro), figura 3, com a utilização de um algoritmo de segmentação, foi aplicado um segundo algoritmo para detectar a posição das árvores com base no padrão de alinhamento do povoamento. Este método foi aplicado em povoamentos de *Eucalyptus* spp., a partir de parcelas circulares levantadas por varreduras simples e múltiplas do SVLT. Este trabalho chega a algumas conclusões que podem ser úteis para muitos trabalhos utilizando o SVLT, como por exemplo: manipulação de forma a excluir itens da nuvem de pontos, contribuindo para a melhoria dos resultados e erros devido ao sombreamento das varreduras simples. Neste caso houve uma subestimativa da quantidade de espécimes presentes nas parcelas quando analisadas com varreduras simples devido ao efeito do sombreamento, no caso das parcelas analisadas com varreduras múltiplas o efeito do sombreamento foi eliminado e 100% das árvores foram identificadas.

Figura 3. Recorte da nuvem de pontos

Ainda tratando de florestas e vegetação, Liang et. al.[2] discutem em seu artigo um estado da arte do uso do SVLT para o registro arbóreo. A nuvem de pontos rapidamente se tornou uma fonte de coleta de dados favorável para modelagem de árvores a partir da introdução do SVLT devido sua rapidez e automação no processo de aquisição das informações e também de sua representação detalhada e tridimensional da árvore.

A modelagem é a base para estimativa das espécies e seus atributos e comumente dois tipos de modelagem são realizados: o primeiro considera a modelagem detalhada de uma única árvore e o segundo considera a modelagem em um nível de ação. O primeiro método possui grande potencial para ser usado em aplicações como simulações e realidade virtual. Neste método apenas uma árvore existe nos dados e a mesma é gravada na nuvem de pontos de maneira mais detalhada possível para a construção de um modelo mais próximo do real, sendo uma boa modelagem para casos em que as árvores estão sozinhas, como em ambientes urbanos, em laboratório, isoladas no campo ou mesmo separadas do resto da nuvem de pontos. Buck et al. [3] apresenta a utilização do SVLT e uma filtragem da nuvem de pontos em função de eliminar aqueles que não representem a superfície do tronco. O segundo método objetiva detectar a maior quantidade possível a partir de um recorte da nuvem de pontos para extrair vários atributos das espécies. Para os dois métodos ainda há como quantizar o nível de detalhe destes modelos, sendo categorizados de 1 a 5, onde o nível 1 é o menos detalhado, sendo possível caracterizar apenas altura da árvore e o diâmetro à altura do peito (DAP) e o nível 5 consegue diferenciar a folhagem, detalhes nos galhos e arbustos [2].

Com estas modelagens são realizadas estimativas de atributos diversos das árvores, como detecção de troncos e densidade de troncos em uma área, diâmetro a altura do peito, altura das árvores, inclinação dos

troncos, volume dos troncos, qualidade dos troncos, medidas de biomassa entre outros como mudanças no decorrer do tempo.

3.2. GEOMORFOLOGIA

Santo et. al.[4] utilizam o a técnica SVLT em conjunto com avaliações fotogramétricas em um estudo que avalia a susceptibilidade ao colapso de uma caverna cárstica localizada ao longo de uma encosta no sul da Itália. Na região de estudo, várias cavernas de origem cárstica com volumes variando entre 1000 e mais de 10.000 m³ foram cadastradas e seus processos de formação geológica mais prováveis foram identificados. Este estudo também é referente ao meio urbano, visto que essas cavernas estão em sua maioria localizadas morro acima ou muito próximas de resorts locais. Uma análise geológica, geomorfológica e geoestrutural detalhada foi feita especialmente em uma caverna comprida e profunda (caverna Saraceno) sob a qual o resort “Conca de Marini” foi construído, como mostra a figura 4A. Com a reconstrução geométrica da caverna e da encosta utilizando os dados do SVLT (modelo tridimensional renderizado como mostra a figura 4B) foi possível reconstruir o modelo geológico da caverna, conseguindo avaliar os tipos de rocha presentes no local, as possíveis falhas entre rochas e o direcionamento provável do fluxo da água.

Figura 4. (A) Fotografia do resort (B) Modelo tridimensional com uso do SVLT e integração com fotografias.

Muitos estudos utilizam o SVLT para análise de processos movimentos de massa, como o processo de aparecimento e desenvolvimento erosão.

Neugirg et. al.[5] fazem um estudo com pretensão de quantificar e analisar os processos de aparecimento de ravinas e erosão em uma região central da Itália durante um período de um ano. Dados provenientes do SVLT com alta resolução temporal e espacial são utilizados para identificar os processos envolvidos no desenvolvimento das ravinas. Áreas de taludes de teste foram monitoradas com medidas repetitivas do SVLT com a finalidade de analisar as diferenças sazonais. Ainda é possível analisar neste estudo a utilização de vários pontos de coleta de dados e a integração dos mesmos com dados coletados com aparelhos GNSS, com estação total, fotografias, e também com LiDAR, tudo para a criação do modelo tridimensional e criação de modelo de elevação digital e ortofotografias de toda a região. Na figura 5A vemos os diversos pontos de instalação do scanner e na figura 5B vemos a configuração da erosão e deposição de massa na área num período entre outubro de 2014 e abril de 2015.

Figura 5. (A) Pontos de instalação do scanner (B) Erosão e deposição de massa.

Ainda na questão da geomorfologia podemos citar os estudos de Goodwin et. al.[6] e Frodella et. al.[7]. Goodwin et al. [6] fazem um estudo da usabilidade do SVLT para quantificar sua acurácia na medição de mudanças geomorfológicas. Em seu estudo foi utilizado o SVLT para testar a repetição na coleta de dados no mapeamento de ravinas, estas coletas foram feitas em grupos de três, uma antes de uma precipitação

próxima de 100 mm e duas após a precipitação em dias consecutivos. Para verificar a acurácia do SVLT, houve também coleta de dados usando métodos tradicionais com técnicas de estação totais. Os resultados do trabalho confirmaram que os dados gerados pelo SVLT podem ser utilizados no registro multitemporal em níveis subcentimétricos de acurácia nas três dimensões.

Frodella et. al. [7] fazem o monitoramento de quedas de rochas durante o período de um ano na cidade de San Leo na Itália. A cidade é locada no topo de um massivo rochoso isolado e em fevereiro de 2014, o setor nordeste do massivo entrou em colapso. Pequenos danos estruturais foram sentidos na área urbana e alguns edifícios foram evacuados por precaução. Apesar de não ocorrer nenhuma fatalidade e nem perdas de patrimônios culturais, quedas rochosas de menor intensidade continuaram acontecendo na nova formação rochosa, piorando a situação já em risco (figura 6). Em função disso, um sistema de monitoramento, baseado em técnicas de sensoriamento remoto, incluindo o SVLT, foi desenvolvido para monitorar a deformação do solo na área investigada e quantificar o risco residual.

Figura 6. Composição entre scans de 7/março e 9/abril mostra o primeiro destaque de rocha (área azul) e o setor caracterizado pela deposição das mesmas (áreas amarelas).

3.3 AMBIENTES URBANOS

A maioria dos artigos apresentados mostraram métodos e estudos utilizados em meios urbanos ou que tem possibilidades para ser utilizados nas cidades

Enquanto a tecnologia de hardwares continua avançando, o processamento de nuvens de pontos 3D em modelos informativos continua complexa e consumindo enorme quantia de tempo [8]. Neste sentido, temos o trabalho de Yang et al. (2016) que propõe um método de tratamento dos dados, baseado em análise geométrica e semântica dos pontos coletados de modo a transformar a nuvem de pontos em um modelo geométrico preciso do local. Primeiramente, ele analisa a geometria dos objetos para classificação (construção, carros, postes), em seguida um algoritmo vai delinear esses objetos por meio de algumas limitações geométricas propostas e finalmente vai construir um modelo análogo ao da nuvem de pontos, mas eliminando a vastidão de dados da nuvem. Este trabalho mostra uma grande eficiência em ambientes urbanos e em cenários internos. Mahmoudabadi et al. [8] explora a possibilidade de segmentar automaticamente os dados coletados na nuvem de pontos pelo SVLT de maneira estruturada usando algoritmos. Usualmente, os métodos mais comuns para segmentação da nuvem de pontos a laser requerem trabalho manual considerável, usando na maioria das vezes abordagens com extensa complexidade e acurácia limitada [8]. Neste sentido temos trabalhos como Yang et al. [9], que propõe um método de tratamento de dados baseado em análise geométrica e semântica dos dados de modo a transformar a nuvem de pontos em um modelo geométrico preciso do local. Trabalhos como de Zhang et al [10] e Li et al. [11] também podem ser citados, estes também desenvolvem algoritmos para análise dos dados no SVLT para a construção e modelagem de modelos tridimensionais em escalas urbanas.

Ainda no meio urbano, O SVLT é utilizado com frequência para análise e acompanhamento de estruturas de um modo geral. Rabah et al. (2013)[12] apresentam um estudo para detecção e mapeamento automático de fissuras no concreto. Yang et al. [13] utilizam o SVLT para fazer uma análise da deformação de estruturas em arco e também uma modelagem de sua geometria. Kim et al. [14] utilizam o SVLT para fazer a avaliação do controle de qualidade dimensional na instalação de painéis do concreto pré-moldados.

Armesto et al. [15] desenvolveu uma metodologia para estimar a deformação de arcos utilizando cortes provenientes do modelo digital. A geometria exata dos arcos foi obtida através de levantamento com SVLT e a nuvem de pontos processadas por um algoritmo capaz de gerar superfícies e seções transversais [16].

É possível encontrar também muitos trabalhos na literatura referentes ao acompanhamento geométrico e estrutural de túneis. Wang et al. [17] fazem um estado da arte sobre o assunto e demonstram como o scanner pode auxiliar na detecção de características geológicas, monitoramento da geometria durante os processos de escavação, realização de medidas de deformação e outras medições pertinentes.

REFERÊNCIAS

- [1] Buck, A. L. B., Lingnau, C., Machado, Á. M. L., & Netto, S. P. (2017). Detecção De Árvores Em Nuvens De Pontos De Varredura Laser Terrestre. *Boletim De Ciências Geodésicas*, 23(1), 21–38.
- [2] Liang, X., Kankare, V., Hyypä, J., Wang, Y., Kukko, A., Haggrén, H., ... Vastaranta, M. (2016). Terrestrial laser scanning in forest inventories. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 115, 63–77.
- [3] Buck, A. L. B., Silva, M. N., Lingnau, C., Machado, Á. M. L., & Neto, R. P. M. (2014). Um algoritmo para filtragem do tronco em nuvem de pontos laser terrestre de árvores de pinus spp. *Boletim De Ciências Geodésicas*, 20(4), 806–829.
- [4] Santo, A., Budetta, P., Forte, G., Marino, E., & Pignalosa, A. (2017). Karst collapse susceptibility assessment: A case study on the Amalfi Coast (Southern Italy). *Geomorphology*, 285, 247–259.
- [5] Neugirg, F., Stark, M., Kaiser, A., Vlacilova, M., Seta, M. D., Vergari, F., ... Haas, F. (2016). Erosion processes in calanchi in the Upper Orcia Valley, Southern Tuscany, Italy based on multitemporal high-resolution terrestrial LiDAR and UAV surveys. *Geomorphology*, 269, 8–22.
- [6] Goodwin, N. R., Armston, J., Stiller, I., & Muir, J. (2016). Assessing the repeatability of terrestrial laser scanning for monitoring gully topography: A case study from Aratula, Queensland, Australia. *Geomorphology*, 262, 24–36.
- [7] Frodella, W., Ciampalini, A., Gigli, G., Lombardi, L., Raspini, F., Nocentini, M., ... Casagli, N. (2016). Synergic use of satellite and ground based remote sensing methods for monitoring the San Leo rock cliff (Northern Italy). *Geomorphology*, 264, 80–94.
- [8] Mahmoudabadi, H., Olsen, M. J., & Todorovic, S. (2016). Efficient terrestrial laser scan segmentation exploiting data structure. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 119, 135–150.
- [9] Yang, B., Dong, Z., Liang, F., & Liu, Y. (2016). Automatic registration of large-scale urban scene point clouds based on semantic feature points. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 113, 43–58.
- [10] Zhang, L., Li, Z., Li, A., & Liu, F. (2018). Large-scale urban point cloud labeling and reconstruction. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 138, 86–100.
- [11] Li, L., Li, D., Zhu, H., & Li, Y. (2016). A dual growing method for the automatic extraction of individual trees from mobile laser scanning data. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 120, 37–52.
- [12] Rabah M, Elhattab A, Fayad A. Automatic concrete cracks detection and mapping of terrestrial laser scan data. *Journal of Astronomy and Geophysics*, 6 p., 2013.
- [13] Yang, H.; Omidalizarandi, M.; Xu, X.; Neumann, I. Terrestrial laser scanning technology for deformation monitoring and surface modeling of arch structures. *Composite Structures*, v. 169, p. 173–179, 2017.
- [14] Kim, M.-K.; Sohn, H.; Chang, C.-C. Automated dimensional quality assessment of precast concrete panels using terrestrial laser scanning. *Automation in Construction*, v. 45, p. 163–177, 2014.
- [15] Armesto J, Roca-Pardiñas J, Lorenzo H, Arias P. Modelling masonry arches shape using terrestrial laser scanning data and nonparametric methods. *Engineering Structures*, v. 32, n. 2, p. 607-615, 2010
- [16] Pavi, S; Bordin, F; Veronéz, M. R. O potencial do uso do laser scanner terrestre para a identificação de manifestações patológicas em obras de arte especiais: uma revisão bibliográfica. *Anais do X Congresso Internacional sobre Patología y Recuperación de Estructuras*, Chile, 2014
- [17] Wang, W.; Zhao, W.; Huang, L.; Vimarlund, V.; Wang, Z. Applications of terrestrial laser scanning for tunnels: a review. *Journal of Traffic and Transportation Engineering*, v. 1, n. 5, p. 325–337, 2014.

Capítulo 14

Sistema de informações geográficas aplicado à Gestão Pública: Estudo de caso do Município de Barbalha – CE

Ana Raquel de Macêdo Leite

Marcos de Brito Gonçalves

Madjany Modesto Pereira

Fabiana Teles de Souza

Helenice Ferreira Filgueiras

Sávio de Brito Fontenele

Patrícia Ramos de Melo

Alane Gomes Soarres

Resumo: Esse estudo analisou o SIG como ferramenta para a efetivação do cadastro multifinalitário, expondo a importância do registro imobiliário para a tomada de decisão de problemas com dimensões reais e específicas. Estruturalmente dividido em fases, o processo constituiu-se de etapas, das quais, pode-se destacar o desenvolvimento e refinamento da planta do município atualizada; levantamento, e sistematização das informações do município via imagens de alta resolução e de dados in loco. Para a execução da atualização da planta da zona urbana, foram colhidos dados em campo e cruzados com os dados obtidos via geoprocessamento, a fim de verificar a consistência desses dados geoprocessados. Verificado o baixo percentual de erro (4,2%) nas diferenças entre os dados obtidos (in loco x geoprocessamento) deu-se continuidade ao trabalho. Dessa forma, obteve-se a planta da zona urbana do município, que se divide em 15 bairros, com um total de 519 quadras. No interior dessas quadras todos os lotes ocupados tiveram suas áreas totais e áreas construídas determinadas via geoprocessamento, a partir da imagem de alta resolução. Portanto, o cadastro imobiliário do município de Barbalha possibilitará diversos benefícios para a gestão municipal, dando melhor suporte e organização ao gerenciamento e desenvolvimento da expansão territorial, garantindo conhecimento das problemáticas. Além disso, a base para o desenvolvimento do cadastro multifinalitário está pronta e este permite o desenvolvimento de diversas pesquisas a respeito do município, que poderão ser produzidas dentro de uma vasta interdisciplinaridade.

Palavras-chave: Cadastro imobiliário; Geoprocessamento; Análise espacial; Tomada de decisão.

1. INTRODUÇÃO

A realidade do planejamento urbano municipal no interior do Brasil é marcada pela falta de base cartográfica atualizada. Isso dificulta a compreensão dos problemas decorrentes dos fenômenos espaciais e, como consequência, torna ineficiente tanto a busca por soluções quanto a execução de políticas públicas voltadas ao ordenamento do território urbano. No cenário da gestão pública brasileira é frequente encontrar tomadas de decisão infundadas ou pouco precisas, pois, embora exista informação, estas encontram-se arquivadas e não catalogadas, passando despercebidas aos olhos dos gestores [1].

A dinamicidade urbana, marcada por constantes alterações, faz com que seja necessária a busca por informações precisas e atualizadas que norteiem o seu planejamento de maneira a atingir seu pleno desenvolvimento. Se a localização dos problemas for conhecida e integrada em sistemas efetivos de gestão, a atuação da gestão pública será eficiente, pois a capacidade de gerar informação e aplicá-la na tomada de decisão é essencial ao desenvolvimento adequado de políticas e projetos [2].

A necessidade de conhecimento multidisciplinar e de informações atualizadas acerca do território urbano perpassa a gestão pública, dado que os municípios enfrentam restrição orçamentária que requerem estratégias para a deliberação sobre os investimentos [3]. Aliado a isso, técnicas convencionais utilizadas para o acompanhamento da evolução urbana, no geral, não conseguem acompanhar a velocidade com que o fenômeno se efetua [4].

A aplicabilidade de geotecnologias permite análises que combinam o mapeamento dos problemas urbanos com informações físicas, demográficas, topográficas ou de infraestrutura, auxiliando na geração e catalogação dos dados. O geoprocessamento, técnica que incorpora a localização espacial e o processamento de dados, é capaz de auxiliar o modo de definir, monitorar e analisar fenômenos no espaço geográfico. Essa ferramenta possibilita a geração de tendências espaciais e temporais, fundamentais para a compreensão da problemática e proposição de políticas e projetos diversos [5].

A posição geográfica é essencial à gestão pública, pois cerca de 85% de todas as suas informações estão, de alguma forma, relacionadas ao espaço físico, ou seja, ao território. Além disso, uma parcela expressiva de seus recursos financeiros é oriunda de elementos relacionados à geografia local [6]. Aspectos que justificam a demanda de investimentos em geotecnologias e em pessoal capacitado na área.

Diante disso, ferramentas como o Sistema de Informações Geográficas (SIG) se apresentam como auxiliares à melhoria de produtividade, redução de custos, aumento da eficiência da gestão e prevenção de problemas da gestão pública. No caso do SIG, abre-se a possibilidade do armazenamento, gerenciamento e visualização de dados georreferenciados, permitindo análises complexas sobre as realidades existentes no espaço geográfico. É uma ferramenta transdisciplinar, e uma das formas transversais de aplicá-la no contexto da gestão pública municipal é através do cadastramento multifinalitário, que contribui para análise das potencialidades da comunidade em várias vertentes da gestão pública [2]. No entanto, os gestores municipais costumam ter uma visão limitada do cadastro e o buscam apenas como forma de aumentar a arrecadação de tributos [7].

A implementação de um cadastro imobiliário utilizando o SIG exige planejamento e estruturação, além da elaboração de uma metodologia de coleta de dados adequada para o município. Aliada a isso, deve haver atualização da base de dados produzida, tendo em vista a dinâmica do espaço urbano [8]. Desta forma, o cadastro promove dados para a construção do planejamento urbano e subsidia as secretarias municipais na gestão por possuir organização e sistematização dos dados, integrando as informações dispersas e tornando o acesso mais simples [9].

Vale salientar que a eficiência de um SIG está diretamente ligada a constante atualização dos cadastros imobiliários. Quando isso não ocorre, enfraquece-se a política e a equidade tributária. Estudos apontam que o Brasil apresenta uma situação de significativa desatualização [10].

Barbalha, uma cidade histórica do interior do Ceará, teve um desenvolvimento urbano recente despreocupado com fatores territoriais, que causou grandes danos à gestão pública. Desta forma, o SIG (Sistema de Informações Geográficas) surge como ferramenta para auxiliar a tomada de decisão dessa entidade pública, que atualmente encontra-se desprovida de dados realistas para resolução de seus problemas.

O presente trabalho visa analisar o uso do SIG como ferramenta principal para a efetivação do cadastro multifinalitário, expondo a importância do registro imobiliário para o desenvolvimento inicial da aplicação e para o acompanhamento da gestão pública em relação ao desenvolvimento urbano.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

A pesquisa desenvolvida possui uma base teórica fundamentada em revisão de literatura, necessária para o início e desenvolvimento do cadastro técnico multifinalitário (CTM). No contexto prático, realizou-se o registro dos imóveis dos 15 bairros da zona urbana do município de Barbalha (Figura 1).

Figura 1. Zona urbana do município de Barbalha subdividida em bairros.

Em 1 destaca-se o estado do Ceará no interior do território brasileiro; O quadro 2 apresenta o município de Barbalha no interior do território cearense; em 3, destaca-se a zona urbana definida no interior do território do município de Barbalha

O cadastramento multifinalitário realizado para o município de Barbalha foi resultado de um convênio firmado entre a prefeitura do referido município e a Faculdade Paraíso do Ceará. O projeto, desenvolvido no âmbito do grupo de pesquisa GISFAP da referida instituição de ensino superior, foi composto por 25 discentes (estagiários da prefeitura). divididos em uma equipe de laboratório e outra de campo, havendo um gerente para cada equipe. Um docente da Faculdade Paraíso do Ceará, coordenador do grupo de pesquisa GISFAP, foi designado como coordenador do projeto.

O início desse processo se dá com o desenvolvimento do cadastro imobiliário, que surge como uma forma de utilizar a geoinformação aliada à gestão municipal, ao relacionar a base de geodados dos imóveis (delimitação e localização espacial) com informações básicas destes.

Para fomentar todo esse processo de geração e levantamento de dados, realizou-se uma pesquisa das plantas existentes em órgãos públicos, como em secretarias municipais, câmara municipal e órgãos estaduais e federais, acerca de informações geoespacializadas em diversas áreas, sobre o município em análise. Informações de órgãos públicos e da legislação municipal, como a Lei Municipal 1.839/2009, também foram levantadas. Esse levantamento possibilitou a definição dos limites de zona urbana e dos bairros do município.

Para o trabalho em específico, cinco imagens de alta resolução do perímetro urbano da cidade de Barbalha foram geradas, de modo a possibilitar a definição de quadras e vias da zona urbana através de ferramentas

da plataforma ArcGIS. Servindo, também, como embasamento para a geração de lotes e suas respectivas áreas construídas.

Coletou-se, em campo, dados baseados nas variáveis do Boletim de Cadastro Imobiliário (BCI), como logradouro, número, gabarito, testada, profundidade, largura do passeio, além do registro fotográfico de todos os lotes de cada quadra. Algumas variáveis (logradouro e número) são cruzadas com bases de dados disponibilizadas pela prefeitura para obtenção do nome do morador e sua documentação referente. Dessa forma, uma parcela do BCI referente ao lote e a seu proprietário são preenchidas, conforme a figura 2. À medida que os subprodutos de cada fase foram gerados (geodados, planilha de campo, mineração de dados), auditorias foram sendo realizadas para verificar a ocorrência de falhas.

Figura 2. Alimentação da planilha com base no BCI.

Por fim, ocorreu a geração do produto final a ser entregue à prefeitura, na qual consiste em 1 *geodatabase* composto por *shapefiles* referentes ao bairro (1), às quadras (1), às vias (1), lotes (1/quadra). Na tabela de atributos do *shapefile* de lotes constam todas as fotos dos lotes da quadra, os dados obtidos em campo e os dados obtidos pelo próprio sistema como área total e área construída.

3. RESULTADOS

A partir dos estudos feitos no município de Barbalha, é notória a necessidade de um cadastro imobiliário, visto que esse compila diversas informações das quais a entidade pública é detentora, mas não tem acesso prático/fácil. Com a possibilidade de análise simplificada destas informações, a tomada de decisão e a aplicação das informações para outros fins se torna bem mais eficaz.

Na prática, foi realizada a atualização da planta de Barbalha, com área de 569,5 km², onde 24,69 km² compõem a zona urbana (4,34% do território municipal), dividida em 15 bairros (Figura 1): Alto da Alegria (3,43 km²), Alto do Rosário (0,60 km²), Bulandeira (4,06 km²), Santo Antônio (1,45 km²), Tupinambá (0,83 km²), Bela Vista (0,82 km²), Buriti (4,32 km²), Mata dos Dudas (1,89 km²), Mata dos Limas (1,55 km²), Centro (0,64 km²), Cirolândia (0,75 km²), Malvinas (2,59 km²), Nossa Senhora de Fátima (0,36 km²), Rosário (0,36 km²) e Santo André (1,45 km²) [11].

Inicialmente, foram geradas 797 quadras. Porém, as incursões da equipe de campo trouxeram a seguinte informação: muitas das quadras já definidas eram condomínios fechados. Estes condomínios são de difícil acesso. Além disso, muitos já possuíam as plantas dos lotes atualizadas junto à prefeitura. Logo, o total de quadras foi reduzido para 601, sendo que todas já foram levadas a campo para coleta de dados, uma vez que a quadra e seus lotes já passaram por auditorias. Finalizadas, ou seja, quadras que já tiveram os dados colhidos em campo postos em suas respectivas planilhas, totalizam 519. Vale mencionar também que dentre as quadras existem 12 que são apenas praças. Há casos ainda que as quadras não possuem lotes delimitados, todavia foram classificadas como quadras devido ser cercado por ruas, ou pela sua proximidade com as áreas urbanizadas.

É possível, a partir destas informações geradas, fazer uma série de estudos sobre o município em questão, nas mais diversas áreas (segurança pública, educação, saúde, infraestrutura urbana, dentre outros.). A aplicação do SIG permite não apenas quantificar, mas identificar, por exemplo, quantas e quais casas são abastecidas com sistema de saneamento básico ou quantos e quais imóveis encontram-se com o IPTU quitado.

Na Figura 3 (bairro Centro), é possível notar uma área densamente urbanizada, com uma melhor organização de lotes e preenchimento das quadras.

Figura 3. Mapa do bairro Centro, com destaque para suas quadras.

Em 1 destaca-se a zona urbana definida no interior do território do município de Barbalha. Em 2 destaca-se o bairro Centro

A Figura 4 (bairro Santo André) já traz aspectos totalmente divergentes da situação da Figura 3. Um bairro periférico, nos limites da cidade, onde há muitos espaços vazios e uma enorme dificuldade de se determinar um tamanho padrão para os lotes.

Figura 4. Mapa do bairro Santo André, com destaque para suas quadras.

Em 1 destaca-se a zona urbana definida no interior do território do município de Barbalha. Em 2 destaca-se o bairro Santo André

Um importante parâmetro para a cobrança do Imposto Predial e Territorial Urbano (IPTU) é a área construída. Ela é calculada por meio da totalidade da área coberta de um determinado lote, ciente de que na mesma está incluída a área de outros possíveis pavimentos inferiores existentes na edificação, além de contar com áreas comuns, desde que cobertas. Metodologia adotada de acordo com o código de obras do município de Barbalha, capítulo II, art. 5, inciso XVIII [13] (Figura 5).

Figura 5. Quadra com delimitação de lotes e área construída

Em 1 destaca-se o limite dos lotes de uma quadra. Em 2 destaca-se a área construída.

Foram selecionados 10 lotes de uma quadra do bairro Cirolândia, com as informações referentes às testadas adquiridas pela imagem de alta resolução (SIG), e pela equipe de campo. Pode-se observar na coluna de erro da Tabela 1 que o maior valor encontrado foi 4,2%, e a média entre eles corresponde apenas a 1,1%. Dessa forma, é perceptível a confiabilidade quanto aos dados adquiridos pela imagem, sendo estes as áreas construídas e não construídas dos lotes, dados que possuem maior relevância para a geração do IPTU.

Tabela 1 - Coleta de dados (In loco x SIG)

Lotes	Dado obtido via SIG (m)	Dado obtido em campo (m)	Erro (%)
1	5,1	5,1	0
2	5,8	6	3,3
3	3	3	0
4	5,3	5,2	1,9
5	5	5	0
6	5	5	0
7	5	4,8	4,2
8	5,1	5,1	0
9	5	5,1	2
10	10	10	0

O fornecimento de informações de maneira clara e precisa auxiliam na definição das políticas para gestão do espaço urbano, pois, a adoção de medidas é embasada e mais racional, já que o geoprocessamento auxilia na localização geográfica das informações alfanuméricas, transformando-as em informações geográficas [7] (Figura 5).

4. CONCLUSÃO

Com base no exposto, a aplicação do SIG para a elaboração do cadastro imobiliário garante diversos benefícios para a gestão municipal, dando suporte ao gerenciamento e desenvolvimento da expansão territorial, como também contribui para o bem-estar da população. A compactação das informações em apenas um sistema torna a busca mais ágil, além de facilitar a atualização dos cadastros municipais, sem que haja duplicação ou perda de dados.

Portanto, o cadastro multifinalitário com a aplicação do SIG para o município de Barbalha possibilita melhor compreensão e organização do espaço urbano garantindo conhecimento das problemáticas, permitindo uma visão criteriosa e eficiente quanto ao seu grau de desenvolvimento. Contudo, falta o

entendimento da gestão pública municipal da importância e capacidade do sistema para a realização desse cadastro. Além da necessidade de uma organização melhor dos dados disponíveis para a gestão.

Com o encerramento das atividades do projeto, previsto para o mês de setembro/2019, serão entregues a prefeitura todos os dados gerados no âmbito do projeto, permitindo a gestão pública entender os problemas municipais de forma especializada.

Sugere-se, como possíveis trabalhos futuros, que com a finalização do projeto, a prefeitura desenvolva o cadastro multifinalitário, tendo como base o cadastro imobiliário. Pois a multifinalidade do cadastro permite inúmeras possibilidades, tanto para o gerenciamento municipal, quanto para pesquisas acadêmicas, como nas áreas de saúde, de educação, de segurança pública e de infraestrutura urbana.

5. AGRADECIMENTOS

O Grupo de Pesquisa em Sistema de Informações Geográfica – GISFAP, em nome da Faculdade Paraíso do Ceará, vem agradecer a Prefeitura Municipal de Barbalha pela confiança e oportunidade e, principalmente pelo subsídio financeiro para desenvolver um projeto prático de alta complexidade e inovador para a Região Metropolitana do Cariri - RMC

REFERÊNCIAS

- [1] Filho, Cláudio Chaves Beato. Informação e desempenho policial: Teoria e sociedade, Belo Horizonte, v.7, 2001. Disponível em: <<https://www2.mppa.mp.br/sistemas/gcsubsites/upload/60/Informa%C3%83%E2%80%A1%C3%83%C6%92O%20E%20desempenho%20policial.pdf>> Acesso em: 12 Nov. 2017.
- [2] Vieira, Adriano da Silva. Orientações para implantação de um SIG Municipal considerando aplicações na área de Segurança Pública. 2002. 48 p. Monografia (Especialização)- Universidade Federal de Minas Gerais - Departamento de Cartografia, Belo Horizonte, 2002. 1.
- [3] Pereira, Madjany Modesto et al. Sistema de informação geográfica como ferramenta de subsídio a gestão pública no Brasil. Anais do XIX SBSR. 2019. Disponível em: <<https://proceedings.science/sbsr-2019/papers/sistema-de-informacao-geografica-como-ferramenta-de-subsidio-a-gestao-publica-no-brasil>>. Acesso em: 30 ago. 2019
- [4] Farina, Flavia C. Abordagem sobre as técnicas de geoprocessamento aplicados ao planejamento e gestão urbana. Ebape, Canoas, v. 4, n. 4, p.1-13, dez. 2006
- [5] Máximo, Alexandre Alves. A importância do mapeamento da criminalidade utilizando-se tecnologia de sistema de informação geográfica para auxiliar a segurança pública no combate à violência. 2004. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção). Ppgep, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.
- [6] Assumpção, Aline. Recado aos Prefeitos: Como arrecadarmais com a Geoinformação. Infogeo, Curitiba, v.3, n.17, p.40-45, jan./fev. 2001.
- [7] Brum, F.M. SIG na gestão pública – sistemas de informações geográficas aplicado ao cadastro imobiliário do município de São Sepé, estado do Rio Grande do Sul. 2015. Disponível em: <<https://lume.ufrgs.br/handle/10183/131892>>. Acesso em: 02 jun. de 2019.
- [8] Castro, C.M.S. Costa, A.L.B.A. Sampaio, F.L. Pinto, M.M.R. Cadastro Técnico Georreferenciado do Município de Feira de Santana – Bahia: relato de experiência. 2004. Disponível em: <<https://www3.ufpe.br/cgtg/Isimgeo/Cd/html/geodesia/Artigos/G011.pdf>>. Acesso em: 02 jun. de 2019.
- [9] Nascimento, F.H.P. O cadastro territorial multifinalitário de Fortaleza – Ceará: origem, integrações e desafios. 2018. Disponível em: < <http://www.ocs.cobrac.ufsc.br/index.php/cobrac/cobrac2018/paper/viewFile/511/199> >. Acesso em: 02 jun. de 2019.
- [10] Osório, N. M. M.; Brandalize, M. C. B.; Antunes, A. F. B. Uma metodologia para a estimação da perda de arrecadação do IPTU causada pela desatualização do cadastro imobiliário. Curitiba, 12 abr. 2012. Disponível em: <http://www.seer.ufu.br/index.php/revistabrasileiracartografia/article/view/43790/23054>. Acesso em: 19 ago. 2019.
- [11] Melo, P. M. Cadastro municipal multifinalitário e sistema de informações geográficas: um estudo de caso do município de Barbalha – CE. Anais do XIX SBSR. 2019. Disponível em: < <https://proceedings.science/sbsr-2019/papers/cadastro-municipal-multifinalitario-e-sistema-de-informacoes-geograficas--um-estudo-de-caso-do-municipio-de-barbalha---->>. Acesso em: 30 ago. 2019
- [12] Brasil. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Censo Demográfico 2010. Disponível em <www.ibge.com.br> Acesso em: 10 Set. 2018.
- [13] Prefeitura Municipal De Barbalha. Projeto De Lei: Plano Diretor De Desenvolvimento Urbano. Barbalha: Consórcio Vba / Espaço Plano, 2000.

Capítulo 15

Análise do padrão de edificações do Município de Barão de Cocais – MG empregando o método de agrupamento por K-Médias

Lucas José Ferreira Viana

Youlia Kamei Saito

Iann Gomes Rodrigues da Fonseca

Júlio César de Oliveira

Resumo: O Cadastro Técnico Multifinalitário (CTM) é um sistema de informação territorial baseado em parcelas, essencial para o cálculo de tributação referente às propriedades imobiliárias. As informações necessárias para este sistema são obtidas através do Boletim de Cadastro Imobiliário (BCI), que por sua vez, pode apresentar contradições e falhas de elaboração e/ou de preenchimento em campo. Assim, buscou-se obter o padrão residencial do município de Barão de Cocais - MG a partir dos dados do CTM utilizando o método de agrupamento por K-médias. O resultado obtido foi insatisfatório devido a confusão entre os agrupamentos gerados. Fato atribuído a um número incorreto de clusters adotado, à subjetividade da análise, às falhas de preenchimento e à ineficiência do BCI, sendo necessária sua reformulação visando uma coleta mais eficiente e abrangente das informações. Entretanto, o método mostrou grande potencialidade como uma forma de validação dos dados de BCI coletados em campo.

Palavras-chave: Cadastro Técnico Multifinalitário Urbano, Boletim de Cadastro Imobiliário, Acurácia Temática, Agrupamento por K-médias.

1. INTRODUÇÃO

De acordo com a FIG (1995), o Cadastro é um sistema de informação territorial baseado em parcelas, onde a informação é geograficamente referenciada para unidades de terra bem definidas. Normalmente administrado por agências governamentais, foi criado para auxiliar na redistribuição de terras, transferência de propriedades imobiliárias e tributação de terras, fornecendo informações relevantes para os envolvidos em transações fundiárias e aprimorando a eficiência e a segurança da posse de forma geral. Além disso, fornece às autoridades administrativas inventários completos sobre propriedades imóveis para tributação e regulação.

Segundo a Portaria Nº 511 (BRASIL, 2009), o Cadastro Territorial Multifinalitário (CTM) é “o inventário territorial oficial e sistemático do município embasado no levantamento dos limites de cada parcela, que recebe uma identificação numérica inequívoca”. A obtenção de dados dos limites físicos das parcelas pode ser obtida através de métodos topográficos, geodésicos ou fotogramétricos.

Desse modo, o CTM engloba vários aspectos, como as mensurações, representando desde a parte cartográfica até a avaliação socioeconômica da população; a legislação, averiguando a coerência das leis vigentes com a realidade do local; e a parte econômica, considerando a forma mais racional de ocupação do espaço, tanto urbano quanto rural (ERBA, OLIVEIRA & LIMA JÚNIOR, 2005)

O processo cadastral inicia-se através de registros da base cadastral chamado Boletim de Cadastro Imobiliário – BCI, referido também em alguns municípios como Boletim de Informações Cadastrais – BIC. Neste formulário, os agentes de campo registram as características de cada unidade imobiliária e as informações adicionais que serão significativas para o cadastro técnico, apresentando as peculiaridades de cada município (HASENACK, 2013).

Estes BCI's possuem modelos com atributos básicos, que se adequam a vários municípios. Todavia, para obter informações mais representativas, cada prefeitura deve adequar seu boletim conforme as características principais de seus imóveis. Estas melhorias para a metodologia de avaliação predial resultam em uma distinção mais clara do padrão e da tipologia construtiva de cada imóvel, gerando maior precisão nas avaliações (GONÇALVES, 2012).

Inconsistências nestes formulários induzem as equipes de campo ao preenchimento e recolhimento de informações errôneas, redundantes e frequentemente dispensáveis (GONÇALVES, 2008). Neste contexto, este trabalho objetiva avaliar a acurácia temática de uma imagem obtida por VANT (Veículo Aéreo Não Tripulado) para inferir sobre o padrão econômico das edificações da cidade de Barão de Cocais – MG, utilizando o agrupamento por K-médias. Os dados utilizados são oriundos dos BCI's preenchidos na atualização do Cadastro Técnico Multifinalitário Urbano da cidade, realizado pelo setor de Engenharia de Agrimensura e Cartográfica da Universidade Federal de Viçosa – UFV.

2. ACURÁCIA TEMÁTICA ALIADA AO CTM

A ausência de cadastros territoriais e mapeamentos confiáveis é uma das características de grande parte dos municípios brasileiros (BRASIL, Portaria Nº 511, 2009). Se tratando de municípios de pequeno e médio porte, esta realidade é ainda mais evidente, pois muitos destes possuem bases cartográficas municipais elaboradas sem nenhum controle de qualidade.

Nesse sentido, é nítida a importância do controle de qualidade cartográfica, tanto no processo de produção do CTM quanto no produto final, uma vez que essa medida torna possível descrever a qualidade dos dados gerados e definir suas aplicações. Conhecer a qualidade dos dados de uma base cartográfica cadastral é essencial para contribuir com a multifinalidade de um CTM. A ISO 19157 (2013) descreve a qualidade dos dados cartográficos através de elementos de controle de qualidade. Um destes elementos é a Acurácia Temática, que diz respeito à correta representação das feições e atributos, assim como seu enquadramento nas classes definidas no modelo conceitual (Diretoria de Serviço Geográfico).

3. AGRUPAMENTO POR K-MÉDIAS

K-Médias é um dos métodos de agrupamento de dados mais comum e usados (HAN, PEI & KAMBER, 2011; LAI & LIAW, 2008). Trata-se de uma técnica iterativa que se baseia na distribuição de objetos contidos em um dado conjunto de dados em *k* agrupamentos (*clusters*). Para isso, uma função é usada para agrupar os objetos de forma que dados contidos em um mesmo *cluster* são similares entre si e, ao mesmo tempo, possuem diferenças em relação a objetos contidos em outros *clusters* (HAN, PEI & KAMBER, 2011).

De acordo com Lai & Liaw (2008), cada *cluster* está associado a um centroide representativo. Conceitualmente, o centroide de um *cluster* é o ponto do centro do mesmo e pode ser definido de algumas formas como por cálculo da média ou da mediana dos objetos do conjunto de dados (HAN, PEI & KAMBER, 2011). Lai & Liaw (2008) apresentam uma breve, porém completa descrição do funcionamento do algoritmo k-médias:

- 1) Um conjunto inicial de k centros para os *clusters* é definido. Segundo (HAN, PEI & KAMBER, 2011), o número de grupos k é um dado inicial para o algoritmo que escolhe arbitrariamente k centros para os *clusters* dentro do conjunto de dados inicial;
- 2) Aplica-se a “Iteração de Lloyd”, a qual basicamente, calcula distâncias Euclidianas entre todos os pontos aos centros dos *clusters* e agrupa aqueles que possuem as menores distâncias aos respectivos centros. Ou seja, os objetos que são mais similares, baseado na média dos mesmos (centro do *cluster*), são alocados em um mesmo grupo;
- 3) Calcula-se a média de cada agrupamento, baseado nos objetos que foram alocados nos mesmos, e a diferença entre o conjunto de centros para os *clusters* atual e o anterior. Caso não haja diferença significativa (critério de parada), interrompe-se o processo iterativo.

A distância Euclidiana entre um conjunto de dados $X = (x_1, x_2, \dots, x_d)^T$ e o centro de um *cluster* $C = (c_1, c_2, \dots, c_d)^T$ é dada pela equação (LAI & LIAW, 2008):

$$d(X, C) = \sqrt{\sum_{i=1}^d |x_i - c_i|^2} \quad (1)$$

Ainda segundo Lai & Liaw (2008), para se determinar o centro do *cluster* mais próximo de um objeto, é necessário o cálculo do erro quadrado de ordem k . Han, Pei & Kamber (2011) dizem que a qualidade de um *cluster* $S_i = (p_1, p_2, \dots, p_n)^T$ pode ser mensurada pela soma dos erros quadráticos entre todos os objetos em S_i e o centro do mesmo c_i , definida como E segundo a equação:

$$E = \sum_{i=1}^k \sum_{p \in S_i} \text{dist}(p, c_i)^2 \quad (2)$$

A equação acima tenta fazer com que os agrupamentos gerados sejam mais compactos e separados entre si o possível.

Em suma, o algoritmo de agrupamento por k-médias particiona os dados em *clusters* onde cada centroide destes agrupamentos é representado pelo valor da média dos objetos no respectivo *cluster*.

4. METODOLOGIA

4.1 ÁREA DE ESTUDO

Os dados utilizados para a elaboração do presente estudo provêm da atualização do Cadastro Técnico Multifinalitário Urbano da cidade de Barão de Cocais, Minas Gerais, realizado pelo setor de Engenharia de Agrimensura e Cartográfica da Universidade Federal de Viçosa em convênio com a prefeitura municipal do município. Barão de Cocais situa-se na mesorregião de Belo Horizonte, distante 93 km da capital. Possui área de aproximadamente 340,585 km² (IBGE^a, 2016) e densidade demográfica de 83,51 hab./km² (IBGE^b, 2010), sendo que a área urbana corresponde a aproximadamente 20 km² (Figura 1). Os municípios limítrofes são Bom Jesus do Amparo, Caeté, Santa Bárbara e São Gonçalo do Rio Abaixo. A economia do município é baseada principalmente na extração mineral, atualmente importantes indústrias de extração mineral e siderurgia estão instaladas na cidade. (ALVES & DINIZ, 2008).

Fig. 1 – Área urbana de Barão de Cocais - MG. Fonte: Rodrigues; Marques & Gripp Júnior (2016).

4.2 BOLETIM DE CADASTRO IMOBILIÁRIO (BCI) DE BARÃO DE COCAIS

O produto utilizado neste estudo dentre vários gerados em um Cadastro técnico Multifinalitário Urbano é o BCI. Os dados referentes a este foram cedidos pela Universidade Federal de Viçosa, responsável por fazer o recadastramento do município. Para o caso de Barão de Cocais, o BCI foi elaborado com o intuito de se adequar às características cadastrais do município e possui as seguintes seções:

- **Cabeçalho:** inclui a inscrição cadastral do município na forma *Distrito.Setor.Quadra.Lote.Unidade* (Figura 2);
- **Localização do Imóvel:** refere-se aos códigos que caracterizam espacialmente o imóvel (Figura 2);
- **Nome do proprietário/Endereço para correspondência:** Informações referentes aos endereços e ao proprietário do imóvel (Figura 2);

Fig. 2 – BCI de Barão de Cocais (parte 1). Fonte: Prefeitura Municipal de Barão de Cocais.

PREFEITURA MUNICIPAL DE BARÃO DE COCAIS										COMANDO		PARA USO DO PROCESSAMENTO		01 INSCRIÇÃO CADASTRAL				
										1 INCLUSÃO				DIST. SETOR QUADRA LOTE UNIDADE				
										2 ALTERAÇÃO								
										3 EXCLUSÃO								
LOCALIZAÇÃO DO IMÓVEL																		
02 INSCRIÇÃO ANTERIOR										TIPO, NOME DO LOGRADOURO								
03 Cód. LOGRADOURO					04 SEÇÃO													
05 NÚMERO					06 COMPLEMENTO					07 LOTEAMENTO		08 QUADRA		09 LOTE				
NOME DO PROPRIETÁRIO / ENDEREÇO PARA CORRESPONDÊNCIA																		
10 NOME DO PROPRIETÁRIO OU DETENTOR																		
11 TIPO		12		NOME DO LOGRADOURO										13 NÚMERO				
14 COMPLEMENTO										15		BAIRRO						
16 NOME DO MUNICÍPIO										17		CEP					18 U.F.	
												-						

- **Informações gerais sobre o imóvel:** engloba as informações básicas sobre o imóvel (Figura 3);

Fig. 3 – BCI de Barão de Cocais (parte 2). Fonte: Prefeitura Municipal de Barão de Cocais.

INFORMAÇÕES GERAIS SOBRE O IMÓVEL																	
19 OCUPAÇÃO DO LOTE																	
NÃO CONSTRUÍDO		RUÍNAS		EM DEMOLIÇÃO		CONSTRUÇÃO PARALISADA		CONSTRUÇÃO EM ANDAMENTO		NATUREZA TEMPORÁRIA		CONSTRUÍDO		EM REFORMA			
1		2		3		4		5		6		7		8			
20 UTILIZAÇÃO																	
SEM USO		RESIDENCIAL		COMERCIAL		SERVIÇOS		SERVIÇO PÚBLICO		INDUSTRIAL		RELIGIOSA		PECUÁRIA		ESPORTES	
1		2		3		4		5		6		7		8		9	
																10	
																11	
																12	
																13	
21 DELIMITAÇÃO FRONTAL																	
SEM		RUDIMENTAR		CERCA ARAME		CERCA MADEIRA		TELA		GRADE		PRÉ-FABRICADO		ALVENARIA		CERCA VIVA	
1		2		3		4		5		6		7		8		9	
22 PASSEIO																	
SEM		MAL CONSERVADO		CIMENTO		MATERIAL CERÂMICO		PEDRA									
1		2		3		4		5									
23 SITUAÇÃO DO IMÓVEL																	
PRÓPRIO		ALUGADO		CEDIDO		INVENTÁRIO		POSSE		FECHADO		SEM INFORMAÇÃO					
1		2		3		4		5		6		7					
24 ÁGUA																	
SEM		CISTERNA		REDE PREFEITURA		ÁGUA BRUTA		POÇO ARTESIANO									
1		2		3		4		5									
25 ESGOTO																	
SEM		FOSSA		REDE PREFEITURA		PARTICULAR											
1		2		3		4											
29 ANO DE REFERÊNCIA																	
										30 IMUNE / ISENTO IPTU		31 ISENTO TSU'S					
										NÃO		IMUNE		ISENTO		NÃO	
										1		2		3		1	
																SIM	
																2	

- **Informações sobre o terreno:** refere-se às informações de localização, topografia e pedologia do imóvel (Figura 4);
- **Medidas do imóvel:** principais mensurações relativas ao imóvel cadastrado (Figura 4);

Fig. 4 – BCI de Barão de Cocais (parte 3). Fonte: Prefeitura Municipal de Barão de Cocais.

INFORMAÇÕES SOBRE O TERRENO									
32	OCUPAÇÃO DO LOTE								
	MEIO DE QUADRA	ESQUINA / 2 FRENTE	MAIS DE 2 FRENTE	VILA	CONDOMÍNIO HORIZONTAL	ENCRAVADO	AGLOMERADO	GLEBA	
	1	2	3	4	5	6	7	8	
33	TOPOGRAFIA								
	PLANO	ACLIVE	DECLIVE	IRREGULAR	ACLIVE MÉDIO	ACLIVE ACENT.	DECLIVE MÉDIO	DECLIVE ACENT.	
	1	2	3	4	5	6	7	8	
34	PEDOLOGIA								
	FIRME	BREJO / ALAGADO	INUNDÁVEL	ALAGADO MÉDIO	ALAGADO ACENT.	INUNDÁVEL MÉDIO	INUNDÁVEL ACENT.		
	1	2	3	4	5	6	7		
MEDIDAS DO IMÓVEL									
TESTADA PRINCIPAL		35					ÁREA DO LOTE		46
TESTADA 2		36					ÁREA DO LOTE DE VILA / CONDOMÍNIO		47
CÓDIGO LOGRADOURO TESTADA 2		37					ÁREA CONSTRUÍDA DA UNIDADE		48
SEÇÃO LOGRADOURO TESTADA 2		38					TOTAL DE UNIDADES NO LOTE		49
TESTADA 3		39					ÁREA TOTAL CONSTRUÍDA		50
CÓDIGO LOGRADOURO TESTADA 3		40					Nº. DE MORADORES		51
SEÇÃO LOGRADOURO TESTADA 3		41							
TESTADA 4		42							
CÓDIGO LOGRADOURO TESTADA 4		43							
SEÇÃO LOGRADOURO TESTADA 4		44							
PROFUNDIDADE		45							

- **Informações sobre a edificação:** campo que se refere às informações da edificação a ser cadastrada (Figura 5). Os dados utilizados para o presente estudo foram extraídos desta seção do BCI;

Fig. 5 – BCI de Barão de Cocais (parte 4). Fonte: Prefeitura Municipal de Barão de Cocais.

INFORMAÇÕES SOBRE A EDIFICAÇÃO										
56	TIPO									
	CASA	CONSTRUÇÃO PRECÁRIA	APARTAMENTO	COMERCIAL	SALA	LOJA	GALPÃO	TELHEIRO	FÁBRICA	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
57	ALINHAMENTO									
	ALINHADO	RECUADO								
	1	2								
58	LOCALIZAÇÃO									
	FRENTE	FUNDOS	SUPERPOSTA FRENTE	SUPERPOSTA FUNDOS	SOBRELOJA	SUB-SOLO	GALERIA			
	1	2	3	4	5	6	7			
59	POSIÇÃO									
	ISOLADA	CONJUGADA	GEINADA							
	1	2	3							
60	ESTADO DE CONSERVAÇÃO									
	BOM	REGULAR	MAU							
	1	2	3	4						
61	ESTRUTURA									
	ALVENARIA	MADEIRA	METÁLICA	CONCRETO						
	1	2	3	4						
62	COBERTURA									
	FALHA/ZINCO	TELHA AMIANTO	TELHA BARRO	LAJE	METÁLICA ESPECIAL					
	1	2	3	4	5					
63	PAREDES									
	SEM	TAIPA	ALVENARIA	MADEIRA SIMPLES	MADEIRA DUPLA	CONCRETO				
	1	2	3	4	5	6				
64	FORRO									
	SEM	MADEIRA	ESTUQUE	LAJE	CHAPAS					
	1	2	3	4	5					
65	REVESTIMENTO DA FACHADA									
	SEM	EMBOÇO	REBOCO	MATERIAL CERÂMICO	MADEIRA	PEDRA À VISTA	CONCRETO	ESPECIAL		
	1	2	3	4	5	6	7	8		
66	INSTALAÇÃO SANITÁRIA									
	SEM	EXTERNA	INTERNA	INTERNA COMPLETA	MAIS DE UMA					
	1	2	3	4	5					
67	INSTALAÇÃO ELÉTRICA									
	SEM	APARENTE	SEMI EMBUTIDA	EMBUTIDA						
	1	2	3	4						
68	PISO									
	TERRA BATIDA	CIMENTO	CERÂMICA MOSAICO	TÁBUAS	TACO	MATERIAL PLÁSTICO	CARPETE	ESPECIAL		
	1	2	3	4	5	6	7	8		
69	Nº PAVIMENTOS									
	1 PAVIMENTO	2 PAVIMENTOS	3 PAVIMENTOS	4 PAVIMENTOS						
	1	2	3	4						
70	HABITE-SE									
	NÃO	SIM								
	1	2								
71	LANÇAMENTO ENGLOBALADO									
	NÃO	SIM								
	1	2								
72	INSCRIÇÃO PRIMÁRIA									

- **Croquis:** espaço em branco para que o cadastrador faça um croqui do imóvel.

No cadastramento realizado, as informações referentes aos imóveis foram preenchidas eletronicamente pelos cadastradores através do auxílio de BCI's digitais em tablets. Estas informações eram posteriormente descarregadas com software apropriado em forma de arquivos *shapefile*. Nestes

arquivos, além das informações referentes aos imóveis (atributos), haviam também os croquis, que são os polígonos de cada edificação e terreno, aos quais os atributos são associados. Vale ressaltar que os polígonos também foram definidos eletronicamente ainda em campo pelos cadastradores.

Percebe-se que para cada atributo do BCI tem-se algumas características que devem ser associadas ao imóvel a ser cadastrado. Por exemplo, para o atributo 60 (*"Estado de conservação"*) da seção *"Informações sobre a edificação"* no BCI, tem-se as seguintes possibilidades: *"ótimo"*, *"bom"*, *"regular"* e *"mau"*. Percebe-se ainda que para cada uma destas atribui-se um valor numérico: *"1"*, *"2"*, *"3"* e *"4"* respectivamente. Ou seja, caso uma edificação qualquer possuir um ótimo estado de conservação, para o atributo 60 na tabela de atributos do arquivo *shapefile* atribui-se o caractere 1 do tipo numérico.

Assim, para as seções *"Informações gerais sobre o imóvel"*, *"Informações sobre o terreno"* e *"Informações sobre a edificação"*, cada atributo do tipo 'texto' está associado um caractere do tipo numérico.

4.3 PROCESSAMENTO DOS DADOS

Para aplicar a metodologia proposta, primeiramente selecionaram-se os dados relevantes para o estudo a partir de um arquivo *shapefile* contendo todas as edificações obtidas pelo CTM do município. Visando a obtenção de um padrão de construção de edificações residenciais, somente as edificações com status de *"Casa"*, *"Apartamento"* e *"Casa popular"* no atributo 56 (*"Tipo"*) na seção de informações sobre a edificação foram selecionadas. Além disso, somente as residências com os status *"Construído"* ou *"Em Reforma"* do atributo 19 (*"Ocupação do Lote"*) foram utilizadas. Para as demais possibilidades deste mesmo atributo, considerou-se que não representa condições de moradia e, portanto, foram desconsideradas.

Após a filtragem supracitada, selecionaram-se somente os atributos de interesse para aplicar o algoritmo de agrupamento proposto. Como o presente trabalho tem como objetivo a obtenção de um padrão das residências da área urbana do município, e se trata de um estudo preliminar para a avaliação da eficiência de um algoritmo de agrupamento de dados aplicado em dados provenientes de um CTM, levaram-se em conta somente os atributos *"Estado de conservação"*, *"Estrutura"*, *"Cobertura"*, *"Parede"*, *"Forro"*, *"Revestimento de Fachada"*, *"Instalação Sanitária"*, *"Instalação Elétrica"* e *"Piso"* (atributos de 60 a 68 totalizando 9). Todos estes provenientes da seção *"Informações sobre a edificação"*.

Para o uso de um método que considera os valores de distâncias dos pontos a serem agrupados para a média do grupo que estes pertencem, devem-se usar dados numéricos. Desta forma, utilizaram-se os dados numéricos provenientes do cadastro como estes são atribuídos às características da edificação de interesse como já descrito anteriormente.

Porém, ao analisar-se o BCI como este foi elaborado, nota-se que as informações contidas nos atributos não seguem uma ordem com relação ao padrão de uma edificação. Por exemplo, no atributo 61 (*"Estrutura"*) as informações estão na ordem *"Alvenaria"*, *"Madeira"*, *"Metálica"* e *"Concreto"* sendo atribuídos os números 1, 2, 3 e 4 respectivamente para estas. Intuitivamente, ao se falar de padrão de uma residência, espera-se que no geral, uma residência com estrutura de madeira possua um padrão inferior a uma residência com estrutura de alvenaria.

Consequentemente, foi necessária uma hierarquização dos dados levando em consideração o impacto que cada atributo traria para o padrão de uma residência. Todos as feições dos atributos foram ordenadas em ordem crescente de *"importância"* ou de valor aquisitivo sempre tendo em vista o que este implicaria no padrão da residência. Além disso, em alguns casos, considerou-se que mais de uma característica dentro de um mesmo atributo possuíam a mesma *"importância"* e então foram englobadas como uma única classe dentro do atributo. Vale salientar também que esta análise foi realizada por todos os autores levando em consideração o porte e as características econômicas e urbanas de Barão de Cocais, como uma tentativa de minimizar ao máximo a inevitável subjetividade da análise.

A seguir, é apresentado a hierarquização dos atributos usados bem como os dados numéricos atribuídos a cada característica dentro de um atributo. A mesma alteração também é apresentada na Figura 6.

- *Estado de conservação:* Mau (1) < Regular (2) < Bom (3) < Ótimo (4);
- *Estrutura:* Madeira (1) < Alvenaria (2) < Metálica (3) < Concreto (4);
- *Cobertura:* Telha Amianto (1) < Palha/Zinco e Metálica Especial (2) < Telha Barro (4) < Laje (5);
- *Parede:* Sem (1) < Taipa e Madeira Simples (2) < Concreto (3) < Alvenaria e Madeira Dupla (4);

- *Forro*: Sem e Estuque (1) < Chapas (2) < Madeira (3) < Laje (4);
- *Revestimento da Fachada*: Sem (1) < Emboço, Reboco e Concreto (2) < Material Cerâmico (3) < Madeira (4) < Pedra à Vista e Especial (5);
- *Instalação Sanitária*: Sem (1) < Externa (2) < Interna (3) < Interna Completa e Mais de uma (4);
- *Instalação Elétrica*: Sem (1) < Aparente (2) < Semi Embutida (3) < Embutida (4) (atributo sem alteração);
- *Piso*: Terra Batida (1) < Cimento (2) < Material Plástico e Carpete (3) < Cerâmica/Mosaico (4) < Taco (5) < Tábuas (6) < Especial (7).

Fig. 6 – Alteração aplicada nos atributos de 60 a 68 do BCI. Fonte: Prefeitura Municipal de Barão de Cocais (adaptado).

INFORMAÇÕES SOBRE A EDIFICAÇÃO												
56	TIPO											
	CASA	CONSTRUÇÃO PRECÁRIA	APARTAMENTO	COMERCIAL	SALA	LOJA	GALPÃO	TELHEIRO	FÁBRICA	ESPECIAL	CASA POPULAR	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
57	ALINHAMENTO											
	ALINHADA	RECUADA										
	1	2										
58	LOCALIZAÇÃO											
	FRENTE	FUNDOS	SUPERPOSTA FRENTE	SUPERPOSTA FUNDOS	SOBRELOJA	SUB-SOLO	GALERIA					
	1	2	3	4	5	6	7					
59	POSICÃO											
	ISOLADA	CONJUGADA	GEMINADA									
	1	2	3									
60	ESTADO DE CONSERVAÇÃO											
	ÓTIMO	BOM	REGULAR	MAU								
	4	3	2	1								
61	ESTRUTURA											
	ALVENARIA	MADEIRA	METÁLICA	CONCRETO								
	2	1	3	4								
62	COBERTURA											
	FALHA/ZINCO	TELHA AMIANTO	TELHA BARRO	LAJE	METÁLICA ESPECIAL							
	2	1	4	5	2							
63	PAREDES											
	SEM	TAIPA	ALVENARIA	MADEIRA SIMPLES	MADEIRA DUPLA	CONCRETO						
	1	2	4	2	4	3						
64	FORRO											
	SEM	MADEIRA	ESTUQUE	LAJE	CHAPAS							
	1	3	1	4	2							
65	REVESTIMENTO DA FACHADA											
	SEM	EMBOÇO	REBOCO	MATERIAL CERÂMICO	MADEIRA	PEDRA À VISTA	CONCRETO	ESPECIAL				
	1	2	2	3	4	5	2	5				
66	INSTALAÇÃO SANITÁRIA											
	SEM	EXTERNA	INTERNA	INTERNA COMPLETA	MAIS DE UMA							
	1	2	3	4	4							
67	INSTALAÇÃO ELÉTRICA											
	SEM	APARENTE	SEMI EMBUTIDA	EMBUTIDA								
	1	2	3	4								
68	PISO											
	TERRA BATIDA	CIMENTO	CERÂMICA MOSAICO	TÁBUAS	TACO	MATERIAL PLÁSTICO	CARPETE	ESPECIAL				
	1	2	4	6	5	3	3	7				
									Nº PAVIMENTOS			
									1º PAVIMENTO 2º PAVIMENTOS 3º PAVIMENTOS 4º PAVIMENTOS			
									1 2 3 4			
70	HABITE-SE											
	NÃO	SIM										
	1	2										
76	LANÇAMENTO ENGLOBALADO											
	NÃO	SIM										
	1	2										
77	INSCRIÇÃO PRIMÁRIA											

De posse dos dados reordenados, foi necessário mais uma etapa de tratamento dos dados antes de aplicar o algoritmo de agrupamento. Nota-se que os atributos possuem “escalas” diferentes e são constituídos de dados discretos: o atributo “Paredes” possui valores que variam de 1 a 4 enquanto que o atributo “Piso” possui valores que variam de 1 a 7 por exemplo. Desta forma, o algoritmo de k-médias, o qual basicamente trabalha com a média dos dados para realizar o agrupamento, tenderá a agrupar os valores mais próximos entre si numericamente não retratando o fenômeno explicado pelos dados como deveria.

Devido a esta “incoerência” dos atributos, optou-se por ajustar os valores dos atributos em uma mesma escala de forma a atribuir o valor 1 à “melhor” categoria de cada atributo sendo que nenhum se inicie com o valor 0. Por exemplo, o atributo “Revestimento da Fachada” possui feições que variam de 1 a 5. Ao se aplicar o ajuste mencionado, os objetos da base de dados classificados como 1 para este atributo receberão o valor de 0,2 enquanto que para os objetos classificados como 5 atribuir-se-ão o valor de 1,0. Os valores intermediários são classificados seguindo a mesma ponderação. Generalizando, para cada objeto (edificação) na base de dados, multiplica-se o valor do atributo por um fator f cujo valor é dado pela unidade dividida pelo máximo valor que pode ser atribuído a um objeto dentro deste mesmo atributo $max(A)$, ou:

$$f = \frac{1}{\max(A)} \quad (3)$$

Onde A é o atributo considerado.

Sequencialmente, procedeu-se para o agrupamento por k-médias. Foi utilizado o *software* R para a obtenção do agrupamento. Foram considerados todos os 9 atributos com os respectivos valores hierarquizados e ajustados como descrito anteriormente. Após o agrupamento, foi necessária a identificação dos grupos gerados pelo algoritmo k-médias. Para tanto, levou-se em conta o valor da média de todos os objetos dentro de um mesmo grupo. Espera-se que um grupo que corresponde a um padrão residencial alto possua média superior a um grupo que corresponde a um padrão residencial inferior. Esta etapa de identificação também foi auxiliada pela consulta de fotografias das edificações tiradas em campo: no cadastramento dos imóveis, foram tiradas fotografias de todas as edificações cadastradas que serviram para consulta e verificação do padrão das residências.

As mesmas fotografias das edificações citadas e uma imagem ortorretificada obtida por VANT (Veículo Aéreo Não Tripulado) também foram usadas para validação do agrupamento obtido, como uma forma de identificação de inconsistências e/ou incoerências que poderiam advir da ineficiência do agrupamento proposto, ou de erros de campo decorrentes do preenchimento equivocado pelo cadastrador das informações dos imóveis no BCI. Para tanto, selecionou-se aleatoriamente uma amostra com 101 edificações sobre a área urbana da cidade e verificou-se o padrão residencial das mesmas atribuindo-se “notas” de 1 (padrão baixo) a 4 (padrão alto) às mesmas. A partir desta amostra, foi possível a verificação da eficiência do agrupamento aplicado. Salienta-se que o tamanho da amostra foi escolhido a critério dos autores por falta de bibliografia que defina um tamanho ideal de amostragem para este tipo de estudo especificamente.

Em suma, apresenta-se o fluxograma da Figura 7 que sintetiza a metodologia proposta. Para as etapas de aquisição de dados, filtragem, seleção, seleção de amostra de validação e a análise final, além de outras atividades entre estas etapas que se fizeram necessárias, utilizou-se o *software* ArcGIS.

Fig. 7 – Fluxograma da metodologia proposta.

5. RESULTADOS

Ao todo, foram usados 9 atributos do BCI e 9.861 edificações para o agrupamento. O algoritmo iterativo utilizado no método k-médias foi a Iteração de Lloyd e optou-se por usar 4 *clusters* por entender que este representaria mais fielmente a realidade da cidade. Após aplicar o método de agrupamento obtiveram-se 4 *clusters* (1 a 4) de tamanhos 3.273, 739, 4.356 e 1.493 edificações respectivamente. Vale ressaltar que estes não obedecem nenhuma hierarquia de padrão residencial sendo necessária a identificação das classes.

O *software* R fornece alguns parâmetros que propiciam o melhor entendimento dos resultados obtidos. Na Tabela 1, tem-se as médias dos objetos por atributo e por grupo (G), além da média geral por grupo que foi calculada. Percebe-se que, ao se considerar a média geral dos valores por atributo, a sequência de hierarquia é G1, G4, G2 e G3, sendo decrescente em relação ao padrão das residências. Ou seja, o grupo 1 possui o mais alto padrão de residências enquanto que o 3 possui o menor. Contudo, nota-se que, ao se analisar as médias por grupos nos atributos individualmente, nem todos seguiram a mesma hierarquia. Além disso, as médias gerais dos clusters 2 e 3 foram muito próximas, o que pode indicar a existência de “confusão” entre estes grupos.

Tabela 1 -Médias das observações por atributo e por grupo

Cluster	60	61	62	63	64	65	66	67	68	Geral
1	0.80	1.00	0.80	1.00	0.99	0.41	0.86	0.82	0.65	0.81
2	0.76	0.46	0.82	0.98	0.59	0.38	0.81	0.77	0.56	0.68
3	0.76	0.79	0.20	0.99	0.67	0.38	0.82	0.78	0.56	0.66
4	0.83	1.00	0.93	1.00	0.30	0.40	0.83	0.79	0.58	0.74

Na Tabela 2, tem-se as distâncias médias (**avg.dist**), as distâncias medianas (**med.dist**) entre os objetos dentro de um mesmo *cluster* e as distâncias médias de um ponto de um *cluster* para os pontos de outros *clusters* (**avg.toot**), para cada um dos 4 *clusters*. Percebe-se que as distâncias média e mediana dos objetos do *cluster* 3 é maior. Isso significa que os dados dentro deste agrupamento estão mais distantes entre si. Pelo contrário, os dados pertencentes ao *cluster* 1 estão mais próximos entre si pois as distâncias média e mediana são as menores. Já para o *cluster* 3, seus objetos estão mais distantes dos objetos dos outros *clusters* do que os objetos do *cluster* 1, pois possui maior valor correspondente à variável “**avg.toot**”.

Tabela 2: Distâncias médias e medianas dos objetos.

	1	2	3	4
avg.dist	0.400	0.592	0.702	0.436
med.dist	0.406	0.559	0.748	0.425
avg.toot	0.895	0.911	0.964	0.944

Além dos parâmetros já apresentados, o *software* utilizado calcula a soma dos quadrados das distâncias entre os pontos de um *cluster* para o centro do mesmo (*within cluster sum of squares by cluster*). Para o presente estudo, as somas destas distâncias foram 326,35; 155,61; 1249,39 e 172,30 para os *clusters* 1, 2, 3 e 4 respectivamente. Se considerarmos o tamanho de cada grupo dividindo estes valores pela quantidade de elementos em cada *cluster*, obtemos os valores 0,10; 0,21; 0,29 e 0,12 respectivamente. Novamente, o *cluster* 3 indica um padrão mais disperso dos objetos enquanto que o *cluster* 1 demonstra um padrão mais agrupado pois, de forma geral, seus objetos estão mais perto do centro do agrupamento.

O método de k-médias tenta reduzir a dispersão dos dados de um mesmo *cluster* e aumentar a dispersão dos dados de *clusters* diferentes (ZHAO & FRÄNTI, 2014). Assim, outro valor que merece atenção refere-se a uma medida que reflete a porcentagem da variância do conjunto de dados em análise que é explicada pelo agrupamento gerado (*between_SS / total_SS*). Esta variável nos diz a porcentagem de redução na soma dos quadrados das distâncias ao se atribuir as amostras aos *k* grupos ao invés de *n* (número de amostras) (ZHAO & FRÄNTI, 2014). Para o presente estudo, alcançou-se um valor de *between_SS / total_SS*

= 48,4%. Isso significa que 48,4% da variância do conjunto de dados estudado é explicada pelo agrupamento obtido.

Por se trabalhar com nove variáveis, torna-se impossível a visualização dos agrupamentos gerados pelo software R. Contudo, é possível utilizar outros artifícios que propiciam o entendimento sobre a qualidade do agrupamento final. Um destes é a Silhueta. De acordo com Kannan & Manoj (2016), trata-se de um gráfico muito útil para a identificação de grupos que possuem estrutura fraca em uma análise de agrupamento de dados e esta informação pode ser usada para a seleção do melhor número de agrupamentos.

Basicamente, distâncias entre as observações de um mesmo grupo e entre observações de outros grupos são calculadas. Então, é possível comparar o quão próximo o objeto está de outros objetos no mesmo *cluster* com o quão próximo os mesmos estão de outros em outros *clusters*. Valores próximos de 1 significam que há maior probabilidade de o objeto estar no *cluster* correto; valores próximos de 0 significam que é provável que o objeto pertença a outro *cluster* (KANNAN & MANOJ, 2016). Na Figura 8, pode-se verificar o gráfico Silhueta para o agrupamento gerado no presente estudo.

Fig. 8 – Silhueta gerada pelo agrupamento por K-médias.

Nota-se que a largura média geral da faixa da silhueta foi 0,31 e que as larguras médias para os clusters 1, 2, 3 e 4 foram respectivamente 0,51; 0,19; 0,13 e 0,45. Na Tabela 3, pode-se verificar a apropriada interpretação de acordo com a largura da faixa da silhueta. Percebe-se que no geral, obteve-se uma estrutura de agrupamento fraca que pode ser artificial devido principalmente ao fato de os *clusters* 2 e 3 não possuírem estrutura significativa.

Tabela 3: Interpretação atribuída à largura da faixa da silhueta. adaptado de kannan & manoj (2016).

Faixa da Silhueta do Cluster	Interpretação
0.71 - 1.00	Estrutura forte encontrada
0.51 - 0.70	Estrutura razoável encontrada
0.26 - 0.50	Estrutura é fraca e pode ser artificial
< 0.25	Nenhuma estrutura significativa encontrada

Com os valores da Tabela 1 e com o auxílio das imagens de algumas edificações para a consulta do padrão das edificações, foi possível a obtenção da hierarquia dos agrupamentos provenientes do método de k-médias. A ordem do grupo de edificações com o mais alto padrão para o grupo com o mais baixo padrão é 1, 4, 2 e 3 respectivamente.

Para a etapa de validação do agrupamento obtido, selecionaram-se de forma aleatória 101 pontos, que correspondem a edificações, ao longo da área de estudo (Figura 9) e atribuiu-se um padrão de edificação para cada um como descrito na metodologia. Posteriormente, confrontou-se os padrões estipulados (referência) com os padrões gerados pelo agrupamento por k-médias. Disto foi possível o cálculo da porcentagem de acertos ou a acurácia temática por *cluster* e geral (Tabela 4).

TABELA 4: ACURÁCIA TEMÁTICA DO PADRÃO DAS EDIFICAÇÕES.

Cluster	Número de Elementos	Acurácia Temática (%)
1	20	95%
2	29	28%
3	26	88%
4	26	19%
Total	101	54%

Percebe-se que houve uma porcentagem muito baixa de acertos para os *clusters* 2 e 4. Levando em consideração que os *clusters* 2 e 3 apresentam padrões mais dispersos de seus objetos, pode-se inferir que há muita confusão entre os agrupamentos. Provavelmente, entre os *clusters* 2 e 4 e entre os *clusters* 3 e 4 (lembrando que a hierarquia em ordem decrescente de padrão de edificações neste caso é $1 > 4 > 2 > 3$).

Fig. 9 – Pontos amostrais escolhidos.

Contudo, o agrupamento obtido propiciou a identificação de alguns casos incoerentes ao longo da área de estudo. Posteriormente, após uma análise dos dados brutos dos BCI's e consulta das fotografias dos mesmos, chegou-se à conclusão que houveram erros de preenchimento em campo pelos cadastradores. Um exemplo deste ocorrido pode ser verificado em destaque na Figura 10. Neste caso, tem-se uma residência agrupada como padrão baixo (G3) em meio a residências de padrão alto (G1). Ao se analisar os dados de campo do BCI desta residência, notou-se que foi atribuído a feição "Amianto" para o atributo "Cobertura". Porém, pelas fotografias da residência percebe-se que a cobertura da mesma é de telha de barro, o qual foi considerado de padrão superior.

Fig. 10 – Exemplo de inconsistência encontrada.

Finalmente, uma espacialização do agrupamento obtido ao longo da área urbana do município de Barão de Cocais é apresentada na Figura 11. As *labels* da legenda foram criadas seguindo, da melhor forma possível, as características do município analisado.

Fig. 11 – Espacialização do agrupamento obtido

CONCLUSÃO

O agrupamento realizado não obteve resultados com um nível de confiabilidade satisfatório como se esperava devido a ocorrência de confusão entre os agrupamentos gerados. Fato possivelmente atribuído a um número incorreto de clusters adotado, à inevitável subjetividade da análise do padrão de edificações, às falhas de preenchimento do BCI em campo e à ineficiência do próprio BCI adotado.

Todavia, encontraram-se incoerências nos dados coletados em campo advindos de erros grosseiros de preenchimento do BCI, o que mostra uma importante e potencial aplicação do método proposto como uma forma de validação dos dados coletados em campo, os quais não passam por nenhuma etapa de verificação.

Recomenda-se para trabalhos futuros a aplicação deste mesmo método estatístico e outros, aplicados a diferentes números de clusters, visando a obtenção de um padrão de edificações mais forte e com maior acurácia; a inserção de um maior número de atributos que abrangem de forma mais completa a realidade das edificações em estudo; e a busca de uma melhor maneira para a validação do agrupamento obtido, seja

por um conjunto amostral maior, ou por técnicas mais contundentes e menos subjetivas de atribuição de padrão residencial às edificações de referência.

Por fim, considerou-se que o BCI utilizado está defasado e não abrange todas as características dos imóveis. Uma metodologia de avaliação predial capaz de identificar com maior precisão a realidade construtiva dos imóveis do município é necessária. Um sistema cadastral bem estruturado e consolidado diminui erros sistemáticos e grosseiros. Além disso, a utilização correta do modelo de BCI por uma prefeitura determina com maior adequação o processo de cadastro imobiliário e suas finalidades, aperfeiçoando aplicações para uma gestão cadastral eficaz.

REFERÊNCIAS

- [1] ALVES, M. A. S.; DINIZ, A. M. A. O Zoneamento Morfológico Funcional das Cidades Médias Mineiras: o Exemplo de Barão de Cocais. *Sociedade & Natureza*, Uberlândia, n.20, p. 79-91. Dez. 2008.
- [2] BRASIL. Ministério das Cidades. Diretrizes para a criação, instituição e atualização do Cadastro territorial Multifinalitário (CTM) nos municípios brasileiros. Portaria N. 511, de 7 de dezembro de 2009. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 8 dez. 2009. Seção 1, p. 75.
- [3] ERBA, D. A.; OLIVEIRA, F. L. de; LIMA JÚNIOR, P. de N. Cadastro Multifinalitário como Instrumento de Política de Política Fiscal e Urbana. Rio de Janeiro, 2005. 144 p.
- [4] FIG - International Federation of Surveyors. Statement on the cadastre. FIG Bureau, Canberra, Austrália. 1995.
- [5] GONÇALVES, R. P. Modelagem Conceitual de Banco de Dados Geográficos para Cadastro Técnico Multifinalitário em Municípios de Pequeno e Médio Porte. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2008, 156 p.
- [6] GONÇALVES, D. F. Gestão Municipal e Informações Cadastrais: Uma Análise do Processo de Cadastro Imobiliário do Município de Quaraí. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Quaraí, 2012, 71 p.
- [7] HAN, J.; PEI, J.; KAMBER, M. Data mining: concepts and techniques. 3. ed. Waltham: Elsevier, 2011. 703 p.
- [8] HASENACK, M. A Cartografia Cadastral no Brasil. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2013, 201 p.
- [9] IBGE^b - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <<http://cod.ibge.gov.br/2JW>>. Acesso em: 3 jul. 2017.
- [10] International Organization for Standardization. ISO 19157 - Geographic information - Data quality. 1 ed. Genebra, 2013. 146 p.
- [11] KANNAN, K. S.; MANOJ, K. Clustering Algorithm Based Outlier Detection in Data Mining. *International Journal of Computer Application*, v. 6, n. 4, 2016.
- [12] LAI, J. Z.; LIAW, Y. C. Improvement of the k-means clustering filtering algorithm. *Pattern Recognition*, v. 41, n. 12, p. 3677-3681, 2008.
- [13] RODRIGUES, I.; MARQUES, É.; GRIPP JUNIOR, J. Avaliação da Acurácia Posicional de uma Ortoimagem de Barão de Cocais para Aplicação no Cadastro Territorial Multifinalitário Urbano. *ANAIS DO COBRAC 2016*, Brasil, nov. 2016.
- [14] ZHAO, Q.; FRÄNTI, P. WB-index: A Sum-of-Squares Based Index for Cluster Validity. *Data & Knowledge Engineering*, n. 92, p. 77-89, 2014.

Capítulo 16

Mapeamento da inundação de abril de 2010 para análise das áreas de risco na Cidade de Santo Amaro, Bahia

Luiz Felipe Moura Bastos Borges

Andrea Sousa Fontes

Dária Maria Cardoso Nascimento

Resumo: A cidade de Santo Amaro - Bahia situa-se às margens do rio Subaé estando sujeita a sua variabilidade hidrológica. Nesse sentido, o presente trabalho tem por objetivo mapear a inundação do rio Subaé ocorrida em 14 de abril de 2010 como estratégia para definição de sua mancha e delineamento de áreas com maior risco de perdas à população. Por meio da modelagem matemática hidrodinâmica associado a um programa de Sistema de Informações Geográficas (SIG), foi possível delimitar a mancha de inundação. Com esta delimitação e a utilização dos dados da Grade Estatística do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) do censo demográfico de 2010, o resultado do mapeamento permitiu quantificar a mancha de inundação em 85.2 hectares, contendo 12.382 habitantes e 2.747 domicílios em situação de risco. No trabalho de campo realizado, identificou-se que as áreas de alto risco à inundação compreendem bairros populosos como o Ideal, Bonfim, Caeira, Trapiche e o centro da Cidade – o Mercado Municipal. Portanto, o uso da cartografia tornou-se uma importante ferramenta de espacialização e mensuração do evento.

Palavras chave: Mapeamento, Inundação, Sistema de Informações Geográficas, Santo Amaro – Bahia

1 INTRODUÇÃO

As cidades localizadas as margens de curso d'água estão sujeitas a sua variabilidade hidrológica, o que pode impor significativos prejuízos quando o planejamento urbano não contempla os limites da calha de inundação desse rio. A delimitação das áreas afetadas por eventos extremos, a exemplo das inundações, pode ajudar a gestão pública a minimizar os seus efeitos e organizar de forma mais adequada o uso e ocupação dessas margens.

O processo de urbanização da cidade de Santo Amaro é extremamente antigo e se deu às margens do rio Subaé, ocupando sua planície de inundação situada praticamente a jusante do rio, extinguindo matas e ecossistemas de manguezais que além de ocasionar diversos tipos de impactos ambientais, aumenta a frequência e intensidade das inundações nestas áreas.

As imagens obtidas por meio do sensoriamento remoto proporcionam uma visão de conjunto da paisagem, que permite realizar estudos regionais e integrados, evidenciando a dinâmica e a transformação dos ambientes; neste caso, destacam-se os impactos causados pelo fenômeno da inundação (FLORENZANO, 2002) na área urbana de Santo Amaro – Bahia. Concomitantemente relacionada com o sensoriamento remoto, a modelagem hidrodinâmica nos possibilita representar o comportamento de um evento ocorrido por meio de equações matemáticas que proporciona a simulação e tomar conhecimento do processo dinâmico do sistema. Neste contexto, o objetivo geral deste trabalho foi mapear a inundação do rio Subaé ocorrida em 14 de abril de 2010 como estratégia para definição de sua mancha e delineamento de áreas com maior risco de perdas à população.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

O município de Santo Amaro localiza-se no Recôncavo baiano à 75 km da capital, Salvador, entre as coordenadas geográficas 12° 22' a 12° 43' latitude Sul e 38° 38' a 38° 52' longitude Oeste de Greenwich (Figura 1). Sua área compreende aproximadamente 493 km², na qual dividem-se em três distritos: Campinhos, Santo Amaro e Acupe; sua população total, portanto, são 57.800 habitantes, ou seja, uma densidade demográfica de 117 hab/km²; deste universo, 36.844 habitantes vivem na cidade de Santo Amaro (IBGE, 2010). Isso significa que do total de habitantes, 63,7% moram na cidade.

O clima de Santo Amaro é do tipo úmido, com chuvas concentradas nos meses de abril a julho. A temperatura média anual é de 24,6°C, e a pluviosidade medial anual é 1.687 mm (SEI, 2010). Do ponto de vista geológico-geomorfológico, a cidade de Santo Amaro caracteriza-se por depósitos fluviais indiferenciados, bacia sedimentar do Recôncavo e zona úmida do tipo manguezal (ESQUIVEL, 2016).

Para definir a mancha de inundação por meio da modelagem hidrológica são necessários informações geométricas, parâmetros hidrológicos, condições de contorno e condições iniciais. Para representar a geometria foram obtidas seções transversais ao longo do trecho do rio, a partir das informações do Modelo Digital de Terreno (MDT). Para criar e representar a superfície do MDT em ambiente SIG foi gerado o modelo de rede triangular irregular (TIN – Triangulated irregular networks) por meio das curvas de nível com equidistância de 1 metro e 2753 pontos cotados de altimetria (CONDER, 2010a).

Figura 1: Localização do município de Santo Amaro – Bahia e área de estudo

Fonte: BORGES, 2018.

A modelagem hidrodinâmica foi executada pelos softwares HEC-RAS 4.0.1 e extensão do HEC-Geo-RAS utilizada em ambiente SIG o ArcGis 10.1. No SIG foram traçadas 52 seções transversais com intervalos uniformes de 130 metros de distância e 250 metros de comprimento, obtidas do MDT; de posse das informações geométricas, os dados foram exportados para o HEC-RAS, onde foram realizados os procedimentos hidrológicos para simulação, como: definição da vazão, parâmetros e condições de contorno. Os parâmetros de entrada utilizados na modelagem foram a vazão média diária máxima (disponibilizada no banco de dados da Agência Nacional de Águas – ANA – Estação fluviométrica 51060100 localizada a montante da cidade), coeficiente de rugosidade de Manning, segundo a tabela de Chow (1959), e dimensionamento do rio; a condição de contorno foi a declividade média do trecho do rio Subaé (0.03 m/m). Por não existir dados medidos do evento nem monitoramento do rio no trecho estudado e, dessa forma, não sendo possível calibrar o modelo.

Como o valor disponível de vazão é apenas a média diária máxima e entendendo ser este trabalho uma estimativa de alcance da cheia num cenário problemático não monitorado, foi considerado o regime de

fluxo permanente, onde a energia ao longo do canal apresentou-se conservada sob um regime misto, assumindo, portanto, que a chuva transformou-se em vazão. Tal energia foi gerada pelo acúmulo de chuva em 2 dias, que segundo o Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos - CPTEC/INPE, 2017, registrou 124mm. Após a simulação no programa, o arquivo foi reexportado para o SIG ArcGis para simulação e delimitação da mancha de inundação. Para efeito de visualização, colocou-se como plano de fundo, ortofotos da área urbana de Santo Amaro (CONDER, 2010b), a fim de ter estimativa da dimensão da inundação.

Para validar o procedimento da modelagem hidrodinâmica foi realizado questionários com moradores e agentes públicos, principalmente da Defesa Civil Municipal. O trabalho de campo teve como finalidade recuperar informações pretéritas à cerca das inundações, mapear a delimitação da mancha de inundação, identificar causas e consequências das inundações em Santo Amaro, Bahia. Os questionários foram construídos por meio do método Amostragem estratificada sistemática não alinhada, recomendada por Gerardi e Silva (1981), quando não se têm conhecimento preciso da distribuição geográfica de um fenômeno que pretende-se amostrar. Sobre uma base cartográfica com sistema de coordenadas bem definidas e com cotas altimétricas conhecidas foi estabelecido uma malha quadriculada com intervalos iguais de 100m x 100m, onde cada ponto consistiu em um questionário que ao total foram gerados 82 pontos/questionários (Figura 2).

Para estimar o impacto da inundação sobre a população foi sobreposta a delimitação da mancha de inundação com as informações da grade estatística e de setores censitários do Censo Demográfico do IBGE.

Figura 2: Pontos de Questionários em Santo Amaro, Bahia.

Fonte: CONDER, 2010b; Elaboração: BORGES, 2018.

A resposta dos questionários serviu como validação da modelagem da mancha de inundação realizada pelos programas (HEC-RAS e ArcGis) no Laboratório de Cartografia (LACAR). Pois, por meio do resultado das respostas da população entrevistada foi gerado o mapa da delimitação dos pontos máximos de inundação quando foi perguntado se em outrora aquele ponto já foi atingido pela inundação de 2010 ou por alguma outra.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 3 apresenta a mancha de inundação de acordo com os resultados da simulação, atingindo 33.6% da população da cidade e uma considerável área da cidade – 85,2 hectares, no qual o nível d'água variou

em uma profundidade de até 4,4 metros. Essa cheia apresenta um tempo de retorno de 18 anos, considerando a série histórica de 1989 a 2016.

Figura 3: Delimitação da mancha de inundação sob uma vazão de $125.6 \text{ m}^3/\text{s}$ em Santo Amaro, Bahia.

Fonte: BORGES, 2018.

O mapeamento da delimitação da mancha de inundação foi validado in loco, por meio de questionários à população, coleta de coordenadas de cotas conhecidas que foram atingidas, bem como, cotas que não foram influenciadas pela inundação. Verificou-se em campo, que os bairros mais prejudicados são: Ideal, Bonfim, Caeira, Trapiche e o centro da Cidade na altura do Mercado Municipal. Vale destacar que estes bairros, localizam-se às margens do rio Subaé e possuem precária infraestrutura urbana para lidar com tais eventos; tendo como característica, bairros populosos.

De acordo com a Grade Estatística do censo demográfico do IBGE em 2010, a inundação atingiu no total, 12.382 habitantes correspondendo a 2.747 domicílios, demonstrando prejuízos e perdas de caráter social e econômico. Conforme a Grade Estatística (IBGE, 2010), Figura 4, os bairros citados possuem alta quantidade populacional, variando entre 400 a 950 habitantes nas quadriculas localizados a estes bairros correspondendo um intervalo de 148 a 293 domicílios atingidos.

Figura 4: População Total e Domicílios Ocupados por Grade Estatística em Santo Amaro, Bahia

Fonte: IBGE, 2010.

Ressalta-se que o cenário é ainda mais preocupante, pois os dados relacionam-se com residentes, isso significa que no centro da cidade, próximo ao Mercado Municipal e suas redondezas, há um grande movimento pendular diário, pois é ali que está concentrado comércio e serviços. Constatou-se que as inundações são problemas recorrentes e eminente que trazem perdas de cunho socioeconômico atingindo residentes, comerciantes e prestadores de serviço, alterando toda a dinâmica da cidade.

Na ocasião, Santo Amaro havia decretado estado de emergência na tentativa de receber auxílio de diversos órgãos. Moradores tiveram prejuízos perdendo seus utensílios domésticos onde água ultrapassou 1 metro em bairros como Ideal e Bonfim (Figura 5), segundo moradores quando perguntados em trabalho de campo.

Figura 5: Bairro do Bonfim emerso por água, atingido pela inundação de 2010, em Santo Amaro, Bahia

Fonte: Ana Patrícia, 2010.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Fica evidente que a interação entre SIG e modelagem hidrodinâmica permitiu representar o processo e comportamento do sistema hídrico, tendo como objetivo simular a inundação ocorrida em 2010, que, mesmo havendo dificuldade com obtenção de dados consistentes e impossibilidade de calibração, este trabalho apresenta um resultado preliminar do desenvolvimento de pesquisa sobre as inundações em Santo Amaro. Proporcionou-se então, uma estimativa de uma mancha de 85,2 hectares na cidade atingindo os domicílios residenciais e comerciais localizados nas margens e próximos a elas.

A cheia selecionada mostra-se adequada para avaliação da área inundada tanto pelo seu período de retorno como pelos efeitos que causou. Entretanto, as análises realizadas ressaltam a importância de monitoramento desses eventos extremos para que o planejamento urbano seja efetivado. Existem ferramentas e metodologias já consolidadas e apropriadas, sendo o maior entrave a disponibilidade de informação para validar os resultados.

Em relação a simulação destaca-se que utilização das ortofotos foi essencial no processo de pesquisa, pois, permitiu a visualização da mancha de inundação na cidade Santo Amaro - BA, sendo possível estimar a população de 12.382 atingidos. A partir de uma calibração adequada poderá ser realizada cenários de ocorrência de eventos extremos com diferentes tempos de retorno para estabelecimento de faixas de inundação e vulnerabilidade da população.

Este trabalho, é caracterizado por uma medida não-estrutural de gestão de inundações (TUCCI, 2006) tendo em vista o mapeamento dos eventos que servem de subsídio para estudos futuros no sentido de colaborar em adotar medidas estruturais ou não-estruturais buscando minimizar os prejuízos;

Este trabalho, ainda em desenvolvimento foi apresentado/publicado nos Anais do XXVII Congresso Brasileiro de Cartografia sediado no Rio de Janeiro em 2017. Entretanto, algumas novas informações já consolidadas ao longo da pesquisa foram acrescentadas.

REFERÊNCIAS

- [1] AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. Planilha de dados de Vazão e Cota da estação 51060100. Brasília, 2017.
- [2] BORGES, L. F. M. B. Estudo das inundações na zona urbana de Santo Amaro – Bahia: Um resgate entre os anos de 1999, 2003, 2010 e 2015. 2018. 91 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2018.
- [3] CENTRO DE PREVISÃO DE TEMPO E ESTUDOS CLIMÁTICOS. Programa de Monitoramento Climático em Tempo Real da Região Nordeste. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2017.
- [4] CHOW, Ven T. Open channel hydraulics. McGraw-Hill Book Company, Inc; New York, 1959.
- [5] CONDER. Base planialtimétrica de Santo Amaro. Sistemas de Informações Geográficas Urbanas do Estado da Bahia – INFORMS. Salvador, 2010a.
- [6] _____. Ortofoto da Região Metropolitana de Salvador e Recôncavo Baiano – 60 cm. Sistemas de Informações Geográficas Urbanas do Estado da Bahia – INFORMS. Salvador, 2010b.
- [7] ESQUIVEL, Marcus Santos. A zona costeira dos municípios do Litoral Norte e entorno da Baía de Todos os Santos – Estado da Bahia: implicações para gestão ambiental. 2016. 153 f. Tese (Doutorado em Geologia)–Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2016.
- [8] FLORENZANO, Teresa Gallotti. Imagens de satélite para estudos ambientais. São Paulo, SP: Oficina de Textos, 2002. 97 p.
- [9] IBGE. Grade Estatística do Censo Demográfico. Rio de Janeiro: IBGE, 2010.
- [10] PATRÍCIA, A. Inundação no bairro do Bonfim. 2010. 2 fot., col
- [11] SEI. Estatísticas dos Municípios Baianos: território de identidade Recôncavo. Salvador: Superintendência de Estudos Econômicos e Sociais da Bahia, 2010.v. 13. 382 p.
- [12] TUCCI, C. E. M. Gestão de águas pluviais urbanas. Brasília, DF: Ministério das Cidades, 2006.

Capítulo 17

Identificação de áreas de mineração no Leste do Maranhão a partir de geotecnologias

Fabricio Sousa da Silva

Adauto Luís Moraes Pestana

José Renato Silva Foicinha

Resumo: O presente trabalho se propôs a desenvolver uma metodologia para subsidiar o planejamento de ações fiscalizatórias no Estado do Maranhão, com destaque para a detecção de áreas de mineração irregular de argila e areia. Os procedimentos desta pesquisa foram: aquisição de imagens do Sensor OLI-8 do Landsat, aquisição da base de dados dos depósitos registrados no órgão regulador para a região de interesse, classificação supervisionada usando diferentes classificadores (baseados em distância e ângulo espectral), filtro pós-classificação, extração da classe de interesse e validação das áreas minerárias com o módulo open layers, e validação de campo. Os resultados demonstraram que o classificador baseado em distância mínima apresentou-se como o mais promissor na identificação de ocorrências da classe mineração, pois apresentou, quando comparado aos outros classificadores, o maior percentual de acerto. O classificador identificou 303 áreas de mineração em um faixa de 14.500,00 km² (incluindo muitas localidades com 1 pixel de área), das quais, após a filtragem, restaram 250 áreas (maiores que 1 pixel de área). Essas, por sua vez, foram validadas em laboratório e confirmou-se 147 áreas de mineração irregular proeminentes distribuídas principalmente em dois Municípios: Caxias e Dom Pedro. A validação em campo de 25 pontos confirmou que as 25 localidades visitadas se configuram como áreas de mineração irregular em tempos distintos: atual e/ou abandonada. Tais resultados possibilitaram o norteamiento de atividades de fiscalização proporcionando dimensionar o tempo da ação bem como estimar os custos e as rotas a serem avaliadas. Além disso, possibilitaram a escolha das áreas proeminentes baseadas em critérios diferentes, tais como: acesso e tamanho da área explorada.

Palavras-chave: Mineração, Classificação, Fiscalização

1 INTRODUÇÃO

O monitoramento dos acontecimentos na superfície terrestre teve grande impulso a partir do advento da tecnologia de geoprocessamento e sensoriamento remoto suportada em ambiente computacional, o que permitiu o avanço em diversas áreas do conhecimento. Estes avanços são observados no auxílio aos estudos e investigações ambientais em diferentes escalas.

Segundo Florenzano (2003), as imagens orbitais geradas a partir de plataformas orbitais possibilitam uma visão abrangente e multitemporal de extensas áreas da superfície terrestre e a realização de variados estudos, bem como a realização de comparativos, permitindo ainda a aplicação em várias áreas das ciências da terra. Essas características tornam-se de suma importância em processos de fiscalizatórios.

Conforme destacam Câmara e Medeiros (1998), o Geoprocessamento é entendido como a disciplina do conhecimento com caráter tecnológico que se atém ao estudo das técnicas computacionais e matemática para tratar a informação espacial. Os instrumentos computacionais que permitem aplicar as técnicas do Geoprocessamento são denominados de Sistemas de Informações Geográficas.

O SIG, na visão de Scholten e Lepper (1991), permite a realização de análises espaciais complexas dos mais diversos cenários existentes, propiciando assim subsídios para a tomada de decisão por parte dos planejadores e administradores. Com essas características, a ferramenta possibilita a melhora e eficiência operacional, além de permitir uma boa administração das informações, objetivando a diminuição dos custos operacionais e a agilidade no processo de decisão de qualquer natureza.

Diante das potencialidades das Geotecnologias, diferentes instituições nacionais têm utilizado esta ferramenta como mecanismo de apoio às suas atividades, destacando-se principalmente as fiscalizatórias, ainda que modestas, destacam-se principalmente às ações fiscalizatórias de supressão da vegetação. No Brasil, como exemplo, citam-se: Brandão Júnior e Souza Júnior (2005) que abordam o uso do do sensoriamento remoto para identificação de estradas madeireiras irregulares no nordeste do Pará; Castilho e Correia Júnior (2011) que identificaram, através de geotecnologias, irregularidades existentes em áreas de manejo florestal sustentável; Matos e Freitas (2011) que destacam a importância do Geoprocessamento e do Sensoriamento Remoto para os projetos de monitoramento da Amazônia tais como o PRODES e o DETER; Almeida e Almeida (2015) que analisaram, através de geotecnologias, os impactos das ações do IBAMA no combate ao desmatamento no Oeste do Pará e; Ribeiro ET AL (2010) que avaliaram o uso de técnicas de sensoriamento remoto para o monitoramento de atividades de mineração no Mato Grosso do Sul.

O Estado do Maranhão possui uma extensão territorial de aproximadamente 331.936,955 km², possuindo variados recursos naturais, dos quais se destacam os florestais, hídricos, bióticos e também minerários. No que se refere a este último, de acordo com o DNPM atualmente no estado existem cerca de 1900 atividades minerárias, das quais 84 apresentam, até a data desta publicação, a fase de autorização para exploração efetiva. As áreas de exploração efetivas são entendidas como áreas com concessão de lavra.

Diante disso, o objetivo deste trabalho foi, a partir do uso das geotecnologias, estabelecer uma metodologia que permita identificar, no leste do Maranhão, áreas de extração irregular mineral (com destaque para areia e argila) com o intuito de subsidiar a tomada de decisão nas ações de fiscalização nessas áreas.

2 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo compreendeu os municípios do Leste do Estado: Gonçalves Dias, Dom Pedro, Caxias, Esperantinópolis, Governador Archer, Joselândia, Santo Antônio dos Lopes, São João do Sóter e São José dos Basílios.

Figura 1. Localização da área de interesse.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Para o desenvolvimento desta pesquisa, os seguintes materiais foram obtidos:

- Cena do Sensor OLI-8 de órbita 220 e ponto 63 referente ao mês de Setembro de 2016, no Portal Glovis (<http://glovis.usgs.gov/next/>);
- Malha vetorial com a situação no DNPM[1] dos depósitos minerários na região (<http://sigmine.dnpm.gov.br/webmap/>);
- Google Earth;
- Software ENVI 5.3 Licenciado pela Secretaria Estadual de Meio Ambiente e Recursos Naturais do Maranhão - SEMA.
- QGis 2.14 Standalone com o Módulo Open Layers;

A Figura 2 sistematiza os procedimentos executados neste trabalho e, estão descritos logo a seguir.

Figura 2. Fluxo dos procedimentos adotados.

Inicialmente, no software Envi, realizou-se uma composição colorida falsa cor com as bandas R5G6B4, pois, conforme destaca Moreira (2012), são as mais representativas para identificação de uso e cobertura do solo. Nesta composição, iniciou-se o trabalho de investigação dos alvos da cena, onde a vegetação apresenta maior reflectância na faixa espectral do infravermelho próximo e assume tonalidades de vermelho tornando-se facilmente distinguível de outros alvos. Com auxílio da malha vetorial de depósitos minerais (DNPM), sobreposta a composição RGB, obteve-se a resposta espectral para áreas de mineração e, esta apresentou-se com coloração branca, diferente do solo exposto (caracteristicamente esverdeado nessa combinação). Areia e argila apresentaram-se com coloração esbranquiçada, pois possuem resposta espectral próxima e em decorrência da resolução espectral do Sensor OLI-8, não apresentam distinções consideráveis (figura 3a e 3b).

Figura 3a) Composição RGB demonstrando localidade de retirada mineral onde se verificam pixels vermelhos e levemente esverdeados, caracterizando vegetação e solo exposto, respectivamente. Figura 3b) Imagem do Google Earth confirmando o depósito mineral e as demais feições destacadas em 3a.

Os demais alvos investigados foram: Vegetação Arbórea, Vegetação Herbácea e/ou Arbustiva, Solo Exposto e Corpo Hídrico (Figura 4). De posse da chave de interpretação, realizaram-se coletas de amostras para toda a cena.

Figura 4. Chave de interpretação para os principais alvos na área de interesse.

Na sequência, foram executadas as classificações digitais supervisionadas no software ENVI 5.3, levando consideração as amostras coletadas ao longo da cena e o empilhamento das 7 faixas espectrais de interesse, de modo a considerar toda a faixa espectral do sensor, aproveitando inclusive as bandas do infravermelho e as bandas 6 e 7, pois as faixas destas bandas são apontadas por Martine (2002) representativas para minerais. Os classificadores Supervisionados utilizados foram os métodos baseados

na distância (Mínima Distância e Distância de Mahalanobis), e baseado em ângulo espectral (Spectral Angle Mapper – SAM).

Rirchards (1986) aponta que, o método de mínima distância mínima classifica cada pixel na classe cuja média possui menor distância em relação ao referido pixel. Para este método, foram adotados os parâmetros simples. Este método é usual em amostras sem grandes variações estatísticas.

O método de Distância de Mahalanobis é tratado por Martins (2012) como possuidor de característica direcional e, por tanto, sensível à distância. Este classificador se assemelha ao método de máxima verossimilhança, mas assume que todas as covariâncias de classe são iguais e, portanto, constitui-se como um método mais rápido. Todos os pixels são classificados na classe amostral mais próxima, contudo permite ao operador especificar um limite de distância, caso em que alguns pixels podem não ser classificados se não atenderem ao limite estabelecido.

O Mapeador de Abertura Espectral (Spectral Angle Mapper – SAM) é um algoritmo que identifica um alvo a partir da similaridade entre dois espectros (as curvas referenciais obtidas na amostragem e a reflectância disposta ao longo da cena). A verificação da similaridade entre os espectros (cena x amostra) ocorre através do cálculo do ângulo formado (em radianos), tratando-os como vetores em um espaço adimensional que corresponde ao número de bandas da imagem escolhida (SOHN e REBELLO, 2002). Nesta investigação, adotou-se o ângulo padrão 1 para todos os alvos, exceto para o alvo mineração que foi considerado 0.04, uma vez que o principal objetivo é a identificação de mineração com maior confiança.

Considerou-se a melhor classificação aquela que apresentou a menor quantidade de ruído (interferência e/ou confusão) para com a classe mineração e, nela realizou-se um filtro de janela 3x3. Após o refinamento da classificação final, os vetores da classe mineração foram exportados para o ambiente de SIG. No QGIS 2.14, realizou-se a validação feição-feição das áreas de mineração, baseando-se em imagens do Google Earth disponíveis no Plugin Open Layers.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A tabela 1 exprime os resultados estatísticos para os métodos abordados, no que diz respeito às matrizes de validação e a totalidade de feições de mineração identificadas;

Tabela 1. Métodos de classificação e sua acurácia.

Método	Qtd Feições Mineração	Índice KAPPA
Mínima Distância	303	89%
Distância de Mahalanobis	320	94.3%
Mapeador de Abertura Espectral – SAM	306	88.99%

Outro resultado importante verificado foi o comportamento entre classe para os diferentes classificadores, nos quais se percebe que apenas o método de mínima distância apresentou baixa confusão com outra classes, principalmente solo exposto e urbano. Essa confusão decorre principalmente da proximidade da resposta espectral destes alvos, os quais estão presentes minerais dispostos em sua cobertura (Tabelas 2, 3 e 4).

Tabela 2. Método de classificação de Mínima Distância e sua matriz de validação.

Classe	Vegetação Densa	Vegetação Herbácea	Solo Exposto	Urbano	Corpo Hídrico	Mineração
Vegetação Arbórea	94.95	3.39	1.57	5.98	0.48	0.62
Vegetação Arbustiva	5.02	95.87	0.29	1.13	0.55	0.93
Solo Exposto	0.00	0.11	81.00	23.93	0.00	4.64
Urbano	0.03	0.64	16.22	66.94	0.00	8.05
Corpo Hídrico	0.00	0.00	0.01	0.00	98.97	0
Mineração	0	0	0.91	2.02	0.00	85.76

Tabela 3. Método de classificação de Distância de Mahalanobis e sua matriz de validação.

Classe	Vegetação Densa	Vegetação Herbácea	Solo Exposto	Urbano	Corpo Hídrico	Mineração
Vegetação Arbórea	98.30	15.93	3.11	5.74	0,52	4.95
Vegetação Arbustiva	1.70	83.89	0.28	6.11	0.69	5.26
Solo Exposto	0.00	0.12	96.13	3.38	0.00	5.57
Urbano	0.00	0.00	0.47	82.57	0.00	7.74
Corpo Hídrico	0.00	0.00	0.01	0.29	95.45	0
Mineração	0.00	0.02	0.01	1.92	3.34	76.47

Tabela 4. Método de classificação pelo de Mapeador de Ângulo Espectral e sua matriz de validação.

Classe	Vegetação Arbórea	Vegetação Arbustiva	Solo Exposto	Urbano	Corpo Hídrico	Mineração
Vegetação Arbórea	92.60	18.34	0.04	2.00	0.21	0.93
Vegetação Arbustiva	7.19	79.35	0.00	0.02	0.45	0.00
Solo Exposto	0.00	0.11	90.19	8.29	0.00	3.41
Urbano	0.01	0.08	5.94	79.50	0.00	12.69
Corpo Hídrico	0.00	0	0	0	95.11	0
Mineração	0	0	0.01	0.86	0	78.64

De acordo com os resultados apresentados, observa-se que a classificação utilizando o método de mínima distância apresentou o segundo melhor índice de acurácia em relação aos demais. Contudo, observa-se que, entre as classes de cada método, o índice apresentou os melhores resultados estatísticos de diferenciação da classe mineração (classe interesse nesta investigação). Além disso, o Método de

classificação de mínima distância ainda apresentou a menor quantidade de feições (303) de mineração, fato que aperfeiçoa o processo de validação feição-feição (no Google Earth) e possibilita ganho de tempo e certeza no processo fiscalizatório, uma vez que a atividade minerária possui confusão com cicatrizes de deslizamentos de terra nos morrotes da região. Diante de tais fatos, os resultados dessa classificação foram entendidos como os mais apropriados para esta atividade.

As feições de mineração tiveram um refinamento de 303 para 250 áreas de possíveis atividades minerárias, em 14.500 km² analisados (figura 5). Analisou-se, ainda, a área (em m²) dos 72 depósitos minerários autorizados pelo DNPN na região da cena adquirida e, observou-se que, o tamanho padrão de áreas oficiais exploradas variam entre 900 m² e 30.000 m², o que em termos de pixel equivale a 1 e 30, respectivamente. Dessa forma, aplicou-se no resultado classificação uma seleção de áreas entre 1800 m² (2 pixels) e 30.000m² (30 pixels). Essa seleção decorre do entendimento que, áreas inferiores 1800m² são facilmente confundidas com feições erosivas naturais da região e maiores que 30.000 estão fora dos padrões de exploração da região.

De modo a verificar a eficácia de todo método, focou-se na análise ponto-a-ponto das 250 feições identificadas na classificação, as quais 147 apresentaram Forte ou Fraca possibilidade de atividade minerária (figuras 6). Os municípios de Caxias e Dom Pedro apresentaram os maiores quantitativos de áreas potenciais com 65 e 36, respectivamente.

Figura 6. Distribuição das 147 feições validadas como Forte ou Fraca possibilidade de atividade minerária.

As demais feições, descartadas no processo de validação, apresentaram características de fenômenos erosivos naturais e foram retiradas do banco de informações. Esse processo dependeu diretamente da decisão do analista. Feições que apresentam um isolamento de núcleos populacionais, mas que apresentam caminhos e estradas vicinais de acesso foram mantidas como áreas proeminentes (figura 7).

Figura 7. Exemplo de área detectada por classificação supervisionada apresentando característica de atividade minerária irregular, isolada e com acessos vicinais.

A validação de campo ocorreu no município de Dom Pedro, durante o mês de agosto de 2017. A sua escolha se deu por conta do número de feições proeminentes e a facilidade no acesso a estes pontos (figura 8 e 9). Dos 25 pontos analisados, todos condiziam com atividades de mineração. De acordo com o observado in loco é possível afirmar a ocorrência atual ou muito recente de extração sem a devida autorização do órgão regulador.

Figura 8. Ocorrência de extração irregular mineral em dois momentos distintos: a) Nota-se a existência de marcas recentes de máquinas de raspagem, para o interior do morro, além de marcas recentes de retirada da base. Observa-se a organização dos sedimentos na base. b) Apresenta uma estabilização da encosta, com marcas de ranhuras antigas e intemperizadas. Neste ponto, observa-se a inexistência de sedimentos em sua base e ausência de marcas de maquinário.

Foto 9. Localidade de extração mineral desativada, com difícil acesso e em todo de morro. Percebem-se ranhuras antigas, fortemente intemperizadas e sem resquícios de maquinário na área.

No que se refere aos depósitos conhecidos oficialmente, a área de interesse apresentou um total de 18 áreas com registro frente ao órgão regulador (DNPM). Das 18 áreas, 2 apresentaram áreas mineradas (argila para cerâmica e argila para construção civil) na classificação. Contudo a situação dessas áreas frente ao órgão regulador é de requerimento de lavra, configurando uma possível infração (figura 10).

Figura 10. Exemplo de área minerária (em vermelho) com zona de extração (zona verde), sem concessão de lavra pelo DNPM.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conforme apresentado, nenhum dos métodos de classificação supervisionados atingiu 100% de confiabilidade, algo comum em matriz de confusão de classificação.

É de suma importância a periódica consulta à base de dados dos depósitos homologados pelo DNPM, pois tal consulta auxilia o analista na identificação dos depósitos minerais, que tendem a variar os padrões conforme a característica da região em que estão inseridos, além de contribuir no processo de coleta de amostras para classificação.

A aplicação do filtro, com o objetivo de validar a existência de feições e refinar ainda mais as áreas potenciais, acaba retirando áreas de mineração menores que 1800 m² (equivalente a dois pixels 30m X 30m) caso exista exploração desta dimensão. Desta feita, torna-se interessante para fins de estratégia

definir, inicialmente, o tamanho das áreas que se deseja investigar e, através de filtros de geoprocessamento, enfatizar a análise feição-feição nos tamanhos dos depósitos de interesse.

A validação feição-feição, que é realizada uma-a-uma com o apoio de imagens do Google Earth é outra limitação. Contudo, nessa limitação cabe ainda uma expertise do analista em verificar áreas que foram identificadas na classificação como área minerada, mas que apresenta uma condição totalmente diferente nas imagens do Google Earth, pois isso decorre da disposição temporal das imagens. Além disso, um conhecimento das feições em campo das diferentes regiões de um estado a serem investigados contribui ainda mais para um resultado melhor.

Por fim, destaca-se que a dificuldade em se obter imagens livres de cobertura de nuvens e/ou com resolução espacial menor que 30m, tende a trazer dados mais promissores ao processo de investigação e validação de atividades de mineração em todo o Estado.

A fiscalização deve ser um procedimento constante, uma vez que esse tipo de atividade irregular é dinâmica e, dependendo do período de fiscalização, a área já pode ter sido abandonada.

Tal trabalho foi suscitado em decorrência das constantes denúncias recebidas pelo órgão ambiental de ações de exploração minerária dessa natureza na região. Diante disso, o mapeamento utilizando as geotecnologias (Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto) forneceu bases que permitem realizar campanhas e fiscalizações de modo organizado e conforme o tamanho de área explorada, de modo a empregar melhor não apenas tempo, mas também recursos humanos e materiais e com isso, garantir a preservação e/ou uso racional dos recursos dos naturais desses ambientes.

REFERÊNCIAS

- [1] Almeida, R. M. e Almeida O. S., 2015, Análise das ações da Gerência Executiva do IBAMA de Santarém/PA no combate ao desmatamento na região de influência da BR-163 no Oeste do Pará, em Anais do XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Curitiba, PR, Brasil, pp.2293 – 2300.
- [2] Câmara, G. e Medeiros, J. S. 1998, Sistemas de informações geográficas: aplicações na agricultura. 2. ed. ver. ampl. Brasília, DF: Embrapa-SPI: Embrapa-CPAC, 340 paginas.
- [3] Castilho, A. C.C e Correia Júnior Y., 2011. Análise da degradação ambiental ocorrida em área de plano de manejo florestal no município de União do Sul – MT, em Anais do XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Curitiba- PR, Brasil, pp.2771-2778.
- [4] DNPM. Pesquisa de Processos. Disponível <https://sistemas.dnpm.gov.br/SCM/Extra/site/admin/pesquisarProcessos..> Acesso em 20 de Abril de 2017
- [5] Matos F. L. L. C. e Freitas, D. M. 2011. Monitoramento ambiental da Amazônia Legal e aplicabilidade dos dados nas ações de fiscalização do IBAMA, em Anais do XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Curitiba - PR, Brasil, pp.2841 –2848.
- [6] Moreira, M. A., Fundamentos do Sensoriamento Remoto e Metodologias de Aplicação. Ed. UFV, Viçosa, 307 páginas.
- [7] Morgan S. Y. E. e F. Gurri. 1999. Deforestation in North-Central Yucatan (1985–1995): Mapping Secondary Succession of Forest and Agricultural Land Use in Sotuta Using the Cosine of the Angle Concept. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing Vol.65, N°1, pp.947–958.
- [8] Ribeiro, V.O, Paranhos Filho, A.C e Fernandes, P.C.O, 2010. Avaliação do uso de imagens do Satélite CBERS –2 Sensor CCD, no monitoramento de atividades de lavra a céu aberto. Revista de Estudos Ambientais, Vol.12, N°12, pp.15-28
- [9] Richards, J. A.; Jia, X., 2006. Remote sensing digital image analysis: an introduction. Fourth Edition, New York: Springer Verlag, 431paginas.
- [10] Richards, J.A, 1986, Remote Sensing Digital Image Analysis, Ed. Spring Verlag Berlin Heidelberg, Alemanha 1986.
- [11] Scholten, H. J. e Lepper, M. J. C., 1991. The benefits of the application of geographical information systems in public and environmental health. Rapport Trimestrel de Statistique Sanitaire Mondiale Vol 44:160-170.
- [12] Sohn, Y e Rebello, N.S, 2002. Supervisive and unsupervised spectral algle classifiers. Photogrametric Engeneering and Remote Sensing, Vol 68, n°12, pp.1271-1280.
- [13] Souza Filho, R. e Crósta, A.P. 2003. Geotecnologias aplicadas a Geologia. Revista Brasileira de Geociências Vol. 33, pp 1-4.

Capítulo 18

Utilização de serviço de mapeamento online para apoio da reambulação no âmbito do Projeto Mapeamento Interesse da Força

Pierre Moura

Gustavo Fluminense Carneiro

Isabel Marques da Cruz Costa

João Felipe Aguiar Guimarães

Resumo: Em um cenário de baixo crescimento econômico e, por consequência, menores verbas, a otimização no uso de recursos da união é de grande relevância. Inserido nesse contexto, no âmbito da produção cartográfica, a reambulação pode ser beneficiada pelo uso de serviços online para auxiliar o mapeamento. Com objetivo de otimizar a reambulação de escolas nas cidades paulistas de Artur Nogueira e Cosmópolis, foi avaliada a completude do serviço BatchGeo. Para tal, foram obtidos com a Secretaria da Educação do Estado de São Paulo os endereços das escolas, e então, inseridos em planilha estruturada e carregados no site do serviço, gerando um mapa personalizado contendo os endereços encontrados. O resultado foi uma completude total de 81,16%, com aumento de tempo de trabalho em gabinete de 30 minutos. Nesse cenário, o serviço se mostrou eficiente para o apoio das atividades de reambulação de escolas, sendo necessários mais estudos para avaliação quantitativa do impacto de seu uso no tempo gasto em campo no processo de reambulação como um todo.

Palavras-chave: Reambulação, Mapeamento Oficial, Exército Brasileiro.

1. INTRODUÇÃO

Em um cenário de baixo crescimento econômico e, por consequência, menores verbas, a otimização no uso de recursos da união é de grande relevância.

O Projeto Mapeamento Interesse da Força tem por finalidade mapear áreas de importância estratégica para o Exército Brasileiro na escala 1:25.000. Para isso, e inserido no contexto exposto anteriormente, são utilizadas informações já adquiridas de outros processos de mapeamento governamental, tanto em âmbito interno como externo à Força.

De acordo com a Metodologia para reambulação (DSG 2010), “Reambulação é a coleta de topônimos e informações relativos aos acidentes naturais e artificiais do terreno (orográficos, hidrográficos, fito-geológicos, demográficos, antropográficos e obras de engenharia em geral), [...] além da localização e definição das linhas divisórias nacionais e internacionais e respectivos marcos de fronteira”.

Tal fase da produção pode ser beneficiada pelo uso de serviços online que auxiliam o mapeamento, disponíveis gratuitamente, que permitem otimizar tempo e recursos gastos em atividades de campo.

Um de tais serviços, e foco deste trabalho, é o BatchGeo, que realiza a transcrição de endereços em uma planilha para pontos em um mapa Google personalizado, auxiliando assim, o planejamento para coleta de dados.

No espectro do Projeto Mapeamento Interesse da Força, foram reambuladas as cidades de Cosmópolis e Artur Nogueira, nas quais o serviço foi utilizado na reambulação das escolas. Como ocorreram no mesmo período, serão apresentados os resultados obtidos em ambas as cidades.

Este trabalho apresentará o serviço, bem como resultados de seu uso em uma atividade de reambulação de escolas nas. Na seção 2 será explicado o que é o BatchGeo. Na seção 3, como foi utilizado no Projeto Mapeamento Interesse da Força. Na seção 4 serão mostrados os resultados e discussões sobre os mesmos, e, na seção 5, as conclusões

2 SERVIÇO BATCHGEO

O BatchGeo é um serviço online gratuito de conversão, que permite a criação de mapas Google personalizados a partir de planilha estruturada. O usuário transfere o conteúdo de sua planilha a local indicado no site, deixando a primeira linha como cabeçalho, onde cada coluna será usada como atributo. Sendo disponibilizado pelo serviço uma planilha modelo, conforme Tabela 1.

Conforme mostrado na Tabela 1, podem ser utilizados até 4 atributos para a localização, sendo eles:

endereço, cidade, Estado, CEP. De acordo com o serviço, quanto mais atributos são utilizados, melhor será o resultado da geolocalização. Além disso, mais 5 atributos para identificação e agrupamento dos locais, como nome e telefone, dentre outros.

Inserida a planilha estruturada na página do serviço, o mesmo solicita que sejam relacionadas as colunas aos atributos utilizados, sendo eles: Região, Localização / Endereço, Cidade / Distrito, Estado / Província / Código Postal, CEP / Código Postal / País, Agrupar Por / Valor Temático.

Inserida a planilha estruturada na página do serviço, o mesmo solicita que sejam relacionadas as colunas aos atributos utilizados, sendo eles: Região, Localização / Endereço, Cidade / Distrito, Estado / Província / Código Postal, CEP / Código Postal / País, Agrupar Por / Valor Temático.

O serviço possui opções avançadas para personalização e representação dos grupos, e ainda, a entrada de latitude e longitude, caso disponíveis, para locação dos pontos.

3 METODOLOGIA

Os endereços foram obtidos pelo site da Secretaria da Educação do Estado de São Paulo, sem seguida inseridos na em planilha estruturada, sendo essa carregada no site do BatchGeo. O mapa resultante foi baixado e convertido para formato .shp. Tal metodologia se encontra na Figura 1.

Tabela 1 – Extrato das informações utilizadas

Endereço	Cidade	Estado	CEP	Nome	Tel	Gr	UR
ALCIDIA TEIXEIRA WITAKER MATTEIS PROFA EMEF 241	Cosmópolis	SP		ALCIDIA TEIXEIRA WITAKER MATTEIS PROFA EMEF			
RUA CLEMENTINA CARDOSO DE FAVERI 80	Cosmópolis	SP		AMARO RODRIGUES PROF EMEF			
RUA ERNESTO TAGLIARI 2171	Cosmópolis	SP		APAE DE ARTUR NOGUEIRA			
RUA FRANCISCO CABRINO 2251	Cosmópolis	SP		APARECIDA DIAS DOS SANTOS PROFA EMEIEF			
RUA ANTONIO CEZAR DRUZIAN SN	Cosmópolis	SP		ARMANDO FALCONE PROFESSOR			
RUA SETE DE SETEMBRO 1330	Cosmópolis	SP		ARTUR NOGUEIRA COLEGIO ANGLO DE			
RUA ERNESTO TAGLIARI 625	Cosmópolis	SP		ARTUR NOGUEIRA ESCOLA ADVENTISTA DE PG			
RUA CONCHAL 37	Cosmópolis	SP		BELMIRA DE SA MANDAIO EMEI			
EXPEDICIONARIOS 999	Cosmópolis	SP		CAMINHO SUAVE CENTRO DE ENSINO			

Figura 1 – Etapas da metodologia

Figura 2 – Localização das escolas da cidade de Cosmópolis-SP

Figura 3 – Localização das escolas da cidade de Artur Nogueira-SP

Primeiramente, os nomes e endereços das escolas das cidades de Cosmópolis e Artur Nogueira foram obtidos pelo site da Secretaria da Educação do Estado de São Paulo. Este apresenta um mapa para visualização das escolas, porém, o mesmo não pode ser baixado ou integrado a um GPS, sendo necessária a criação de outro mapa.

Os endereços foram inseridos numa planilha, seguindo modelo disponibilizado pelo site do BatchGeo, conforme Tabela 1, para posterior carga no mesmo. Foram utilizados apenas os campos de endereço, nome, cidade, estado.

Após o processamento pelo site, foi gerado um mapa personalizado Google com a localização das escolas encontradas, conforme Figuras 2 e 3. Além do que, foi disponibilizado um arquivo no formato .kml para download.

Os arquivos baixados foram então convertidos para formato .shp, por meio da ferramenta KML to Layer, do software ArcGIS, versão 10.1, da empresa ESRI.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Em um primeiro momento será analisada a completude do serviço, e, posteriormente, o efeito de sua utilização no processo de reambulação no âmbito do Projeto Mapeamento Interesse da Força.

O serviço encontrou, ao todo, 56 das 69 escolas endereçadas na entrada, apresentando, uma completude de 81,16%, conforme Tabela 2.

Tabela 2 – Completude do serviço

Cidade	Pesquisados	Encontrados	Completude (%)
Cosmópolis	38	31	81,58
Artur Nogueira	31	25	80,65
Total	69	56	81,16

Para aproveitar melhor o tempo na atividade em campo, a fase de planejamento deve ser bem executada. Assim, quanto mais informação é disponibilizada para equipe de reambulação, melhor será o planejamento.

Nesse sentido, a completude resultante representa um resultado significativo, pois o número de feições com localização desconhecida caiu para cerca de um quinto, diminuindo o tempo gasto à procura das escolas.

Vale ressaltar que, as posições obtidas pelo serviço não foram utilizadas como insumo. Serviram apenas como pontos de rota a serem usados pela equipe reambuladora.

O emprego direto das coordenadas obtidas nos bancos de dados não é permitido, uma vez que não teve origem de fonte governamental, não sendo possível garantir sua precisão. Além do mais, esse tipo de uso dos dados do Google Maps vai contra seus termos de uso.

Na reambulação, das 5 horas previstas para aquisição das feições, foram gastas 4. Por outro lado, houve ainda um aumento no tempo de trabalho de gabinete, necessário para utilizar o serviço e converter o resultado para formato adequado, atividade que levou 30 minutos.

Não é possível, no entanto, afirmar que a economia final de 30 minutos se deu exclusivamente pelo uso do serviço, tendo sido utilizado em apenas duas situações.

O resultado obtido com essas situações abre espaço para que mais trabalhos sejam desenvolvidos, principalmente no âmbito da análise quantitativa de seu impacto no tempo gasto na reambulação. Uma vez que economia de tempo, também se traduz em uma redução de custos, com economia de combustível, e menor exposição do pessoal a acidentes e outros sinistros.

4 CONCLUSÃO

O BatchGeo se mostrou um serviço eficiente para ao apoio das atividades de reambulação de escolas. Auxiliando a localização de objetos tendo como base endereços, economizando tempo, recursos e diminuindo riscos de acidente.

O resultado obtido possibilita mais estudos no sentido de avaliação quantitativa do impacto de seu uso no tempo gasto para reambular, não apenas de escolas, mas no processo de reambulação como um todo.

Apesar de fornecer localização para pontos de interesse, não pode ser visto como uma fonte de insumo. O serviço abordado neste artigo não substitui ou diminui a importância e necessidade da reambulação, mas a apoia, fornecendo posições aproximadas de dados já obtidos por meio de endereços, fornecidos por outros órgãos e agências governamentais.

REFERÊNCIAS

- [1] BatchGeo. (2017). Termo de Serviço para o BatchGeo. Disponível em "<https://pt.batchgeo.com/features/terms>". Acessado em 3 de julho de 2017.
- [2] FEIJÓ, Paulo Roberto Pires et al. Metodologia para reambulação. DSG, 2010
- [3] Google Inc. (2017). Termos de Serviço adicionais do Google Maps/Google Earth. Disponível em "https://www.google.com/intl/pt-BR_US/help/terms_maps.html". Acessado em 3 de julho de 2017.
- [4] Secretaria da Educação do Governo do Estado de São Paulo, 2015. Serviço de Localização de escolas. Disponível em "<http://www.educacao.sp.gov.br/central-de-atendimento/consulta.asp?>". Acessado em 10 de novembro de 2015.

Capítulo 19

Questões sobre a normatização de produtos cartográficos no Brasil visando o Cadastro Técnico Multifinalitário Urbano

Mariana de Sá Rodrigues da Silva

Osmar Leon Silivi Junior

Carlos Loch

Ricardo Augusto Eger

Resumo: Visto a importância dos produtos cartográficos para a gestão territorial, tem-se como objetivo do presente trabalho abordar a questão da geração dos produtos cartográficos no Brasil visando à elaboração CTM frente à normatização cartográfica. Trata-se de um trabalho teórico que faz um levantamento histórico da normatização cartográfica no Brasil, além de um breve levantamento da normatização internacional, aborda sobre a precisão cartográfica exigida no Cadastro Técnico Multifinalitário e traz casos da realidade brasileira.

Palavras-chave: Cartografia, CTM, Gestão Territorial.

1 INTRODUÇÃO

A gestão territorial necessita de informações do espaço físico, biológico e antrópico. Os produtos cartográficos, ou seja, mapas, cartas ou plantas, são fundamentais no desenvolvimento de estudos, pesquisas e análises relativas à suas áreas de atuação, além de serem fundamentais à administração pública na tarefa de planejamento, organização e administração de seus territórios.

De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 1989), o planejamento de qualquer atividade que se relaciona com o espaço físico, requer, inicialmente, o conhecimento deste espaço. Sendo assim, é de extrema importância que se obtenha uma coleção de dados e/ou informações que permitam representar graficamente este espaço físico.

O Cadastro Técnico Multifinalitário (CTM), envolve medições, legislação e aspectos econômicos. As medições vão desde a parte cartográfica até a avaliação socioeconômica da população. Quanto à legislação é necessário o conhecimento das leis vigentes e a coerência com a realidade local e regional. Já os aspectos econômicos, diz respeito à racionalização do uso do solo, compreendendo desde a ocupação do solo na área rural até o zoneamento da área urbana.

Segundo Loch e Erba (2007), o Cadastro Técnico, para ser multifinalitário, deve atender ao maior número de usuários possíveis, devendo ir além dos aspectos físicos e legais, servindo de base de dados para o planejamento territorial. Dentre os objetivos do CTM cabe-se destacar: cobrança justa de impostos; embasar o planejamento governamental; garantia da propriedade imobiliária; facilidade e economia nos processos de desapropriações legais e servidões; fiscalização da execução de planos de desenvolvimento regional para obras em geral; geração de dados espaciais para um sistema de informações; permitir atualização cadastral e; garantir a função social da terra. Isso implica na necessidade de produtos complexos e tecnologias que os tornem acessíveis para qualquer profissional que necessite de informações sobre propriedade.

Visto a importância dos produtos cartográficos para a gestão territorial, tem-se como objetivo do presente trabalho abordar a questão da geração dos produtos cartográficos no Brasil visando à elaboração do CTM frente à normatização cartográfica.

Trata-se de um trabalho teórico de abordagem qualitativa, uma vez que, para cumprir o objetivo, o trabalho faz um levantamento histórico da normatização cartográfica no Brasil, apontando para alguns decretos importantes, além de um breve levantamento da normatização internacional e traz um referencial teórico sobre o processo cartográfico e sobre a precisão cartográfica exigida no cadastro Técnico Multifinalitário. Desta forma, foi possível identificar as legislações vigentes nas esferas federais e se ter uma noção dos parâmetros internacionais a fim de analisar a realidade da geração dos produtos cartográficos para o CTM no Brasil.

À atividade de transformação da coleção de dados em representação gráfica da realidade dá-se o nome de Processo Cartográfico. Cabe-se diferenciar base cartográfica de mapa temático. No primeiro, o que temos no caso brasileiro, é o mapeamento sistemático da década de 70, que se utilizou de método homogêneo seguindo modelos da DSG e do IBGE. Contudo apresentam escala pequena 1:50.000 e 1:100.000 o que implica em aplicação reduzida. A atualização e elaboração em escalas maiores ficam a cargo dos municípios, estados e instituições. São realizadas por empresas de aerolevantamento e muitas vezes longe da qualidade para a aplicação de cadastro. Já a exatidão de um mapa temático é variável em função ao tema a ser trabalhado.

2 ESTABELECIMENTO DA NORMATIZAÇÃO CARTOGRÁFICA BRASILEIRA

Constitucionalmente, a normatização cartográfica é de responsabilidade da União, uma vez que segundo a constituição de 88, no Título III, Da Organização do Estado, Capítulo II, Da União, dentre as competências de União estabelecidas no Artigo 21 se tem: (XV) Organizar e manter os serviços oficiais de estatística, geografia, geologia e cartografia de âmbito nacional e no Artigo 22 que estabelece as competências privativas da União de legislar sobre: (XVIII) sistema estatístico, sistema cartográfico e de geologia nacionais.

O Decreto-lei nº 243, de 28 de fevereiro de 1967, cria o Sistema Cartográfico Nacional - SCN e a Comissão Nacional de Cartografia - CONCAR. Atribui ao IBGE a responsabilidade da gestão e manutenção do Sistema. Define a forma de representação do território (Art. 6º), a cartografia sistemática e suas escalas e a Infraestrutura Cartográfica. Obriga os levantamentos a serem apoiados na rede geodésica fundamental e secundária e protege os marcos, pilares e sinais geodésicos. O Decreto nº 89.817 de 20 de junho de 1984,

estabelece as normas a serem observadas pelos produtores públicos ou privados e usuários de cartografia que devem ser homologadas pelo CONCAR. Classifica as cartas quanto a sua exatidão – Padrão de Exatidão Cartográfica – PEC. Durante os anos de 90s a CONCAR passa por períodos de instabilidade, de 1990 a 1994 e de 1999 a 2000 sofre desativação. O Decreto de 1º de agosto de 2008, atribui à CONCAR assessorar o Ministro de Estado na supervisão do Sistema Cartográfico Nacional e coordenar a execução da política cartográfica nacional, entre outras providências. O Decreto nº 9.759 de 11 de abril de 2019, extingue a CONCAR, o que pode acarretar em maior fragilidade ao sistema cartográfico brasileiro.

Em 1992 o IBGE elabora normas para levantamento GPS e implanta a Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo - RBMC. Em 2005, a partir do decreto nº 5.334 de 06 de janeiro, o sistema SIRGAS2000 é adotado como novo Sistema Geodésico de Referência no Brasil. Até então o sistema considerava o Datum Sul-Americano 1969 - SAD-69.

O Decreto nº 6.666, de 27 de novembro de 2008, institui, no âmbito do Poder Executivo federal, a Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais - INDE, e dá outras providências. A INDE tem por finalidade ordenar a geração, armazenamento, acesso, compartilhamento, divulgação e uso dos dados geoespaciais, estes se distinguem pela componente espacial, que associa cada entidade ou fenômeno a uma localização na Terra.

A Resolução no. 1, de 30 de novembro de 2009, homologa a Norma da Cartografia Nacional, que define o perfil de Metadados Geoespaciais do Brasil - MGB. Ou seja, define como deve ser o conjunto de informações descritivas sobre os dados, incluindo as características de seu levantamento, produção, qualidade e estrutura de armazenamento, essenciais para promover a sua documentação, integração e disponibilização, bem como possibilitar sua busca e exploração.

O INCRA (2013) trata das condições normativas para execução dos serviços de georreferenciamento de imóveis rurais. A correta aplicação desta norma fica condicionada às especificações dos documentos publicados pelo INCRA: (i) Manual Técnico de Limites e Confrontações; (ii) Manual Técnico de Posicionamento.

A DSG, atendendo à INDE e ao decreto lei nº242/67, vem elaborar a norma cartográfica que regula e padroniza os Produtos de Conjunto de Dados Geoespaciais - PCDG utilizados como referência para o Espaço Geográfico Brasileiro - EGB. Assim ficam estabelecidas por portaria e disponibilizadas pela DSG uma série de normas atualizadas em 2016 referentes a: (i) estruturação de Dados Geoespaciais Vetoriais, ET-EDGV; (ii) aquisição de Dados Geoespaciais Vetoriais, ET-ADGV; (iii) produtos de Conjuntos de Dados Geoespaciais, ET-PCDG; (iv) representação de Dados Geoespaciais; (v) controle de Qualidade dos Produtos de Conjuntos de Dados Geoespaciais, ET-CQDG. O conjunto de normas estabelece padrões para Mapeamento Topográfico em Pequenas Escalas - MapTopoPE, Mapeamento Topográfico em Grandes Escalas - MapTopoGE, Modelo Digital de Elevação e ortoimagens. A norma prevê a elaboração de uma ficha técnica para cada produto com base na norma técnica ISO 19131, a qual, normalmente, especifica os seguintes requisitos: (i) visão geral; (ii) escopo da especificação; (iii) identificação do produto; (iv) conteúdo e estrutura do produto; (v) manutenção do produto; (vi) aquisição dos dados; (vii) apresentação do produto; (viii) sistema de referência; (ix) distribuição do produto; (x) qualidade dos dados; (xi) Informações adicionais; (xii) Metadados.

Em maio de 2016, instituí-se o Sistema Nacional de Gestão de Informações Territoriais (Sinter) que representa uma ferramenta de gestão pública que deve integrar, em um banco de dados espaciais, os dados jurídicos, fiscais, cadastrais e geoespaciais de imóveis urbanos e rurais produzidos pela União, pelos Estados, pelo Distrito Federal e pelos Municípios. O Sinter será administrado pela Secretaria da Receita Federal do Brasil (art. 4º), cabendo à esta elaborar, manter e publicar o Manual Operacional, observado o disposto nas resoluções emitidas pelos comitês temáticos relacionado às informações registrares e geoespaciais; e celebrar convênios por adesão para intercâmbio de dados cadastrais, fiscais e geoespaciais de imóveis urbanos e rurais entre a União, os Estados, o Distrito Federal e os Municípios, por meio do Sinter, obedecido o padrão único de interoperabilidade. As informações cadastrais e geoespaciais devem estar integradas em níveis gráficos de mapeamento georreferenciado (camadas), embasadas no levantamento dos limites das parcelas cadastrais.

3 PADRONIZAÇÃO INTERNACIONAL

Internacionalmente, reconhece-se a ISO/TC 211 como reguladora da padronização no campo da informação geográfica digital. Esta norma especifica as ferramentas, métodos e procedimentos para: (i) descrever a semântica, estrutura e aspectos de qualidade da informação geográfica; (ii) descrever a

distribuição geoespacial e aspectos temporais; (iii) descrever o metadado; (iv) codificar o dado e permitir sua visualização para diferentes comunidades de usuários.

Um importante avanço é o Land Administration Domain Model - LADM, estabelecido em 2012 pela International Organization for Standardization (ISO). Consta um modelo de referência para padronizar os aspectos comuns dos sistemas de administração da terra e, em particular, os seus elementos centrais cadastrais (ISO/FDIS 19.152:2012). Os aspectos geográficos seguem o modelo conceitual ISO/TC 211.

Um exemplo de aplicação deste modelo é o INSPIRE – Infrastructure for Spatial Information in Europe. Estabelecido em maio de 2007, objetiva criar harmonia e qualidade das informações e dados geográficos disponíveis com a finalidade de formular, implementar, monitorar e avaliar as políticas de comunidade e viabilizar ao cidadão acesso às informações sobre o ambiente, nos níveis local, regional, nacional ou internacional.

4 PRECISÃO CARTOGRÁFICA EXIGIDA NO CTM

Segundo a FIG – Federação Internacional de Geômetras, Cadastro é um inventário público de dados metodicamente organizados, baseado no levantamento dos limites das parcelas existentes em um determinado território. De acordo com Carneiro et al (2012), a célula básica de um cadastro territorial multifinalitário deve ser a parcela, que pode ser definida como a menor unidade territorial cujo levantamento seja jurídica e economicamente relevante. Temos duas situações distintas em termos de cadastro, o cadastro rural e o cadastro urbano.

O cadastro rural é centralizado e administrado pelo Governo Federal, cuja responsabilidade é do Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária – INCRA por meio do Sistema Nacional de Cadastro Rural – SNCR estabelecido pelo Decreto nº 72.106, de 18/4/1973, no qual o cadastramento ocorria mediante por ato declaratório não havendo controle quanto à veracidade das informações. A Lei nº 10.267/2001 criou o Cadastro Nacional de Imóveis Rurais – CNIR que deve criar base comum de informações, gerenciada conjuntamente pelo INCRA e pela Secretaria da Receita Federal, produzida e compartilhada pelas diversas instituições públicas federais e estaduais produtoras e usuárias de informações sobre o meio rural brasileiro. Tem-se a obrigatoriedade do georreferenciamento de todos os imóveis rurais e da interconexão de informações entre INCRA e Registro Imobiliário.

A precisão posicional a ser fixada pelo INCRA e segundo a Norma Técnica para Georreferenciamento de Imóveis Rurais 3ª Edição (2013), os valores de precisão posicional a serem observados para vértices definidores de limites de imóveis são: (i) para vértices situados em limites artificiais: melhor ou igual a 0,50 m; (ii) para vértices situados em limites naturais: melhor ou igual a 3,00 m; e (iii) para vértices situados em limites inacessíveis: melhor ou igual a 7,50 m.

Já o cadastro urbano é descentralizado cabendo às administrações municipais e até a instituição do Sistema Nacional de Gestão de Informações Territoriais - Sinter pelo decreto nº 8.764 de 10 de maio de 2016, não possuía legislação que impusesse alguma padronização de procedimentos. Até então, seguia mais ou menos o modelo adaptado do CIATA - Convênio de Incentivo ao Aperfeiçoamento Técnico-Administrativo das Municipalidades da década de 70, cuja base descritiva do cadastro urbano é composta por dados do imóvel e de seu proprietário ou possuidor (CARNEIRO et al 2012) sem exigir precisão dos dados físicos.

Em área urbana, o Cadastro Técnico, a partir da planta cadastral (desde de que sejam em escalas gráficas maiores: 1/2.000, 1/1.000, 1/500), permite a análise no nível da parcela cadastral, possibilitando assim, o uso de sistemas cadastrais como fonte de informação para o planejamento urbano (LOCH; ERBA, 2007).

A ABNT, Associação Brasileira de normas técnicas, mediante a NBR 14166 de agosto de 1998 referente à Rede de Referência Cadastral Municipal, estabelece a escala 1:1.000 ou maior para a planta cadastral municipal devendo ser resultante da aplicação sistemática desta Norma e da NBR 13133 referente à levantamentos topográficos. Segundo a NBR 14166 a finalidade primordial da planta cadastral são estudos sobre alinhamentos, nivelamentos e emplacamento de edificações, servindo como base os cadastros de infraestrutura urbana e apoio para a construção das plantas de quadras do cadastro imobiliário fiscal, fundiário para registros públicos e de equipamentos comunitários ou sociais. Devem apresentar pontos cotados, na precisão compatível com a escala, em todos os cruzamentos de ruas, fins de ruas, mudanças de “grade” e de direção das ruas. A Planta cadastral municipal abrange apenas as áreas urbanizadas e em processo de urbanização ou de expansão urbana do município e deve apresenta hidrografia, drenagem, sistema viário, obras de arte, logradouros e arborização.

Em 07 de dezembro de 2009 é publicada a Portaria nº 511 que estabelece diretrizes para a implantação do CTM enfocando questões relacionadas à cartografia, à multifinalidade do cadastro, à sua gestão e financiamento e à avaliação de imóveis. Não detalha os procedimentos técnicos a serem adotados na implementação do cadastro serve apenas de orientação, não sendo de cumprimento obrigatório.

Cabe-se citar que em termos jurídicos o Código Civil em seu Capítulo I, do Art. 500, estabelece que, “nas relações de compra e venda de imóveis, resguarda não exceder em um vigésimo da área total enunciada”, o que significa um erro máximo tolerável de cinco por cento (5%) da área em questão, sendo a área mínima dos lotes equivalente à 125m^2 e frente mínima de 5 cinco metros prevista pela Lei Federal de Parcelamento de Solo Urbano (Lei n. 6.766/79) (LUZ, 2013; ROSENFELDT, 2016). As simulações considerando as parcelas mínimas do lote urbano considerando a teoria da propagação de erro de Gauss realizadas por Luz (2013) demonstram um erro posicional tolerável de 0,245 a 0,283 metros aproximadamente dependendo do número de vértices, sendo que a precisão posicional de um ponto deve ter uma qualidade de no mínimo três vezes melhor que a tolerância especificada para garantir um nível de confiança, o erro posicional máximo tolerável dos pontos deve ser de 0,081m a 0,094m conforme o número de vértices do polígono (LUZ, 2013).

Enfim, há pouco, o Decreto nº 9.310 de 15 de março de 2018 (BRASIL, 2018) de regularização fundiária para o cadastro que fixa os valores para o levantamento topográfico georreferenciado para áreas urbanas. Estipula, em concordância ao código civil, oito centímetros como máximo erro de posicionamento esférico para o vértice referente a uma propriedade urbana, georreferenciado pelo Global Navigation Satellite System - equipamento GNSS ou ortofotografia aérea. Menciona que se deve seguir as normas técnicas para serviços topográficos da Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT, as normas Técnicas da Cartografia Nacional e as especificações técnicas da Diretoria do Serviço Geográfico do Exército Brasileiro - DSG. Contudo este nível de exatidão não se encontra nas tabelas de Padrão de Exatidão Cartográfica - PEC apresentadas em nível nacional.

5 UTILIZAÇÃO DE DADOS GEOESPACIAIS NA GESTÃO PÚBLICA MUNICIPAL

Silva et al (2014), realizou uma análise em dois mapas temáticos utilizados no Plano Diretor de Tubarão: o Mapa de Vazios Urbanos e o Mapa de Áreas Consolidadas. Ao realizar a análise de um vazio urbano, verificou-se que os mapas em questão, encontram-se defasados e desatualizados, quando comparados à realidade física do local, além de que se observaram divergências entre os mapas. No mapa de áreas consolidadas (urbano), a ocupação urbana é representada em formato de desenho orgânico e no mapa de vazios urbanos (municipal) é representada conforme alinhamentos das parcelas e sistema viário. A base cadastral para a elaboração do plano diretor de Tubarão demonstra apenas a demarcação de quadras e sistema viário, não constando as parcelas territoriais, bem como as edificações nelas existentes, portanto, notifica-se que não ocorreu qualquer tipo de levantamento para delimitar os limites físicos das parcelas através de métodos topográficos, geodésicos ou fotogramétricos que proporcionassem precisões compatíveis sobre a realidade físico-territorial atual do município. Apresentam escalas inadequadas: Base Cadastral, 1:17.000; Mapa Urbano, 1:55.000; Mapas municipal, 1:100.000.

Diferentemente, ocorre com o Município de Joinville, que implantou o Sistema Municipal de Informações Georeferenciadas - SimGEO. Até 2006, o município possuía plantas de referência cadastral e Boletins de Informações Cadastrais - BIC completamente analógicos, dificultando a gestão municipal, o projeto iniciado em 2007, consistiu na escanização de todas as plantas de quadras de referência cadastral do perímetro urbano de Joinville, o georreferenciamento destes arquivos digitais e a vetorização das unidades cadastrais sobre a nova base cartográfica. Estas bases cartográficas são compostas por ortofotocartas digitais nas escalas 1:1.000 para as áreas urbanizadas e 1:5.000 e 1:10.000 para as áreas com características rurais. A altimetria foi obtida a partir de perfilamento a laser com precisão de 4 pontos por metro quadrado, gerando curvas de nível com equidistância de 20 centímetros para as áreas urbanizadas, e 1 ponto por metro quadrado, gerando curvas de nível com equidistância de 1 metro para as áreas rurais. As ortofotocartas digitais da área urbana de Joinville, geradas em 2007, foram atualizadas com o levantamento de 2010 da área rural e que as edificações públicas e o sistema viário foram restituídos e atualizados na restituição aerofotogramétrica digital de 2007. Apesar da qualidade de dados existentes, cabe-se levantar que a frequência de atualização, segundo indicado pela DSG (2016) para a cartografia nas escalas 1:1.000 e 1:2.000 é a cada 5 anos.

O caso brasileiro parte de uma vasta heterogeneidade de métodos de produção e representação e carência sistemática na área cadastral, o que acarreta no descompasso entre o cadastro gráfico e o registro imobiliário. Apesar da transição do registro físico para o registro eletrônico, ainda há desarticulação da

administração e da gestão territorial (SIGEF, 2015). Atualmente estamos diante da recém instituição do Sinter, o que pode significar um passo para se alcançar métodos padronizados para o cadastro multifinalitário com interoperabilidade, permitindo a comunicação entre o cadastro gráfico e o registro imobiliário (SIGEF, 2015).

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A base cartográfica brasileira é resultante do mapeamento sistemático da década de 70, que se utilizou de método homogêneo seguindo modelos do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE e da Diretoria de Serviços Geográficos do exército – DSG. Contudo apresenta escala pequena, de 1:50.000 e 1:100.000, o que implica em dados não suficiente à gestão urbana.

A atualização e elaboração de mapas em escalas maiores que correspondem às áreas urbanas ficam a cargo dos municípios, estados e instituições privadas e são realizadas por empresas de aerolevantamento. Muitas vezes a qualidade para a aplicação de cadastro não é atingida mesmo existindo normas a serem observadas pelos produtores públicos ou privados. A informação geoespacial de qualidade não implica somente na sua representação, mas como também na aquisição dos dados e acurácia posicional. Em alguns casos a concorrência por licitação por preço leva a esta falta de qualidade, ou em outros, o desconhecimento técnico do próprio contratante para a avaliação da qualidade. Além do que os dados do aerolevantamento tradicional normalmente não vão além da escala de 1:000.

Com relação à padronização, o Sinter faz referência às normas técnicas do CONCAR que homologa a INDE como norma de cartografia nacional, a qual segue o estabelecido pelas especificações técnicas da Diretoria de Serviços geográficos do exército brasileiro (DSG). Acredita-se que a padronização esperada pelo Sinter deverá ser garantida pelo Manual Operacional do Sistema de Registro Eletrônico, contudo, para sua aplicabilidade é necessário que haja capacitação pessoal nas áreas da administração pública e registros imobiliários, os quais devem perceber que não existe uma gestão pública com transparência pública e governança sem mapas de qualidade.

Percebe-se a necessidade de políticas efetivas de atualização cadastral mediante a implementação de uma cultura cadastral que abranja a sociedade na sua totalidade.

Com relação à precisão estabelecida pelo Decreto nº 9.310 de 15 de março de 2018 de oito centímetros esféricos às áreas de conhecimento em cartografia têm questionado a exigência desta acurácia quanto ao dado de altimetria, sendo oito centímetros um nível de exigência difícil de se atingir com as técnicas atuais de levantamento GNSS ou as técnicas referentes à topografia tradicional.

REFERÊNCIAS

- [1] ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 14166/1998 - Rede de Referência Cadastral Municipal - Procedimento. Rio de Janeiro, 1998. 23p.
- [2] BRASIL. Decreto-lei nº 243, de 28 de fevereiro de 1967, cria o Sistema Cartográfico Nacional - SCN e a Comissão Nacional de Cartografia - CONCAR. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto-lei/1965-1988/Del0243.htm. Acesso em: setembro 2017.
- [3] _____. Decreto nº 89.817 de 20 de junho de 1984. Estabelece as Instruções Reguladoras das Normas Técnicas da Cartografia Nacional. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2005/decreto/d5334.htm. Acesso em: setembro 2017.
- [4] _____. Decreto nº 5.334 de 06 de janeiro de 2005. Dá nova redação ao art. 21 e revoga o art. 22 do Decreto no 89.817, de 20 de junho de 1984, que estabelece as Instruções Reguladoras das Normas Técnicas da Cartografia Nacional. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/1980-1989/d89817.htm. Acesso em: setembro de 2017.
- [5] _____. Decreto nº 6.666, de 27 de novembro de 2008. Institui, no âmbito do Poder Executivo federal, a Infra-Estrutura Nacional de Dados Espaciais - INDE, e dá outras providências. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2008/decreto/d6666.htm. Acesso em: Setembro de 2017.
- [6] _____. Resolução no. 1, de 30 de novembro de 2009. Homologa a Norma da Cartografia Nacional, que define o perfil de Metadados Geoespaciais do Brasil - MGB. Diário Oficial da União – Seção 1. Nº 229, terça-feira, 1 de dezembro de 2009. Disponível em: http://www.concar.gov.br/temp/112@Resolucao_1_2009_CONCAR_Metadados.pdf. Acesso em: setembro de 2017

- [7] _____. Decreto nº 9.310, de 15 de março de 2018. Regularização Fundiária Urbana. Diário Oficial da União. Brasília, DF, 16/03/2018. Disponível em: <<http://www2.camara.leg.br/legin/fed/decret/2018/decreto-9310-15-marco-2018-786319-publicacaooriginal-155038-pe.html>>. Acesso em 30 de março de 2018
- [8] CARNEIRO, Andrea Flávia Tenório; ERBA, Diego Alfonso; AUGUSTO, Eduardo Agostinho Arruda. Cadastro Multifinalitário 3D: conceitos e perspectivas de implantação no Brasil. Revista Brasileira de Cartografia, 2012. Disponível em: <https://www.ufpe.br/cadastragt/images/pdf/cadastrmulti.pdf>. Acesso em: maio 2016.
- [9] DSG - Diretoria do Serviço Geográfico. Norma para Especificação Técnica para Produtos de Conjunto de Dados Geoespaciais (ET-PCDG), 2ª edição. Brasil, 2016. Disponível em: http://www.geoportal.eb.mil.br/images/PDF/ET_PCDG_2016_2aEdicao_Aprovada_Publicada_BE_7_16.pdf. Acesso em: setembro 2017.
- [10] LOCH, Carlos e ERBA, Diego Afonso. Cadastro Técnico Multifinalitário Rural e Urbano. Cleveland, Lincoln Institut of Land Policy, USA, 2007.
- [11] INCRA - Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária. Norma Técnica para Georreferenciamento de Imóveis Rurais. 3ª edição. Brasília, 2013. 4p.
- [12] INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. Manual técnico de noções básicas de cartografia. Rio de Janeiro: Fundação IBGE, 1989.
- [13] ISO/TC211 – Standards Guide ISO/211 Geographic Information / Geomatics 2009-06-01. Disponível em: <https://trac.osgeo.org/geonetwork/raw-attachment/ticket/189/ISO%20TC%20211%20-%20Standards%20Guide.pdf>. Acesso em: maio 2016.
- [14] Sociedade Brasileira de Cartografia, Geodésia, Fotogrametria e Sensoriamento Remoto, Rio de Janeiro, Nov/2017 1096

Autores

ABIB ALEXANDRE DE ARAÚJO

Professor do Instituto Federal de Educação do Acre/IFAC. Ph.D. em Desenvolvimento Sustentável com Concentração em Desenvolvimento e Conservação Tropical pela Universidade da Florida - UF - Estados Unidos. Mestre em Extensão Rural com Especialização em Análise Econômica de Sistema de Produção Agrícola pela Universidade da Florida - UF - Estados Unidos. Bacharel em Engenharia Agrônoma pela Universidade Federal do Acre - UFAC - Brasil. Profissional com experiência nas áreas de Economia Rural, Extensão Rural, Gestão da Propriedade Rural, Recursos Naturais e Meio Ambiente.

ADAUTO LUIS MORAES PESTANA

Graduado em Geografia e pós graduado em Geoprocessamento Aplicado ao Planejamento Urbano e Rural. Atualmente é Analista Ambiental na Secretaria de Estado do Maranhão.

ADRIANO ANTONIO TRONCO

Engenheiro civil formado pela Universidade Estadual de Maringá (UEM). Especialista em Engenharia de Segurança do Trabalho pela UEM e em Georreferenciamento de Imóveis Urbanos e Rurais pela UEM. Mestrando em engenharia urbana pelo Programa de Pós-graduação em Engenharia Urbana (PEU).

AMANDA APARECIDA DE LIMA

Graduada no curso de Engenharia Florestal pela Faculdade de Ciências Sociais e Agrárias de Itapeva - FAIT, mestra em Agronomia (Energia na Agricultura) com atuação nas áreas das Geotecnologias aplicadas no planejamento da paisagem, e atualmente cursa Doutorado em Agronomia (Energia na Agricultura) pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, com a estimativa de biomassa em floresta de pinus por sensoriamento remoto.

ANA CLARA DE BARROS

Graduada no curso de Agronomia pela Faculdade de Ciências Sociais e Agrárias de Itapeva - FAIT, em 2014. Tem experiência na área de Agronomia, com ênfase em Cultivo do Milho e também, em Licenciamento Ambiental e Planejamento e Gestão dos Recursos Hídricos, além de conhecimentos em Geotecnologias. Mestra em Agronomia pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho em 2017. Atualmente, cursa Doutorado na UNESP/FCA.

ANA CLAUDIA DA ROCHA

Geóloga formada pela Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Possui iniciação científica realizada no Instituto de Estudo Avançados (IEAv): Desenvolvimento de atividades práticas em sensoriamento remoto. Atuou como monitora das matérias de Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento na UFRuralRJ. Aprovada para cursar mestrado na universidade Estatal de São Petersburgo (SPBU) no ano de 2020. Áreas de interesse: Geoprocessamento e sensoriamento remoto aplicados à geologia.

ANA RAQUEL DE MACÊDO LEITE

Aluna e pesquisadora do ensino superior. Graduanda em Bacharelado em Arquitetura e Urbanismo pela Faculdade Paraíso do Ceará (2015). Técnica em Edificações pelo Instituto Federal do Ceará (2011-2015). É membro no Grupo de Pesquisa e Extensão em Sistema de Informação Geográfica - GISFAP (2017), desenvolvendo a pesquisa: Sensoriamento remoto aplicado à análise das ilhas de calor em cidades médias do semiárido brasileiro - Estudo de caso em Barbalha, CE. Atualmente é técnica de geoprocessamento, desempenhando a função de gerente, na realização do Cadastro Multifinalitário de Barbalha, CE.

ANDREA SOUSA FONTES

Possui graduação em Engenharia Civil pela Universidade Federal da Bahia (1995), doutorado em Geofísica pela Universidade Federal da Bahia (2008), mestrado em Engenharia Ambiental Urbana pela Universidade Federal da Bahia (2005) e Especialização em Gerenciamento de Recursos Hídricos pela Universidade Federal da Bahia (2003). Atualmente é Professora Associada da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia - UFRB, professora do Mestrado em Meio Ambiente, Água e Saneamento da UFBA, pesquisadora do Grupo de Recursos Hídricos da Escola Politécnica da UFBA e do Núcleo de Pesquisa em Engenharia Sanitária e Ambiental da UFRB. Atua na área de Engenharia com ênfase em Hidrologia, Modelagem de sistemas hídricos, Gestão e Planejamento de Recursos Hídricos e vazão ambiental

ARICSON GARCIA LOPES

Bacharel em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal de Rondônia, especialista em Engenharia de Segurança do Trabalho pela Faculdade Santo André. Participação em Projetos de Iniciação Científica com ênfase em Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto. Atualmente é mestrando em Engenharia Civil e Ambiental no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental (PPGECAM); Área de concentração Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, pela Universidade Federal da Paraíba, campus de João Pessoa.

BIANCA FERRAZ

Arquiteta e Urbanista formada pela Universidade Estadual de Maringá (UEM). Mestranda no programa de pós-graduação em engenharia urbana (PEU/UEM)

BIANCA SCHLICKMANN FELISBINO

Graduanda de Engenharia Civil de Infraestrutura, na Universidade Federal de Santa Catarina. Presente na equipe de organização do III e IV Congresso Nacional das Engenharias da Mobilidade, como diretora comercial. Ex-bolsista e vice-líder do Programa Educacional Tutorial (PET) na UFSC Joinville. Experiência na área da construção civil, em edifícios residenciais e comerciais.

BRENO BARRA

Possui graduação em Engenharia Civil pela Universidade da Amazônia (2001). É Mestre (2005) e Doutor (2009) em Engenharia Civil na área de concentração Infra-Estrutura e Gerência Viária pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Executou Pós-Doutorado no Laboratoire Central des Ponts et Chaussées (LCPC) atual Institut Français des Sciences et Technologies des Transports, de l'Aménagement et des Réseaux (IFSTTAR), em Nantes (França) (2009-2010), e no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (PPGEC) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) (2010-2011). Foi Professor Adjunto I 40h DE da Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC), no curso de Engenharia Civil, Campus de Joinville (2011). Exerceu a função de Subcoordenador (2015) e Coordenador (2016-2018) do Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciências Mecânicas (Pós-ECM) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), no Centro Tecnológico de Joinville (CTJ), Campus de Joinville, onde atualmente é Professor Adjunto IV 40h DE e Supervisor do Laboratório de Desenvolvimento e Tecnologia em Pavimentação (LDTPav) desde 2014. É membro-líder do Grupo de Desenvolvimento e Pesquisa em Pavimentação (GDPPav) registrado no Diretório de Grupos de Pesquisa do CNPq. Tem experiência na área de Engenharia Civil, com ênfase em Infra-Estrutura de Transportes, atuando principalmente nos seguintes temas: modelização e dimensionamento de estruturas de pavimentos, formulação de misturas asfálticas, desempenho mecânico e reológico de misturas asfálticas e materiais utilizados na pavimentação.

BRUNO SARKIS VIDAL

Graduando em Bacharelado em Geografia pela Universidade Federal do Amazonas (UFAM), Técnico de Manutenção e Suporte em Informática pelo Centro de Educação Tecnológica do Amazonas (CETAM). É pesquisador bolsista do Programa Institucional de Bolsas de Iniciação

Científica (PIBIC), fomentado pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq). É membro do Laboratório de Hidrogeografia, Climatologia e Análise Ambiental da Amazônia (HIDROGEO) da UFAM, também é membro do Grupo de Pesquisa Geografia Física da Amazônia, vinculado com a linha de pesquisa: Geotecnologias na Geografia Física.

CAIO COUTINHO COLA

Licenciado em Geografia pela Universidade Federal do Espírito Santo (Ufes), técnico em Geoprocessamento pelo Instituto Federal do Espírito Santo (Ifes), graduando em Geografia bacharel na Universidade Federal do Espírito Santo (Ufes). Áreas de preferências acadêmicas: Geografia urbana, Geografia econômica e Geotecnologias.

CARLOS LOCH

Possui graduação em Engenharia de Agrimensura pela Universidade do Extremo Sul Catarinense (1979), mestrado em Ciências Geodésicas pela Universidade Federal do Paraná (1982) e doutorado em Engenharia Florestal pela Universidade Federal do Paraná (1988). É professor aposentado da Universidade Federal de Santa Catarina (1982-2018). Atua na área de Engenharia Civil, com ênfase em Cadastro Técnico Multifinalitário e Gestão Territorial. Atualmente é revisor de periódicos, tais como: Revista Brasileira de Cartografia, Revista Árvore, Ciência rural, Ciência do Solo e membro titular da comissão de cadastro e gestão territorial da Sociedade Brasileira de Cartografia.

DÁRIA MARIA CARDOSO NASCIMENTO

Possui graduação em Geografia (Licenciatura/bacharelado) pela Universidade Federal da Bahia/UFBA, mestrado em Geociências/Geomorfologia (1983) e doutorado em Geologia Costeira UFBA (2007). Fez especialização em Cartografia Avançada na Cartographic School, no Inter American Geodetic Survey (IAGS) Defense Mapping Agency (DMA), na Zona do Canal-Panamá. Atualmente é professora Associado II do Departamento de Geografia; Coordenadora dos Cursos de Graduação em Geografia Licenciatura e Bacharelado (abril/2012 - jan/2016) Diurno e Noturno e participa do Programa de Pós-Graduação em Geografia, Instituto de Geociências - UFBA. É líder do Grupo de Pesquisa Cartografia Aplicada a Estudos Ambientais e de Ensino, desenvolvendo projetos e orientação de alunos no Laboratório de Cartografia - LACAR. Tem experiência na área de Geociências, com ênfase em Cartografia temática, uso da terra, meio ambiente, ensino da geografia, e em projeto de pesquisa e extensão na bacia do rio Subaé; atualmente coordena o projeto do Atlas do município de Santo Amaro/BA. Com outros autores elaborou o Atlas Escolar da Bahia (1a e 2a ed. 2004); e dos livros didáticos Geografia da Bahia e História da Bahia (2011) destinados ao ensino fundamental, editados pela Editora Grafset. É membro da Comissão Estadual de Cartografia e de Geoinformação/BA (CECAR), Coordenadora Estadual/BA da Sociedade Brasileira de Cartografia (SBC) (2014 - atual).

DOMINGOS GARRONE NETO

Biólogo, com pós-doutorado em zoologia, é professor da Universidade Estadual Paulista - UNESP. Desenvolve pesquisas, ações de extensão e trabalhos de divulgação científica dedicados a conservação de peixes neotropicais e dos seus ecossistemas.

EDILEUZA DE MELO NOGUEIRA

Doutora em Clima e Ambiente, área de concentração em Interações Clima-Biosfera da Amazônia pelo Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia/Universidade do Estado do Amazonas. Analista em Ciência e Tecnologia do Censipam/MD.

FABIANA TELES DE SOUZA

Graduanda em Bacharelado em Arquitetura e Urbanismo pela Faculdade Paraíso do Ceará (2015). Membro no Grupo de Pesquisa e Extensão em Sistema de Informação Geográfica - GISFAP (2018), desenvolvendo trabalhos na linha de pesquisa sobre Sistema de Informações Geográficas aplicado ao Patrimônio Material e Imaterial.

FABIANO DA CRUZ NOGUEIRA

Possui graduação em Engenharia Cartográfica pela UNESP (2002), mestrado em Engenharia da Mecânica/ Materiais e desenvolvimentos de novos materiais pela UNESP (2006) e especialista em engenharia de Segurança e Saúde do Trabalho, pela UNINOVE (2009). Atuou na área privada em coordenação de projetos nas áreas de geomática, geoinformação, aerolevantamentos, planejamento de oleodutos e gasodutos e base para planejamentos de análises ambientais. No âmbito acadêmico, como professor da FATEC-SP, atuou no desenvolvimento de pesquisas, elaboração e aplicação didática na área de engenharia de aerolevantamento, detecção automática de feições, cartografia, sensoriamento remoto e navegação autônoma de RPAS. Atualmente é Oficial Pesquisador, na Força Aérea Brasileira-FAB, alocado no DCTA-Departamento de Ciência e Tecnologia / IEAv-Instituto de Estudos Avançados.

FÁBIO FERREIRA DA SILVA

Bacharel em Geografia pela Universidade Federal do Acre - UFAC.

FABRICIA BENDA DE OLIVEIRA

Possui graduação em Engenharia de Agrimensura, pela Universidade Federal de Viçosa (2005), Mestrado em Engenharia Civil - Geotecnia, pela Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (2008), Doutorado em Produção Vegetal - Recursos Hídricos e Geoprocessamento, pela Universidade Federal do Espírito Santo (2014). É professora no Departamento de Geologia da Universidade Federal do Espírito Santo desde 2009. Atua como Professora Permanente e orientadora no Programa de Pós-graduação em Gestão Pública da Universidade Federal do Espírito Santo. Atua principalmente nos temas: Geoprocessamento, Geotecnologias, GPS, Cartografia, Geoestatística, Lógica Fuzzy e Análise Multicritério.

FABRÍCIO SOUSA DA SILVA

Fabrício Sousa da Silva é Licenciado e Bacharelado em Geografia pela Universidade Federal do Maranhão e possui mestrado em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais pelo Instituto de Geociências da Universidade Federal de Minas Gerais. Atualmente é servidor de carreira na Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Recursos Naturais do Maranhão onde exerce o cargo de Analista Ambiental de Geoprocessamento. É ainda Professor da Faculdade Pitágoras Campus Turú, onde ministra as disciplinas de Cartografia, Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento

FERNANDO PELLON DE MIRANDA

Possui graduação em Geologia pela Universidade Federal do Rio de Janeiro-UFRJ (1978), mestrado em Sensoriamento Remoto e Aplicações em Geologia pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais-INPE (1984) e doutorado em Geofísica pela University of Nevada-Reno (1990). Atualmente é Consultor Sênior da PETROBRAS/CENPES e professor colaborador do Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia-COPPE. Tem experiência na área de Geociências, com ênfase em Sensoriamento Remoto, atuando principalmente nos seguintes temas: radar de abertura sintética, petróleo, exploração, produção, exsudação, Golfo do México, bacias costeiras, Pré-sal, Amazônia, meio ambiente, neotectônica.

FERNANDO RAMOS MARTINS

Docente da Universidade Federal de São Paulo, Doutor em Geofísica Espacial (INPE) e Pesquisador CNPq nível 2. Suas atividades estão focadas em Modelagem numérica aplicada em áreas interdisciplinares envolvendo recursos renováveis, mudanças climáticas, sensoriamento remoto.

FRANCISCO JOSÉ LOPES DE LIMA

Doutor em Meteorologia (INPE) e possui experiência profissional em Modelagem Atmosférica, levantamento de recursos energéticos renováveis com ênfase em modelagem computacional, física, meteorologia dinâmica.

GIL MÁRCIO AVELINO SILVA

Graduado em Ciência da Computação pela Universidade Federal Fluminense em 2001. Mestrado pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (COPPE – Engenharia Elétrica), em fevereiro de 2005. Doutorado pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (COPPE – Engenharia Civil), em outubro de 2013. Trabalha no Centro de Pesquisas e Desenvolvimento Leopoldo A. Miguez de Mello (CENPES), Petrobras, na Gerência de Geoquímica. Participação na publicação e apresentação de artigos em Simpósios, Congressos e Conferências nacionais e internacionais para a comunidade científica. Atuação no desenvolvimento de tecnologia de fractais dinâmicos e diagrama de espaços de estados defasados para identificação de alvos e caracterização de manchas de óleo no mar utilizando imagens SAR, emprego da assinatura fractal dinâmica no estudo de padrões característicos de porosidade e permeabilidade de reservatórios do pré-sal.

GILBERTO CUGLER

Tem formação em aerofotogrametria com conclusão no ano de 1974 e matemática em 1979. Iniciou os conhecimentos em geoprocessamento com SPRING através dos cursos oferecidos pelo INPE. Esteve como diretor regional de planejamento no Vale do Ribeira pela secretaria de planejamento do governo do estado de São Paulo por um período de pouco mais de 8 anos, período que iniciou-se a organização dos comitês de Bacias Hidrográficas. Teve atuação em vários projetos relacionados a planos municipais de defesa civil, onde se aprofundou no uso de Sistema de Informação Geográfica denominado gvSIG, software desenvolvido pelo governo de Valência-Espanha, sendo atualmente uns dos coordenadores da comunidade brasileira deste software.

GUSTAVO FLUMINENSE CARNEIRO

Possui graduação (2009) e mestrado (2019) em Engenharia Cartográfica pelo Instituto Militar de Engenharia. Atualmente é Maj QEM Cartografia - 5º Centro de Geoinformação. Tem experiência na área de Geociências, com ênfase em Engenharia Cartográfica (Sensoriamento Remoto).

HELENA NIERWINSKI

Possui doutorado em Engenharia Civil, com ênfase em Geotecnia, pela Universidade do Rio Grande do Sul (2019), mestrado em Engenharia Civil, com ênfase em Geotecnia, pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (2013) e graduação em Engenharia Civil pela Universidade do Estado de Santa Catarina (2010). Atualmente atua como professora do quadro efetivo da Universidade Federal de Santa Catarina, junto ao curso de Engenharia Civil de Infraestrutura, Departamento de Engenharia de Mobilidade. Possui experiência na área de Engenharia Geotécnica, Investigação geotécnica e atuação acadêmica na área de Mecânica dos Solos, Obras de terra e fundações.

HELENICE FERREIRA FILGUEIRAS

Graduanda em Engenharia Civil pela Faculdade Paraíso do Ceará (FAP/CE). Atualmente extensionista do projeto intitulado "Cadastramento Multifinalitário do Município de Barbalha" e integrante do grupo de pesquisa "GISFAP".

HERMANN JOHANN HEINRICH KUX

Possui graduação em Geografia pela Universidade de São Paulo (1970) e doutorado em Geologia - Universität Freiburg (1976). Atualmente é pesquisador titular iii do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Tem experiência na área de Geociências, com ênfase em Sensoriamento Remoto, atuando principalmente nos seguintes temas: sensoriamento remoto, classificação orientada a objeto, uso da terra, radar de abertura sintética (sar) e planejamento urbano. A partir de 2016, avaliação de câmeras operando no infravermelho termal embarcadas em drones, para estudos ambientais.

IANN GOMES RODRIGUES DA FONSECA

Mestre em Informações Espaciais pelo programa de Pós-Graduação do Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Viçosa (PPG/DEC/UFV). Graduado (2016) em Engenharia de Agrimensura e Cartográfica pela Universidade Federal de Viçosa. Atuação em áreas como: Cadastro Técnico Multifinalitário (CTM), Cartografia, Sistema de Informação Geográfica, Geoprocessamento e Geodésia. Atuou (2014) no CTM do município de Guanhães - Minas Gerais; em 2015 na elaboração da base cartográfica do município de Viçosa para o Plano Diretor; e, em 2015 - 2017 no CTM do município de Barão de Cocais - Minas Gerais. Atualmente realiza estudos na área de controle de qualidade cartográfica, desenvolvendo metodologias para avaliação da acurácia tridimensional através de feições lineares.

ISABEL MARQUES DA CRUZ COSTA

Possui graduação em Engenharia Cartográfica pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro (2013), pós-graduação em Geoprocessamento pela Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais (2016) e mestrado em ciências do Meio Ambiente pela Universidade Veiga de Almeida (2019). Atualmente é Adjunta da Companhia de Produção do 5º Centro de Geoinformação subordinado a Diretoria de Serviço Geográfico. Atuando principalmente nos seguintes temas: Aquisição, Validação e Edição de Dados Geospaciais.

JOANDSON FERNANDES CAMPOS

Gestor Ambiental formado pelo Instituto Federal do Pará. Mestre em Engenharia Urbana pela Universidade Estadual de Maringá/PR. Doutorando em Engenharia Urbana pela Universidade Federal de São Carlos. Pesquisador nas áreas de Saneamento, Sustentabilidade Urbana, Gestão Integrada de Resíduos Sólidos e Gestão Ambiental. Como Gestor, atuou nas áreas de Operação de Aterros Sanitários, Elaboração de PGIRS, Cooperação em Rede e uso de SIG para Estudos Ambientais.

JOÃO CÂNDIDO ANDRÉ DA SILVA NETO

Atualmente é professor Adjunto do Departamento de Geografia e Programa de pós-graduação em Geografia da Universidade Federal do Amazonas, coordenador do Laboratório de Hidrogeografia, Climatologia e Análise Ambiental da Amazônia ? HidroGeo. Atua como gerente da Revista Geonorte UFAM. Possui graduação em Geografia pela UFMS/CPAQ (2005), Mestrado em Geografia pela Universidade Federal de Mato Grosso do Sul CPAQ (2008) e Doutorado em Geografia pela Universidade Estadual Paulista (UNESP), Campus de Presidente Prudente (2013). Tem experiência na área de Geografia Física, com ênfase em Biogeografia, Geomorfologia, Cartografia, Sistemas de Informações Geográficas, Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento.

JOÃO FELIPE AGUIAR GUIMARÃES

Possui graduação em Engenharia Cartográfica pelo Instituto Militar de Engenharia (2016). Atualmente é Adjunto da Companhia de Produção do 5º Centro de Geoinformação subordinado a Diretoria de Serviço Geográfico. Atuando principalmente nos seguintes temas: Aquisição, Validação e Edição de Dados Geospaciais.

JORGE DE ALBUQUERQUE VIEIRA

Possui graduação em Engenharia de Telecomunicações pela Universidade Federal Fluminense (1969), mestrado em Engenharia Nuclear pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (1975) e doutorado em Comunicação e Semiótica pela Pontifícia Universidade Católica de São Paulo (1994). Atualmente é professor assistente doutor da Faculdade de Dança Angel Viana. Tem experiência na área de Filosofia, com ênfase em Metafísica, atuando principalmente nos seguintes temas: complexidade, semiótica, arte, ciência e astronomia.

JOSÉ RENATO SILVA FOICINHA

Bacharel em Geografia pela Universidade Federal do Maranhão e possui especialização em Geoprocessamento pela Universidade Gama Filho. Atualmente é servidor de carreira na Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Recursos Naturais do Maranhão onde exerce o cargo de Analista Ambiental.

JOSIANE DE BRITO GOMES

Graduada em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal de Rondônia, especialista em Gestão, Auditoria e Perícia Ambiental pela Faculdade Santo André e mestra em Engenharia Civil, na área de concentração Meio Ambiente, pela Universidade Federal do Rio de Janeiro. Atualmente é professora do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Mato Grosso, campus Juína, onde desenvolve estudos na área de educação ambiental, gestão de resíduos e avaliação da qualidade de águas superficiais e subterrâneas.

JULIO ALMEIDA MOREIRA

Graduado em Geologia pela Universidade Federal do Espírito Santo (2018). É analista de hidrogeologia na MDGEO Serviços de Hidrogeologia. Possui experiência nos temas: Hidrogeologia, Geologia Ambiental e Geoprocessamento.

JÚLIO CÉSAR DE OLIVEIRA

Possui graduação em Engenharia de Agrimensura pela Universidade Federal de Viçosa (2000) e mestrado e doutorado em Sensoriamento Remoto pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (2014). Atualmente é professor Adjunto da Universidade Federal de Viçosa. Tem experiência na área de Geociências, com ênfase em Sensoriamento Remoto, atuando principalmente nos seguintes temas: sensoriamento remoto, SIG, mapeamento terrestre

KARLA DA SILVA ROCHA

Professora Associada da Universidade Federal do Acre. PhD em Ecologia Interdisciplinar, com concentração em Sensoriamento Remoto e Sistema de Informação Geográfica pela Universidade da Florida. Mestre em Geografia, com concentração em Desenvolvimento e Conservação Tropical pela Universidade da Florida. Graduada em Engenharia Agrônoma pela Universidade Federal do Acre. Especialista em Geoprocessamento pela Universidade da Florida. Possui experiência na área de Geociências, com ênfase em Sensoriamento Remoto, Sistema de Informação Geográfica, Fotogrametria e Fotointerpretação, Cartografia. Atuado principalmente nas seguintes temáticas: Geotecnologias, Ecologia e Dinâmica de Paisagem, Mudanças de Cobertura da Terra e Monitoramento de Queimadas.

LAURA DE SOUZA MORAES DUETI

Bacharel em Ciências Econômicas pela Universidade Federal do Acre - UFAC. Técnica em Agrimensura formada pela Escola Técnica Federal de Goiás. Especialista em Geoprocessamento e Georreferenciamento pela Universidade Cândido Mendes. Atua no Laboratório de Geoprocessamento da Universidade Federal do Acre.

LUANA THAYZA DE OLIVEIRA

Mestre em Sensoriamento Remoto pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Graduada em Geografia pela Universidade Estadual de Londrina e Especialista em Geoprocessamento pela AVM Faculdade Integrada. Tem experiência na área de Geociências, com ênfase em Geoprocessamento, Sensoriamento Remoto e Processamento Digital de Imagens. Foi bolsista do Programa de Educação Tutorial (PET) e colaboradora do Laboratório de Arranjos Territoriais e Climatologia Geográfica (LATEC) da Universidade Estadual de Londrina de abril de 2011 a abril de 2013. Atualmente atua como Consultora Especialista em Sensoriamento Remoto na empresa Santiago & Cintra Consultoria em São Paulo, SP.

LUCAS JOSÉ FERREIRA VIANA

Assessor de Planejamento na Diretoria de Cartografia e Agrimensura do Instituto de Planejamento e Meio Ambiente do Município de Viçosa - MG e estudante de mestrado no Programa de Pós-Graduação Strictu Sensu em Engenharia Civil, área de concentração em Informações Espaciais, pela Universidade Federal de Viçosa - UFV. Possui graduação em Engenharia de Agrimensura e Cartográfica pela Universidade Federal de Viçosa - UFV (2017) e atuou como bolsista pelo Programa Ciência sem Fronteiras financiado pela CAPES, com Graduação Sanduíche na Rice University em Houston - TX, EUA, no período de agosto de 2014 a dezembro de 2015.

LUIZ FELIPE LEMPÊ

Graduado em Geologia pela Universidade Federal do Espírito Santo (2019), possui formação técnica em Meio Ambiente pela EEEFM Almirante Barroso (2013). Atualmente, é bolsista no Centro de Pesquisa, Inovação e Desenvolvimento Eliezer Batista da Silva (CPID), atuando com pesquisas relacionadas ao desenvolvimento à baixo custo de uma estação sísmica (EstSism). Atua principalmente nas áreas de Geofísica, Geotecnia e desenvolvimento de software para registro e análise de sinais sísmicos.

LUIZ FELIPE MOURA BASTOS BORGES

Licenciado e Bacharel em Geografia pela Universidade Federal da Bahia (2014) e Mestre no Programa de Pós Graduação em Geografia/UFBA (2018). Fez Especialização em Geotecnologias pela Escola de Agrimensura vinculada a Escola de Engenharia Eletro-mecânica da Bahia (EEEMBA). Doutorando em Geografia pelo Programa de Pós Graduação em Geografia (POSGEO/UFBA). Integrante do grupo de pesquisa (CNPq) Cartografia, análise espacial e ensino com geotecnologias, desenvolvendo pesquisa no Laboratório de Cartografia - LACAR. Possui interesse nas áreas de Geografia física, Cartografia e Geotecnologias, desenvolve pesquisa com ênfase em análise ambiental e integrada, uso da terra em relação ao meio ambiente e riscos ambientais.

MADJANY MODESTO PEREIRA

Graduando no 10º semestre em Engenharia Civil pela FAPCE, conclui o ensino médio em 2014. Membro do grupo de pesquisa e extensão em Sistema de Informação Geográficas - GISFAP (2017), desenvolvendo a pesquisa: Sistema de Informação Geográficas como ferramenta de subsídio a gestão pública no Brasil.

MARCELO HEIDEMANN

Professor no Centro Tecnológico de Joinville, da Universidade Federal de Santa Catarina, onde coordena o Curso de Engenharia Civil de Infraestrutura. Possui graduação em Engenharia Civil pela Universidade do Sul de Santa Catarina (2008), mestrado em Engenharia Civil com ênfase em Geotecnia pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (2011) e doutorado em Engenharia Civil com ênfase em Geotecnia pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (2015). Supervisiona o Laboratório de Mecânica dos Solos do CTJ. Tem experiência na área de Geotecnia, atuando

principalmente nos seguintes temas: comportamento de solos residuais, ensaios de laboratório e estabilidade de encostas e taludes.

MARCELO LUIZ CHICATI

Graduação em Agronomia pela Universidade Estadual de Maringá (2004), mestrado em Agronomia pela Universidade Estadual de Maringá (2007) e doutorado em Agronomia pela Universidade Estadual de Maringá (2011). Exerce atualmente o cargo de Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana da UEM (PEU/UEM). Tem experiência na área de Agronomia, com ênfase em Geoprocessamento, Topografia, Agricultura de Precisão e Sensoriamento Remoto atuando principalmente nos seguintes temas: sistema de informações geográficas, sensoriamento remoto, manejo e classificação de solos e cadastramento rural.

MARCOS DE BRITO GONÇALVES

Graduando no 8º semestre em Engenharia Civil pela FAPCE, concluí o ensino médio em 2015. Atuo como gerente de campo no estágio de Cadastro Multifinalitário de Barbalha - CE. Membro no Grupo de Pesquisa e Extensão em Sistema de Informação Geográfica - GISFAP (2017), desenvolvendo a pesquisa: Análise temporal das mudanças no uso do solo com base em dados multiespectrais: estudo de caso em barbalha - CE.

MARCOS LEANDRO ALVES NUNES

Graduado em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal de Rondônia, especialista em Gestão, Auditoria e Perícia Ambiental pela Faculdade Santo André e mestre em Engenharia Civil, na área de concentração Recursos Hídricos e Saneamento, pela Universidade Federal do Rio de Janeiro. Atualmente é professor da Faculdade Panamericana de Ji-Paraná (UNIIPA), onde desenvolve estudos na área de geoprocessamento e sensoriamento remoto

MARCOS MOULIM DA PASCHOA

Graduado em Geologia pela Universidade Federal do Espírito Santo (2019), possui formação técnica em Agropecuária pelo Instituto Federal do Espírito Santo (2013). Foi bolsista de Iniciação Científica e Tecnológica no Centro de Tecnologia Mineral - Núcleo Regional do Espírito Santo (CETEM-NRES), com o desenvolvimento de pesquisa relacionada ao tema de Economia Circular e aproveitamento de resíduos do setor de rochas ornamentais. Atua principalmente nas áreas de Cartografia Geológica, Sensoriamento Remoto, Riscos Geológicos e Geologia Ambiental.

MARIANA DE SÁ RODRIGUES DA SILVA

Doutoranda pelo Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Santa Catarina desenvolvendo metodologias de análise e controle da ocupação do solo urbano mediante o uso de imagens aéreas de alta resolução espacial. Possui mestrado (2012) pelo mesmo programa e graduação em Arquitetura e Urbanismo também pela Universidade Federal de Santa Catarina (2003). Foi professora de graduação em Arquitetura e Urbanismo do Centro Universitário Estácio de Santa Catarina, Centro Universitário Leonardo da Vinci e na Fundação Universidade Regional de Blumenau e professora do ensino técnico do SENAI, São José .

NICOLY DAL SANTO SVIERZOSKI

Engenheira Ambiental (UNIR), cursando Mestrado em Engenharia Civil no Programa de Engenharia Civil da COPPE na Universidade Federal do Rio de Janeiro. Desenvolvendo pesquisa na área de Tecnologia Ambiental com ênfase no tratamento biológico de efluentes, sob orientação de Claudio Fernando Mahler e João Paulo Bassin. Integrante do Laboratório de Poluição das Águas do Programa de Engenharia Química PEQ/COPPE/UFRJ.

OSMAR LEON SILIVI JUNIOR

Possui graduação em Engenharia Civil pela Universidade do Estado de Santa Catarina (1993) e mestrado em Gestão territorial pela Universidade Federal de Santa Catarina (2017). Atualmente é engenheiro da Unidade de Engenharia da Secretaria de Habitação de Joinville, responsável pela identificação e caracterização de núcleos urbanos informais no Município e; processos de regularização fundiária. Atuou como gerente de Geoprocessamento, Pesquisa, Informação, e Centro de Documentação no Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano de Joinville, desenvolvendo projetos correlacionados a Cartografia Digital e Mapeamento Temático, além da coleta, tabulação e análise de informações físico territoriais e socioeconômicas georreferenciadas do município de Joinville (2013-2016).

PIERRE MOURA

Possui graduação em Engenharia Cartográfica pelo Instituto Militar de Engenharia (1998) e mestrado em Sensoriamento Remoto pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (2005) . Atualmente é Chefe da Equipe Técnica do Projeto RAM da Diretoria de Serviço Geográfico e Gerente de Processamento de Dados da Diretoria de Serviço Geográfico. Atuando principalmente nos seguintes temas: SAR, modelos altimétricos, Interferometria.

RICARDO AUGUSTO EGER

Graduando em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Santa Catarina, onde foi monitor na disciplina de Topografia (2014-2016) e bolsista de iniciação científica (2016-2019) no laboratório de Fotogrametria, Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento. Neste participou de projeto de pesquisa no desenvolvimento de metodologias na geração de produtos cartográficos com imagens aéreas, com ênfase na operação de RPA (DJI Matrice 210 e DJI Phantom 4) para levantamentos cartográficos e processamento das imagens na elaboração de Ortofotomosaicos e Modelos Tri Dimensionais. Atualmente é estagiário na Secretaria de Mobilidade da Prefeitura de Florianópolis.

RONEY BERTI DE OLIVEIRA

Graduação em Agronomia (2004) e Mestrado em Agronomia pela Universidade Estadual de Maringá (2007). Doutorado pela Universidade Estadual de Maringá (2011). Atualmente é professor da Universidade Estadual de Maringá (UEM). Tem experiência nas seguintes áreas: Sensoriamento Remoto, Geoprocessamento, Topografia, Cartografia, Levantamento de solos, Manejo e Conservação do Solo, Agricultura de Precisão.

SÁVIO DE BRITO FONTENELE

Possui graduação em Engenharia de Produção Mecânica pela Universidade Regional do Cariri (2006), mestrado (2010) e doutorado (2015) em Engenharia Agrícola, área de concentração: manejo e conservação de água e solo no semiárido, pela Universidade Federal do Ceará - UFC. Atualmente é docente da Faculdade Paraíso do Ceará. Tem experiência na área de hidrologia, hidrogeologia, geoprocessamento, atuando principalmente nos seguintes temas: modelagem hidrológica, gestão de recursos hídricos e sistema de informações geográficas.

VILMAR ANTONIO RODRIGUES

Doutor em Agronomia Irrigação e Drenagem Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, UNESP, São Paulo, Botucatu: Professor Assistente Doutor , Carga horária: 40, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" - Campus de Registro desde 2008 até o presente; 44 Artigos publicados em periódicos, Capítulos de livros (1), SciELO (1)

VITOR DO SACRAMENTO

Geólogo com experiência nas áreas de geologia estrutural e tectônica, áreas de risco e hidrologia. Mestrando em Geoprocessamento e análise ambiental. Bolsista/Pesquisador DTI no SIPAM, em atividades de geoprocessamento e análise hidrológica.

WELLINGTON WINÍCIUS FERREIRA FONSECA

Bacharel em Ciência e Tecnologia do Mar pela Universidade Federal de São Paulo (2016). Mestrando do programa Energia do Instituto de Energia e Ambiente da Universidade de São Paulo (IEE-USP), atuando na área de Tecnologia da Energia. Nos últimos anos vem participando em atividades de pesquisa relacionadas a energias renováveis, sensoriamento remoto, modelagem numérica e machine learning.

WIMERSON SANCHES BAZAN

Engenheiro Cartógrafo e Mestre em Ciências Cartográficas pela Universidade Estadual Paulista (UNESP), Campus de Presidente Prudente. Participou de projetos acadêmicos na área de Geociências, com ênfase em Fotogrametria, mais especificamente nos seguintes temas: extração de feições pontuais e lineares com precisão subpixel (graduação) e calibração de câmaras digitais (mestrado). Possui 6 anos de experiência profissional nas áreas de Fotogrametria, Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento. Desde 2014 é professor efetivo EBTB da coordenadoria de Geomática do Ifes campus Vitória, tendo lecionado nas disciplinas: SIG, SR, Ajustamento de Observações, Fotogrametria e Geodésia. Lattes: <http://lattes.cnpq.br/9012702000791329>

YADER GUERRERO

Possui formação como Engenheiro Civil na Universidade Francisco de Paula Santander (Colômbia) no ano de 2001. É Mestre em Engenharia Civil na área de concentração de Infra-Estrutura e Gerência Viária pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Doutor na área de pavimentação na Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) focado no tema de asfaltos mornos. Possui experiência profissional em áreas como topografia, construção civil, desenho e projetos de redes hidráulicas e sanitárias e tem especialidade na área de pavimentação. Professor adjunto da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), campus Joinville, onde atualmente é professor coordenador do laboratório de topografia.

YOULIA KAMEI SAITO

Mestranda em Informações Espaciais pelo programa de Pós-Graduação do Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Viçosa (PPG/DEC/UFV). Possui graduação em Engenharia de Cartográfica e Agrimensura pela Universidade Federal de Viçosa (2017). Atuou como bolsista pelo Programa Ciência sem Fronteiras financiado pelo CNPq em Graduação Sanduíche na University of the West of England, em Bristol - Inglaterra de Junho de 2014 a Agosto de 2015. Realizou o curso "Management of farmlands, forests and wildlife habitat using GIS, GPS and Remote Sensing techniques" na Rakuno Gakuen University, Japão, como bolsista da JICA.

ZACARIAS XAVIER DE BARROS

Professor Titular, desde 1999, pela Faculdade de Ciências Agrônomicas da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (UNESP Botucatu SP). Atua principalmente nos seguintes temas: uso da terra, Sistemas de Informação Geográfica (SIG) na ocupação do solo e bacia hidrográfica; classes de declive; unidades de solo e relevo; amostras circulares teste análise multivariada; e restituição de fotografias aéreas.

Agência Brasileira do ISBN

ISBN 978-85-7042-198-2

9 788570 421982