TATIANE ASSIS VILELA MEIRELES
CLAUDIONOR RIBEIRO DA SILVA
FERNANDO LUIZ DE PAULA SANTIL
(ORGANIZADORES)

GEOTECNOLOGIAS APLICADAS AO MAPEAMENTO

1ª edição



PGE editora

CAPA

Estevão Pastori Garbin
Fotografia: Marilândia do Sul (PR) – Bruno Aurélio Camolezi

Editoração e revisão gráfica

Antônio de Oliveira
Estevão Pastori Garbin
Tatiana Mayumi Tamura

Conselho Editorial

Prof. Dr. Admilson Penha Pacheco (UFPE)
Prof. Dr. Ângelo Marcos Santos Oliveira (IFSulMinas)
Prof. Dr. Antônio Carlos Freire Sampaio (UFU)
Prof. Dr. João Vitor Meza Bravo (UFU)
Prof. Dr. Luiz Guimarães Barbosa (UFRRJ)
Prof. Dr. Nassau de Nogueira Nardez (UFU)

As ideias expressas nos textos, a correção gramatical e de normas técnicas, bem como a ocorrência de manipulação, fabricação, supressão e duplicação de dados e publicações sem consentimento, omissão de autores, plágios, ou quaisquer outras atitudes não éticas são de total responsabilidade dos respectivos autores.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da UFU, MG, Brasil.

G352a Geotecnologias aplicadas ao mapeamento [recurso eletrônico] / Tatiane Assis Vilela Meireles, Claudionor Ribeiro da Silva, Fernando Luiz de Paula Santil (organização). Monte Carmelo: PGE, 2017.

Disponível em: http://www.ppgmq.iciag.ufu.br/

Inclui bibliografia.
ISBN: 978-85-87884-38-1

1. Cartografia. 2. Sensoriamento Remoto. 3. Fotogrametria. I. Meireles, Tatiane Assis Vilela, (org.). II. Silva, Claudionor Ribeiro (org.). III. Santil, Fernando Luiz de Paula (org.). V. Universidade Federal de Uberlândia. Programa de Pós-Graduação em Geografia. VI. Título.

CDU: 528.9

AGRADECIMENTOS

Os organizadores deste livro agradecem ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Estadual de Maringá, mais especificamente ao coordenador e coordenador-adjunto desse programa, os professores doutores HÉLIO SILVEIRA e ELPÍDIO SERRA, respectivamente, pelo apoio nesse projeto.

Não obstante, externamos também os nossos sinceros agradecimentos à secretária desse programa, a Sra. Miriam de Carlo, que pacientemente nos auxiliou no preenchimento de formulários.

Os organizadores também agradecem aos docentes e discentes que colaboraram como autores e revisores, mesmo aqueles que infelizmente não puderam participar deste livro, em função do exíguo tempo para finalização dos artigos, os nossos sinceros agradecimentos.

APRESENTAÇÃO

Em setembro de 2017, os organizadores se reuniram para pensarem a respeito das produções realizadas nas instituições federais e estaduais de ensino, cujo foco fosse à formação profissional do engenheiro agrimensor e cartógrafo. Na ocasião, surgiu a ideia de solicitar aos docentes de dezenove instituições alguns materiais que pudessem compor um livro para expor de modo objetivo as ações envolvidas nessa profissão.

Infelizmente não foi possível obter material de todas essas instituições, seja pelo prazo exíguo na composição do artigo, seja por estar em fase inicial de trabalhos ou, ainda, desconhecimento de profissionais que atuam em todas elas. Desejamos contar para um próximo número com esses e outros profissionais de nossa área e correlata a ela.

Apesar desses fatos, foi possível reunir onze trabalhos que envolvem discentes, que é parte fundamental desse processo para divulgação e incentivo à produção de material que possam ser objeto de consultas, críticas e elogios. Além disso, são trabalhos que resultam de iniciativa individual e conduzida por ele ou orientada por docente na conclusão de seus trabalhos de final de curso.

Para facilitar essa leitura, optamos por dividir em quatro áreas: análise e tratamento de imagens; cadastro técnico, legislação e aplicações; mapeamento cartográfico e posicionamento por satélite.

No primeiro capítulo foram abordados temas tradicionais, como processamento de imagens de satélites orbitais e dados laser scanner, bem como temas emergentes, como o uso de veículos aéreos não-tripulados (VANT). As abordagens foram diversificadas em conteúdos e discussões, tais como: a

extração de feições em imagens integradas ao dado laser scanner; o uso de VANT em processos que permitem a reconstrução do patrimônio histórico, público ou não, bem como sua aplicação na agricultura de precisão; por fim, a análise da qualidade posicional de modelos digitais gerados a partir de imagens digitais, com base na legislação brasileira.

No segundo capítulo há a oportunidade de se observar a importância da legislação nos temas concernentes ao parcelamento do solo. A análise do Código Florestal, do Estatuto da Cidade e do Plano Diretor, por exemplo, possibilita a identificação de irregularidades na implantação de empreendimentos, como os loteamentos. Essas medidas legais são instrumentos direcionados às políticas públicas que permitem a gestão municipal promover e implantar, no âmbito do parcelamento, ações de caráter social mais "justas". Portanto, de um lado é mostrada a importância da ética profissional na execução do serviço e da responsabilidade do empreendedor e dos órgãos envolvidos com o empreendimento e, do outro lado, é apresentada a função social desse empreendimento. Pensando no aspecto legal e em ética profissional, o terceiro artigo desse capítulo assinala que o uso do VANT é um meio que poderá auxiliar o processo de geração de novos produtos. Apesar dos resultados promissores, o uso dessa nova ferramenta ainda carece de mais estudos para se tornar um instrumento efetivo nesse processo.

No terceiro capítulo são apontadas as preocupações que norteiam as discussões da linguagem cartográfica como elemento que perpassa pela integração homem-máquina, mais especificamente no processo de construção de interface, simbologia, entre outras variáveis que possibilitem o elo de ligação entre o sistema visuo-cognitivo do usuário. Não importa se há simplesmente o

uso analógico de uma carta topográfica, porque a dúvida continua: como esses estímulos são percebidos por nós e como os transformamos em conhecimento sobre um lugar, um fato ou algo associado ao interesse que cada indivíduo tenha desse objeto? Assim, o processo de ensino/aprendizagem e da formação profissional exigem responsabilidade dos docentes que tratam da "geoinformação espacial", no sentido no proporcionar um conhecimento sedimentado e uma formação sólida dos futuros profissionais, especialmente aqueles que exercerão o direito de promover quaisquer atividades correlacionadas com as geotecnologias. A diversidade da área exige o conhecimento em outros campos, como a semiótica, que pode consolidar esses estudos e talvez redirecionar para um novo futuro técnico-científico e profissional.

Na geotecnologia, a Geodésia tem ganhado papel de destaque, especialmente na agilidade que tem permitido à coleta precisa e acurada de informações posicionais, auxiliando nas demandas de mercado e no cumprimento das exigências legais. Nesse contexto, foi apresentado um artigo no quarto capítulo que aborda temas relacionados às técnicas de levantamento geodésico, atendo à norma de georreferenciamento.

Enfim, os organizadores entenderam que os textos selecionados são profícuos, por permitirem não somente o fortalecimento do tema, mas a sua ampliação e renovação em termos de tecnologias e particularidades das aplicações. Esse é o convite e o desafio propostos pelos organizadores a todas as comunidades que se valem das geotecnologias aplicadas ao mapeamento.

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 – ANÁLISE E TRATAMENTO DE IMAGENS DIGITAIS

Avaliação da acurácia posicional de feições lineares detectadas a partir da integração de foto aérea e dados LiDAR
Leticia Tondato Arantes, Claudionor Ribeiro da Silva e Admilson da Penha Pachêco..... 10

Modelagem tridimensional de monumentos históricos a partir de aerofotos usando drone
Mosar Faria Botelho e Matheus de Faria Souza 30

Drone fotogramétrico na agricultura de precisão: estudo de caso na identificação de falhas em culturas de milho
Mosar Faria Botelho e Jadson Maximiano da Silva 48

Uso da fórmula de Koppe para avaliação da acurácia posicional em MDS
Thaís Rodrigues de Oliveira, Afonso de Paula dos Santos, Nilcilene das Graças Medeiros e Julio Cesar Oliveira 66

CAPÍTULO 2 – CADASTRO TÉCNICO, LEGISLAÇÃO E APLICAÇÕES

A problemática de loteamentos irregulares – estudo de caso do loteamento José Batista Paixão no município de Abadia dos Dourados - MG
José Venâncio Marra Oliveira, Pedro Henrique Cortes de Castro e Fernando Luiz de Paula Santil 86

Modelagem de planta genérica de valores para a cidade de Monte Carmelo - MG
Dayanne Vieira de Oliveira e Claudionor Ribeiro da Silva..... 100

Mapeamento cadastral de postes em áreas rurais utilizando imagens obtidas com VANT
Jair Tayra, Paulo Hajime G. Arimori e Jorge Antônio Silva Centeno 119

CAPÍTULO 3 – MAPEAMENTO CARTOGRÁFICO

Aspectos da simbologia cartográfica 3D em dispositivos móveis com realidade aumentada
Marcio Augusto Reolon Schmidt e Edson Angoti Júnior 137

Análise semiótica sobre o processo de levantamento de dados da paisagem representada na carta topográfica
Estevão Pastori Garbin e Fernando Luiz de Paula Santil 155

Uso da estimativa de densidade Kernel na espacialização dos eventos de furto no perímetro urbano de Monte Carmelo - MG
Arthur Almeida Morais, Tatiane Assis Vilela Meireles e Claudionor Ribeiro da Silva 174

CAPÍTULO 4 – POSICIONAMENTO POR SATÉLITES

Estratégias de processamento de dados GNSS no contexto do georreferenciamento de imóveis rurais
Camila Barboza de Almeida, Vinicius Francisco Rofatto e Gabriel do Nascimento Guimarães 193

AVALIAÇÃO DA ACURÁCIA POSICIONAL DE FEIÇÕES LINEARES DETECTADAS A PARTIR DA INTEGRAÇÃO DE FOTO AÉREA E DADOS LIDAR

Leticia Tondato Arantes [1]
Claudionor Ribeiro da Silva [1]
Admilson da Penha Pachêco [2]

[1] Universidade Federal de Uberlândia, Campus Monte Carmelo/MG
[2] Universidade Federal do Pernambuco, Campus Recife/PE
{letondato@gmail.com, crs@ufu.br, pacheco3p@gmail.com}

RESUMO

As estações e subestações são estruturas de extrema importância dentro do contexto das linhas de transmissão de energia elétrica. A extração de feições lineares, como as bordas de construções, em imagens aéreas, é um desafio até os dias atuais. Este trabalho tem como objetivo avaliar a confiabilidade relativa de feições lineares/bordas de estruturas de subestações extraídas de fotos aéreas e da integração de fotos aéreas com dados LiDAR. Para isso, são segmentados e classificados, com o uso do *software* ENVI EX, dois conjuntos de dados. Os resultados foram analisados com base na discrepância média (qualidade geométrica) entre as feições lineares (bordas) e de referência (extraída manualmente), por meio da aplicação da técnica do *buffer duplo,* escalonando o produto final de acordo com o PEC-PCD (Padrão de Exatidão Cartográfica dos Produtos Cartográficos Digitais).

Palavras-chave: Foto aérea; Dados LIDAR; Extração de feições.

EVALUATION OF POSITIONAL ACURACY OF LINEAR FEATURE DETECTED FROM INTEGRATION OF PHOTOS AND LIDAR DATA

ABSTRACT

As stations and substations are extremely important structures within the context of electric power transmission lines. Extraction of linear features, such as building edges, into aerial imagery is a challenge to the present day. This work aims to evaluate reliability of linear features / edges of substation structures extracted from aerial photos and integration of aerial photos with LiDAR data. For this, two sets of data are segmented and classified using the ENVI EX software. The results were analyzed based on problem solving with PEC-PCD (geometric analysis). Cartographic Accuracy Standard of Digital Cartographic Products).

Keywords: Aerial photography; LIDAR Data; Extraction of features.

1. INTRODUÇÃO

O desenvolvimento econômico e social de um país tem relação com a expansão do setor elétrico, e como resultante a energia elétrica se torna um fator indispensável para a maioria das atividades humanas. A implantação de empreendimentos para as linhas de transmissão de energia elétrica acarreta grandes benefícios para toda a sociedade, porém são requeridas mensurações para construção, monitoramento e controle do empreendimento, em áreas ao longo de grandes extensões das linhas de transmissão e nas estações e subestações.

O panorama atual, na área da geotecnologia, permite realizar a coleta e o processamento de dados para posteriores análises, visando a solução de problemas em grande escala, com dados de alta resolução espacial e temporal (ROSA,2005). Proporcionando uma melhora nas análises espaciais no setor de energia, com relação as variáveis tempo e custo.

Apesar do desenvolvimento de novos sensores, com o aumento da resolução espacial, permitindo uma melhor discriminação de feições presentes na imagem, ainda tem presente o problema das informações

altimétricas, com fontes de dados menos preciso, requerendo novas tecnologias para suprir essa problemática. Uma tecnologia que surgiu para a obtenção de informação altimétrica precisa é o laser scanner, no qual permite uma coleta de dados representativos da superfície de interesse em grande escala, em um período de tempo curto, com uma altíssima resolução espacial (Centeno, 2001).

Os dados de Fotogrametria e de LiDAR (*Light Detection and Ranging*) possuem características distintas, tornando assim a necessidade do uso de uma metodologia ou outra preferencial para certas aplicações (HABIB et al. 2004). A tecnologia LiDAR fornece dados precisos de altimetria com uma melhor precisão quando comparado aos dados planimétricos, e no levantamento aerofotogramétrico com fotos, ocorre exatamente o contrário (Centeno, 2001).

Portanto, a integração entre ambas as técnicas, se mostra imprescindível, juntamente com as diversas metodologias de pré e pós-processamento, que evoluíram com o passar do tempo, e contribuiu com o aprimoramento da precisão e qualidade das informações extraídas desses produtos. Assim, as informações provenientes do levantamento fotogramétrico com fotos, buscam complementar os dados oriundos da varredura pelo sistema LiDAR, e vice-versa.

O processo de extração de feições presentes em uma cena/imagem é geralmente realizado por meio de técnicas do processamento digital de imagens (PDI), que envolve o processo de manipulação e a interpretação de imagens digitais. Dentre essas técnicas podem ser citadas a segmentação e classificação de imagens.

Santos et al. (2015) citam inúmeros trabalhos que utilizam métodos para a avaliação da acurácia posicional, utilizando feições lineares. Dentre eles o método do *Buffer Duplo*, este apresentou maior viabilidade aplicado a feições lineares quando associado ao padrão de acurácia do Decreto-lei 89.817, de 1984.

Após o processo de extração de feições, é necessário identificar qual a qualidade do produto final, e que se tenha indicadores de qualidade às observações. No Brasil, segundo Santos et al. (2015), a avalição da acurácia posicional planimétrica de um dado produto cartográfico leva em consideração o padrão descrito no Decreto-lei 89.817/84, o PEC-PCD, classificados nas classes A B, C e D.

Nesse contexto, o presente trabalho busca extrair informações lineares de edificações de estação e subestação de LTE e analisar a qualidade geométrica dessas linhas extraídas. Para isso, tanto as fotos aéreas quanto a integração das fotos com dados laser são segmentados e classificados e as bordas dos segmentos referentes às edificações da subestação LTE são extraídas e comparadas com bordas de referência, extraídas de forma manual. Essa comparação é realizada por meio da técnica do *buffer duplo* e o produto final é classificado de acordo com o PEC-PCD.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 SEGMENTAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DE IMAGENS

O uso das técnicas de processamento digital de imagens fornece ferramentas para facilitar a identificação e a extração de informações presentes na imagem e, posteriormente, realizar interpretações, cujo resultado será outra imagem com informações especificas, extraídas da imagem inicial (CRÓSTA, 1993).

A segmentação e a classificação constituem em um importante passo para a extração e identificação de feições na imagem, para posterior análise. Essas técnicas podem ser aplicadas em imagens digitais ou na integração da imagem com dados digitais de altimetria do terreno.

2.1.1 Método da segmentação orientada ao objeto

Segundo Moreira (2003), a segmentação de imagens é um procedimento realizado antes da classificação, no qual consiste em dividir a imagem em partes constituintes ou regiões homogêneas, ou seja, unir os pixels da imagem a partir das suas propriedades similares (forma, textura, área, parâmetros espectrais).

A informação necessária para a interpretação de uma imagem não está representada somente nos pixels individuais, mas na imagem significativa dos objetos e suas relações mútuas. A extração de objetos na imagem permite dissecar a imagem em regiões homogêneas e são,

portanto, um pré-requisito para a automação de sucesso para interpretação da imagem (ANTUNES; LINGNAU; SILVA, 2003)

Existem diferentes métodos de segmentação de imagens, e são comumente divididos em dois grandes grupos: pixel-a-pixel e orientado ao objeto. Na segmentação orientada ao objeto, a análise é realizada sobre as informações dos objetos (forma, textura, área, parâmetros espectrais) presentes na imagem (BERNADI et al., 2007).

2.1.2 Método da classificação de segmentos

O processo de segmentação de imagem tem por objetivo fragmentar a imagem em regiões "homogêneas" sobre as quais é realizado o processo de classificação. A classificação tem como objetivo classificar todos os pixels ou objetos presentes em uma imagem dentro de várias classes, de acordo com o interesse. Os dados classificados podem ser empregados para gerar mapas temáticos da área de interesse e, posteriormente, fornecer dados estatísticos da área.

Várias são as técnicas utilizadas para realizar a classificação das imagens segmentadas, tais como: o Mínima Distância, K-*Nearest Neighbor*e e o *Support Vector Machine* (SVM), que são comumente implementados em *softwares* de processamento digital de imagens.

2.2 EXTRAÇÃO DE FEIÇÕES LINEARES

O processo de extração de feições em imagens é uma técnica que busca identificar objetos específicos dentro de uma cena, usando informações prévias capazes de identificar essas feições.

Ishibashi e Poz (2009) expõem que, com os avanços tecnológicos nas áreas de Sensoriamento Remoto e Fotogrametria Digital, o processo de extração de feições em imagens aéreas vem despertando o interesse da comunidade científica nas últimas décadas.

2.3 PADRÕES DE EXATIDÃO CARTOGRÁFICA NO BRASIL

Para classificar os produtos cartográficos no Brasil, a avaliação da acurácia posicional planimétrica de um produto cartográfico utiliza-se o

padrão descrito no Decreto-lei 89.817, de 20 de junho de 1984. Esse Decreto-lei estabelece as Instruções Reguladoras das Normas Técnicas da Cartografia Brasileira por meio de padrões e procedimentos a serem adotados com relação a elaboração e apresentação de documentos cartográficos no Território Brasileiro, criando PEC-PCD, extraído da Especificação Técnica dos Produtos de Conjuntos de Dados Geoespaciais (ET-PCDG). Estabelecendo quatro classes para esse produto sendo: A, B, C e D (MONICO, 2009). A classificação com base no PEC-PCD funciona como um selo de qualidade da exatidão posicional, no qual a classe A é a melhor.

2.4 ANÁLISE DE ERRO EM FEIÇÃO LINEAR - BUFFER DUPLO

Santos et al. (2015) analisaram diferentes metodologias para a avaliação da acurácia posicional planimétrica usando feições lineares, dentre os métodos analisados, os autores mostram a viabilidade do método do *Buffer Duplo* para análise de feições lineares de acordo o PEC-PCD.

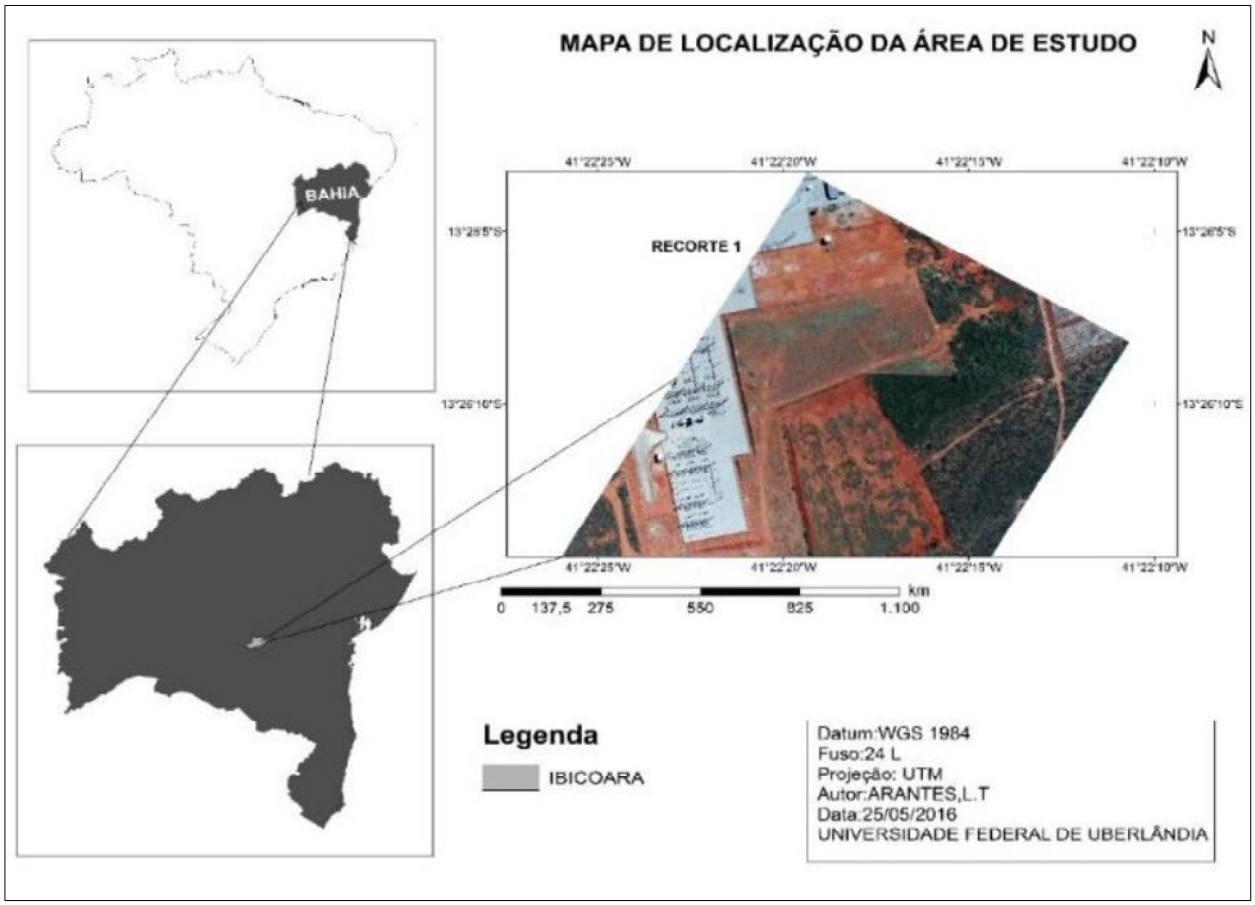
Segundo Santos et al. (2015), o método *Buffer Duplo,* também chamado de *Overy Statistics,* criado por Tveite e Langas (1999), é um aperfeiçoamento do método de *Buffer* Simples. Tal técnica consiste em aplicar tanto na linha de referência quanto na linha a ser testada o modelo da Banda do Erro.

3. MATERIAL E MÉTODO

3.1 ÁREA DE ESTUDO

A Figura 1 indica a área de estudo, que corresponde a região da subestação (Ibicoara/BA) da Linha de Transmissão de Energia Elétrica de Brumado/Ibicoara, e se estende por cerca de 46,81Km, além de pertencer à Companhia Hidroelétrica do Alto do São Francisco (CHESF). Essa linha está localizada na Mesorregião do Sul do Estado da Bahia, cortando os limites dos municípios: Brumado, Rio de Contas, Ituaçu, Barra da Estiva e Ibicoara.

FIGURA 1. Localização da área de trabalho. Fonte: Autor (2016).



3.2 MATERIAL UTILIZADO

Foi utilizado uma foto aérea (RGB) da área de interesse, mostrada na Figura 2, e os dados LiDAR referentes a mesma área. O Recorte possui tamanho de (7922x9386) pixels, possuindo uma resolução espacial de 0,10 m. A foto aérea foi adquirida já processada, sendo necessário realizar algumas correções em relação ao sistema de referência para WGS 84, que é compatível com o sistema geodésico Brasileiro, o Sirgas2000.

Com relação aos dados LiDAR , foram coletados com uma densidade de 15 pontos por m^2 e, em seguida, reamostrado por uma grade com a mesma resolução espacial da foto aérea, no caso de 0.10m de resolução. Esses dados foram coletados com um sensor Optech ALTM Pegasus HD500, calibrado para uma densidade de coleta de $15m^2$. Deve-se ressaltar que todo o material foi cedido pela Companhia Hidroelétrica do

São Francisco (CHESF), e o equipamento empregado para realizar o levantamento da área pertence à empresa Lactec/UFPR.

FIGURA 2. Recorte da área de trabalho. Fonte: Autor, 2016.



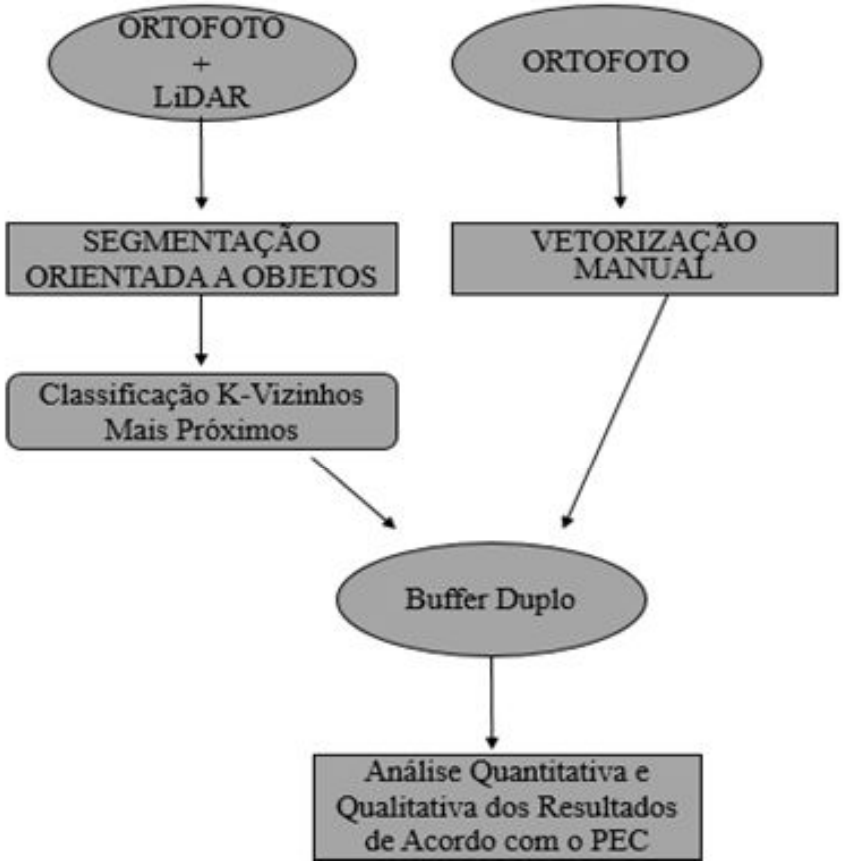
Pode-se mencionar ainda que a foto aérea utilizada tem: Largura da faixa imageada de 300m, com 8.403x9.458 (linha x coluna) pixels, representando uma área de 39,73hectares.

Foi utilizado o software de processamento digital de imagens ENVI EX, comercializados pela empresa SulSoft. Para a vetorização manual, geração de *buffer duplo* e criação do banco de dados para a análise da área de estudo, foi utilizado o *software* ArcMap 10.0, desenvolvido pela empresa *Environmental Systems Research Institute* (ESRI). Ambos os *softwares* disponíveis para o uso dos acadêmicos da Universidade Federal Uberlândia e instalados no laboratório de SIG-SIGEO, do curso de Engenharia de Agrimensura e Cartográfica.

3.3 MÉTODO

A proposta para extração e análise da exatidão de feições é apresentada na Figura 3.

FIGURA 3. Fluxo do método proposto. Fonte: Autor (2016).



O método é composto de três etapas: a primeira contempla a segmentação, seguida da classificação dos segmentos extraídos na segmentação, utilizando o classificador "k-vizinho mais próximo" e, por fim, a extração/vetorização das feições lineares, correspondentes às bordas/limites das feições existentes na subestação. Essa etapa é realizada nos dois conjuntos de dados: imagem individual e imagem integrada com dados LiDAR.

A segmentação orientada ao objeto foi realizado utilizando o algoritmo e segmentação implementado no software ENVI EX, com base em alguns parâmetros relacionados com os aspectos: tais como escala, nível de fusão e com relação aos aspectos dos objetos que seriam levados

em consideração no processo de segmentação: espectral (mínimo, médio máximo e desvio padrão); textura (conjunto, variância, média e entropia); e espacial (área, comprimento, compactação, convexidade, solidez, forma, alongamento, número de orifícios, entre outros). Tais atributos possuem as premissas que podem auxiliar na identificação dos objetos de interesse na área de estudo.

Na segunda etapa foi confeccionado, manualmente, um mapa temático com as feições lineares, correspondentes as edificações/construções da subestação em estudo, vetorizada sobre as mesmas imagens/fotos, por meio de uma análise visual.

A última etapa refere-se a análise e avaliação posicional da acurácia dos segmentos detectados, como feições lineares, comparado com o mapa de referência, criado de forma manual, utilizando o método chamado de *Buffer Overlay Statistics*. E, por fim, a classificação do produto gerado de acordo PEC-PCD.

Foi utilizado o *software* ArcMap para aplicar o método Buffer Duplo, sendo necessário seguir algumas etapas. Com os arquivos em formato *shape*, inicia-se a criação dos *buffers* ("*Geoprocessing*", e " *Input freatures*"), definindo sua largura ("Linear Unit") com base na tolerância do PEC-PCD. Nesse estudo, foi considerado as escalas cadastrais de 1:1.000, 1:2.000, 1:5.000 e 1:10.000.

Para a análise dos dados foi calculado a discrepância média (dm), para cada linha teste (Equação 1) e, a partir do dm, determinou-se o PEC-PCD e o RMS (raiz do erro médio quadrático). Segundo Atkison e Ariza (2002), o valor da discrepância (dm) pode ser obtido multiplicando-se o valor de Pi (π) pela largura do buffer (x) e pelo somatório da área do buffer da linha utilizada como referência que não tenha intersecção com o buffer da linha de referência, não se faz a intersecção com o *buffer* da linha teste (A_F) dividido pelo valor da área que é formada pelo buffer da linha teste (A_T).

$$dmi = \pi . x . \frac{(\sum AF)i}{ATi} \qquad (1)$$

A partir dos valores das discrepâncias obtidas foi analisado se pelo menos 90% das linhas testadas apresentavam discrepância média (dm)

inferior ou igual ao valor do PEC-PCD, e ainda, se o RMS (Equação 2) das discrepâncias dm é menor ou igual ao valor do PEC-PCD, para classificação do produto final.

$$RMS_d = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(dmi)^2}{n}} \quad (2)$$

O RMS é um cálculo estatístico que mede a magnitude do erro, sendo d_{mi} a discrepância média e n o número de segmentos analisados.

3.3.1 Avaliação dos Resultados da Classificação

Os resultados provenientes da classificação dos segmentos, foram analisados com base no índice kappa (equação 3). Esse índice é utilizado para a verificação global de concordância entre as amostras de referência das classes escolhidas e os resultados dos classificadores.

$$k = \frac{N.\sum X_{ii} - \sum X_i + X_{+i}}{N^2 - \sum X_i + X_{+i}} \quad (3)$$

onde: X_{ii} é a concordância encontrada na diagonal da matriz confusão, na posição i; X_{i+} e X_{+i} são a soma da coluna e linha i da matriz confusão; respectivamente; e, juntos, são a concordância esperada; onde o N é o total de *pixels* observados.

Landis e Koch (1977) propuseram os intervalores com os respectivos valores do kappa, que foram usados neste trabalho e estão indicados da tabela na Tabela 1.

TABELA 1. Valores de concordância

Índice Kappa (k)	**Concordância**
0,00	Pobre
0,00 a 0,20	Ligeira
0,20 a 0,40	Considerável
0,40 a 0,60	Moderada
0,60 a 0,80	Substancial
0,80 a 1,00	Excelente

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para a determinação da discrepância média (qualidade geométrica) entre as feições lineares (bordas/limites) detectadas e de referência (extraída manualmente), foi utilizado dados LiDAR e foto aérea da mesma aérea de estudo. Desta forma, foi empregado método *Overlay Statistics*, conhecido também como *Buffer* Duplo para a classificação de acordo com o Padrão de Exatidão Cartográfica para Produtos Cartográficos Digitais (PEC-PCD).

4.1 CLASSIFICAÇÃO DOS SEGMENTOS UTILIZANDO FOTOS E DADOS LIDAR

Neste tópico foi realizado processo de classificação dos segmentos, no qual foram coletadas as seguintes amostras: "Estação de Energia Elétrica" e "Outros". Ressalta-se que foram coletadas inúmeras amostras, com centenas de *pixels* cada uma, tanto para o treinamento quanto para a análise de acordo com o índice Kappa.

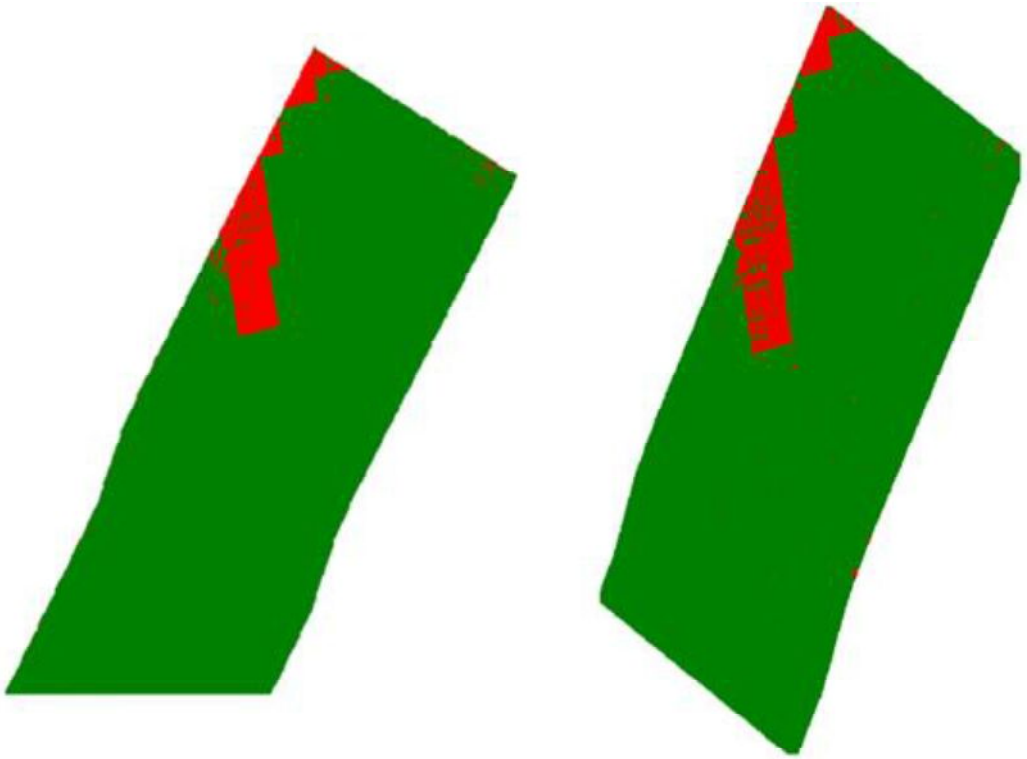
Foram realizados dois testes no Recorte 1 (Figura 4a), o primeiro teste foi realizado somente com foto aérea o processo de segmentação e, posteriormente a classificação dos segmentos, utilizando o classificador vizinho mais próximo. O segundo foi realizado a segmentação e classificação dos segmentos da foto aérea integrada com os dados LiDAR. Para a análise, o Recorte 2 (Figura 4b) se refere a cena com o Laser e, o Recorte 1, sem os dados LiDAR.

Os resultados obtidos a partir dos recortes 1 e 2, apresentam para o índice Kappa os valores de 0,9734 e 0,9969, respectivamente. Observando a Tabela 2 pode-se afirmar que a segmentação foi "excelente". Comparando os resultados obtidos, nota-se que os valores obtidos se encontram próximos com modesta superioridade quando integrado com as fotos aéreas com os dados LiDAR.

Comparando as classificações, mas com a integração ou não dos dados LiDAR, pode-se, constatar a partir do índice Kappa, que o uso dos dados LiDAR aumenta a eficiência da classificação dos segmentos. Com a utilização dos dados LiDAR as bordas/limites da edificação são

delimitadas com uma maior exatidão, isso se deve ao fato das edificações serem influenciadas pelos dados altimétricos.

FIGURA 4. Classificação com KNN: (a) imagem simples (Recorte 1) e (b) imagem com Dados LiDAR (Recorte 2). Fonte: Autor (2016).



(a) (b)

4.2 APLICAÇÃO DO MÉTODO BUFFER DUPLO EM DADOS LIDAR E FOTO

A aplicação do *Buffer Duplo* depende da tolerância do PEC-PCD, uma vez que a largura do buffer está diretamente relacionada com a escala e a classe testada (SANTOS et al., 2016). Nesse estudo, os resultados foram analisados com base nas escalas cadastrais de 1:1.000, 1:2.000, 1:5.000 e 1:10.000. Foram detectadas 12 linhas da borda/limite da edificação para se realizar a análise.

Na aplicação do método do *Buffer Duplo* para a avaliação da acurácia posicional de feições lineares detectadas a partir de imagens e dados altimétricos, testou-se todas as classes do Padrão de Exatidão Cartográfica para Produtos Cartográficos Digitais, descrito no Decreto Lei n° 89.817, conjugada com a ET-ADGV.

De posse da amostra de discrepâncias posicionais planimétricas da Ortofoto e Foto Aérea/ LiDAR, foi aplicada a detecção de *outliers* via *Boxplot*. Após, com a amostra das discrepâncias médias sem a presença de *outliers,* foi aplicado o teste de normalidade Shapiro-Wilk, para a avaliação da normalidade dos dados. Este processo foi aplicado para todas as escalas cadastrais.

4.2.1 Classificação das Feições Extraídas com Dados LiDAR x Foto Aérea

Inicialmente foi realizado a análise utilizando somente a foto aérea/dados LiDAR, para a escalas cadastrais já mencionadas.

Primeiramente, foi realizado o cálculo das discrepâncias posicionais da foto aérea/ LiDAR, após o cálculo das discrepâncias posicionais para as 12 amostras, considerando a escala 1:10.000, foi aplicado a detecção de *outliers,* neste caso foi identificado apenas um *outiliers.* Com a amostra de discrepâncias média sem a presença de *outliers,* foi aplicado o teste de normalidade Shapiro-Wilk, para a avaliação da normalidade dos dados. Foi constatado que as discrepâncias médias possuem uma distribuição normal.

As discrepâncias médias posicionais (dm) obtidas são menores do que o valor estabelecido para a classe e escala em teste e que o RMS das discrepâncias média estabelecido para esse teste apresentou um valor inferior. Desta forma, a escala 1:10.000 se enquadrou na Classe A de acordo com o PEC-PCD (Tabela 2).

Para a escala 1:5.000, foi aplicado a detecção de *outliers*; neste caso também foi identificado apenas um *outiliers.* As discrepâncias médias posicionais (dm) obtidas (Tabelas 2) são inferiores ao valor estabelecido para a escala em teste, e o RMS das discrepâncias média apresentou um menor valor que o estabelecido para a classe em teste. Assim, na escala 1:5.000, o produto também foi classificado na Classe A.

Considerando a escala 1:2.000, foi detectado apenas um *outliers.* Inicialmente, foi utilizado como largura do buffer, a tolerância do PEC-PCD para a Classe A da escala 1:2.000, porém, utilizando essa largura, o produto não obteve classificação conforme estipulado no Decreto-Lei em questão. Assim, gerou-se outra amostra de discrepância, para o método do Buffer Duplo, considerando o tamanho do buffer igual a tolerância do

PEC-PCD para as classes C e B, e, não se obteve uma classificação. Desta forma, gerou-se uma nova amostra considerando a Classe D para escala 1:2.000, se enquadrando assim conforme os valores estipulados pela classe (Tabela 2).

Por fim, foi feita análise para a escala 1:1.000, e a mesma não se enquadrou em nenhuma das classes (A, B, C e D) do PEC-PCD. Isso se deve ao fato dos valores das discrepâncias médias terem apresentado valores superiores (RMS e discrepância média) para a classificação do produto com relação ao Decreto-lei nº 89.817/ ET-ADGV (Tabela 2).

TABELA 2. Dados da acurácia da Imagem/LIDAR

ESCALA	**1:1.000**	**1:2.000**	**1:5.000**	**1:10.000**
OUTLIERS	**-**	Sim	Sim	Sim
AMOSTRAS	**-**	11	10	11
RMS (m)	**-**	0,311	0,352	0,206
%(dm<PEC)	**-**	100%	100%	100%
RMS<PEC	-	Sim	Sim	Sim
CLASSIFICAÇÃO	-	**Classe D**	**Classe A**	**Classe A**

4.2.2 Classificação das Feições Extraídas com Foto Aérea

Feito a análise da foto aérea em conjunto com os dados LiDAR, foi realizado a análise da foto aérea (sem dados LiDAR). O teste foi realizado para as mesmas escalas cadastrais analisadas anteriormente: 1:10.000, 1:5.000, 1:2.000 e 1:1.000.

Primeiramente, foi calculado as discrepâncias posicionais da foto aérea, após o cálculo das discrepâncias para as 12 amostras para a escala 1:10.000, foi aplicado a dcdntenetecção de *outliers*, ocorrendo apenas um *outliers*. Já com a amostra das discrepâncias médias sem a presença de *outliers,* foi aplicado o teste de normalidade Shapiro-Wilk, para avaliar se os dados possuem uma distribuição normal. A Tabela 10 apresenta os resultados da avaliação da discrepância posicional. Dada a normalidade dos dados, seguiu-se com análise, mostrando que o dado foi classificado na classe A, de acordo com o PEC-PCD, para a escala em questão.

O teste realizado com a escala 1:5.000 (Tabela 2) não teve a detecção de *outliers*. Considerando a largura do *buffer* para a Classe A, o mesmo não obteve classificação quanto ao Decreto-Lei supracitado. Assim, gerou-se outra amostra de discrepância, para o método do Buffer Duplo, considerando o tamanho do buffer e a tolerância do PEC-PCD, para a classe B da escala 1:5.000.

Analisando-se a Tabela 3, é possível observar os resultados estatísticos da discrepância posicional das feições lineares extraídas a partir da Ortofoto (sem dados LiDAR), usando o procedimento do *Buffer Duplo* baseado no padrão de acurácia posicional brasileiro para produtos cartográficos PEC-PCD, descrito no Decreto-lei n° 89.817, ligada à ET-ADGV.

TABELA 3. Dados da acurácia da Imagem/LIDAR.

ESCALA	**1:1.000**	**1:2.000**	**1:5.000**	**1:10.000**
OUTLIERS	-	-	Não	Sim
AMOSTRAS	-	-	12	11
RMS (m)	-	-	1,518	1,665
%(dm<PEC)	-	-	100%	100%
RMS<PEC	-	-	Sim	Sim
CLASSIFICAÇÃO	-	-	**Classe B**	**Classe A**

Por fim, verificou-se para as escalas 1:2.000 e 1:1.000, todas as classes do PEC-PCD. Para ambos os casos não houve classificação quanto ao Decreto-lei nº 89,817, aliada à ET-ADGV. Ou seja, para a aplicação do PEC-PCD é necessário que satisfaça duas condições, e os produtos nas duas escalas não satisfizeram os critérios mencionados. Desta forma, não é possível realizar a classificação de acordo com o Padrão de Exatidão Cartográfica para Produtos Digitais (PEC-PCD).

De modo geral, ao avaliar a acurácia posicional das discrepâncias das feições lineares extraídas com e sem dados LiDAR, tendo-se por base o Padrão de Exatidão Cartográfica para Produtos Cartográficos Digitais (PEC-PCD), verificou-se que ambos os produtos se enquadraram na classe A, para a escala de 1:10.000. Já para a escala 1:5.000, foi enquadrado na classe A, apenas o teste utilizando a imagem em conjunto

com os dados altimétricos; sendo enquadrado na classe B quando utilizado somente a Foto Aérea (sem dados LiDAR).

Para a escala 1:2.000 apenas o produto obtido com a Foto Aérea/LiDAR teve classificação no PEC-PCD, sendo enquadrado na classe D. Por fim, a escala 1:1.000, nenhum dos produtos extraídos atingiram uma classificação quanto ao Decreto-lei nº 89,817, aliada à ET-ADGV.

É visto a eficiência do uso dos dados (foto e dados LiDAR) para a extração/ detecção de feições lineares de estações e subestação de energia elétrica. A integração dos dados altimétricos com a foto aérea proporcionou melhores resultados para a extração de feições lineares em construções de subestação de energia elétrica, devido ao fato de que essas feições são melhor representadas com a inclusão da informação altimétrica, pois apresenta uma altura em relação à sua vizinhança. Enfim, constatado que os resultados provenientes dessa integração de dados, na maioria das escalas, proporcionaram classificações melhores, como é o caso das escalas 1:10.000, 1:5.000 e 1:2.000. Nota-se, assim a importância da integração entres os dados LiDAR e foto aérea, para obtenção de melhores resultados.

5 CONCLUSÃO

O trabalho propôs verificar a viabilidade para identificação automática (e/ou semiautomática) de feições lineares presentes na subestação de linhas de transmissão de energia elétrica, e posteriormente analisar a qualidade geométrica dessas linhas extraídas e, por fim, aplicar o método de *buffer* duplo para classificar o produto final de acordo com o Padrão de Exatidão Cartográfica dos Produtos Cartográficos, definido pelo Decreto-lei nº 89.817.

A classificação dos segmentos por Vizinho mais próximo mostrou-se satisfatória e válida, de acordo com os resultados obtidos e, avaliados de acordo com o índice Kappa. A integração dos dados LiDAR com a foto aérea demonstrou um refinamento dos dados, quando analisado o índice Kappa.

Com relação aos resultados da avaliação da discrepância entre a foto aérea/LiDAR e somente foto aérea, de acordo com o PEC-PCD, nota-se que o uso dos LiDAR proporcionou melhores classificações, apresentando

discrepância média inferior, quando comparado aos resultados sem o uso dos dados LiDAR. Essa vantagem ao fato das edificações serem influenciadas pelos dados altimétricos, devido sua altura.

O uso da metodologia adotada se torna uma solução com relação às variáveis tempo/custo para mapear a área com o uso de foto aérea de altíssima resolução espacial integrada com dados altimétricos precisos, permitindo assim o levantamento de grandes áreas, de forma rápida e eficiente, quando comparado com os métodos convencionais de levantamento, como, por exemplo, a topografia. Além disso, a integração com os dados altimétricos contribuiu para uma melhor delimitação das bordas/limites da edificação.

Embora seja um conjunto de dados pequeno (apenas uma subestação), foi possível mostrar que o método é eficiente, permitindo extração automática de feições lineares para escalas cadastrais. Contudo, sugere que esse método seja aplicado em uma área maior, com outros tipos de construções, para verificar o comportamento e a influência de outras feições cartográficas.

REFERÊNCIAS

ANTUNES, A. F. B.; LINGNAU, C.; SILVA. **Object oriented analysis and semantic network for high resolution image classification.** In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO,11., 2003, Belo Horizonte. Anais... INPE, 2003.p. 273-279.

ATKINSON, A. D. J; ARIZA, F. J. L. Nuevo Enfoque Para El Análisis de La Calidad Posicional En Cartografia Mediante Estudios Basados En La Geometría Lineal. In XIV CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍA GRÁFICA., 2002, Santander, Spain. **Anais...**

BERNARDI, H. V. F; DZEDZEJ, M.; CARVALHO, L. M. T. ACERBI JÚNIOR, F. W. Classificação digital do uso do solo comparando os métodos "pixel a pixel" e orientada ao objeto em imagem QuickBird. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO,13., 2007, Florianópolis. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2007.p. 5595-5602.

CRÓSTA, A. P. **Processamento Digital de Imagem de Sensoriamento**

Remoto. Campinas São Paulo: IG/UNICAMP,1993. Disponível em:< http://www.mdpi.com/2072-4292/6/4/3302/pdf > . Acesso em: ago. 2016

HABIB A. F; GHANMA, M. S; HIN, C. J; MITISHITA, E. A. Alternative approaches for utilizing ALS data as a source of control information for photogrammetric models. **Proceding...**In. Congress International Archives of XX., 2004, Istanbul, Turkey.

ISHIBASHI, R; POZ, A. P. Extração automática de segmentos lineares de rodovias em imagens de resoluções variadas. **Boletim de Ciências Geodésicas,** Curitiba, v. 15, n. 3, p.1-21,2009.

LANDIS, J. R; KOCH, G. G. **The measurement of observer agreement for categorical data.** Biometrics.Washington.1977. Disponível em: <http://www.jstor.org/stable/2529310?seq=1#page_scan_tab_contents >. Acesso em: Out 2016.

MONICO, J. F. G.; DAL POZ, A. P.; SANTOS, M. C.; OLIVEIRA, L. C. Acurácia e precisão: revendo os conceitos de forma acurada**. Boletim de Ciências Geodésicas,** Curitiba, v. 15 no. 3, p. 469-483,2009.

MOREIRA, M. A. Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologia de aplicação. **UFV**, Viçosa, ed.2, p. 307, 2003.

OLIVEIRA, H. N. B. **Segmentação e Classificação de Imagens Landsat TM.** Curitiba, 1999. 97 f. Dissertação (Mestrado em Informática). Programa de Pós-Graduação em Informática. Universidade Federal do Paraná.

RIBEIRO, S. R. A.; SANTOS, D. R.; CENTENO, J. S. Aplicação da Metodologia de Dados Orientado a Objeto da Classificação de uma Área Urbanizada, utilizando uma Imagem Digital Obtida por Meio da Tecnologia do Laser Scanner. In SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOMÁTICA. 2002, Presidente Prudente, **Anais...**p. 1-6.

ROSA, R. Geotecnologias na Geografia Aplicada. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, v. 16, 2005.

SANTOS, A. P; MEDEIROS, N. G.; SANTOS, G. R.; RODRIGUES, D. D. Controle de Qualidade Posicional em Dados Espaciais Utilizando Feições Lineares. **Boletim de Ciências Geodésicas**, Curitiba, v. 21, p. 233-250, 2015.

SANTOS, A. P.; MEDEIROS, N. G.; SANTOS, G. R.; RODRIGUES, D. D. Avaliação da Acurácia Posicional Planimétrica em Modelos Digitais de Superfície com o Uso de Feições Lineares. **Boletim de Ciências Geodésicas** , Curitiba, v. 22, p. 157-174, 2016.

MODELAGEM TRIDIMENSIONAL DE MONUMENTOS HISTÓRICOS A PARTIR DE AEROFOTOS USANDO DRONE

Mosar Faria Botelho
Matheus de Faria Souza

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas - Campus Inconfidentes
{mosar.botelho@ifsuldeminas.edu.br, matheus.faria.souza@hotmail.com}

RESUMO

Com os frequentes avanços das tecnologias e uma maior capacidade de processamento de dados para elaboração de realidade aumentada, se faz necessário, pois tem grande valor cultural, a modelagem em três dimensões de monumentos históricos. Esses Monumentos trazem identidade cultural, e ajudam a caracterizar uma cidade. Usando tecnologias em grande desenvolvimento como o DRONE, e métodos fotogramétricos, nesse trabalho foi modelada a Igreja da Praça Tiradentes na cidade de Inconfidentes-MG. Essa ação objetiva, além dos resultados científicos, a criação e elaboração de um banco de dados, servindo de referencial para gerações futuras que possibilitam, em caso de danos estruturais permanentes, sua restauração usando como modelo os arquivos tridimensionais arquivados. Neste trabalho foi utilizado um DRONE fotogramétrico para auxiliar a captura de fotos nos locais de mais difícil acesso da Igreja obtendo êxito na sua representação e modelagem.

Palavras-chave: Fotogrametria; Cadastro histórico; Reconstrução.

THREE DIMENSIONS MODELING OF HISTORICAL MONUMENTS FROM AIRPLANES PHOTOS USING DRONE

ABSTRACT

With the frequent advances of technologies and a greater capacity of data processing for augmented reality, it is necessary, since it has great cultural value, the modeling in three dimensions of historical monuments. These Monuments bring cultural identity, and help characterize a city. Using technologies in great development as the DRONE, and photogrammetric methods, in this work the Church of Praça Tiradentes was modeled in the city of Inconfidentes-MG, aiming beyond the scientific results the creation and elaboration of a database, serving as reference for future generations what in the event of future permanent structural damage, enable them to be restored using the archived three-dimensional archives as a model. In this work a photogrammetric DRONE was used to assist the capture of photos in the most difficult places of the Church obtaining success in its representation and modeling.

Keywords: Photogrammetry; Historical records; Reconstruction.

1. INTRODUÇÃO

A Arquitetura e o Urbanismo são áreas do conhecimento que necessitam frequentemente do levantamento e da documentação dos objetos existentes, seja para o desenvolvimento de novos projetos ou para restauração, reforma, ampliação, ou ainda para o estudo e planejamento de cidades. Em 1964, na Carta de Veneza, foi manifestada a necessidade de efetuar levantamentos arquitetônicos precisos e detalhados que permitissem encontrar a forma real do monumento histórico que seria alvo da restauração, e a Fotogrametria foi definida como uma técnica apropriada para esta finalidade (ANDRADE, 2012).

O termo Fotogrametria é derivado de três palavras gregas, *photos* que significa luz, *gramma* que significa algo desenhado ou escrito e *metron*

que significa medir. Portanto, originalmente significava medir graficamente por meio da luz (MCGLONE, 2004).

A Fotogrametria é uma técnica a ser considerada como uma ferramenta capaz de produzir um documento autêntico que consegue resgatar a forma exata do edifício, sendo referência para se observar o andamento de deformações estruturais, ocorrência de lacunas e degradações dos materiais (CÓRDOBA, 2012).

Enfim, os avanços em Fotogrametria Digital têm acelerado o arquivamento e análise de dados relacionados ao patrimônio histórico mundial, preservando ícones culturais e religiosos para as futuras gerações, além de gerarem arquivos com um elevado grau de detalhamentos, que são essenciais como um seguro contra destruição por catástrofes naturais ou culturais (ÁLVARES, 2007).

A adoção de modelos virtuais de realidade em engenharia, embora se encontre em seus estágios iniciais, apresenta benefícios quanto a custo, tempo, cronogramas de construção, redução na manutenção e maior segurança de projetos. É evidente a importância de estudos aprofundados para o aprimoramento das técnicas de modelagem tridimensional, de forma que esse aperfeiçoamento reduza erros e evite retrabalho em renovar projetos. Estes estudos possibilitam a otimização de modelos funcionais para aplicações multimídias diferenciadas (SAROT *et al.* 2015).

Atualmente, existe um amplo desenvolvimento das técnicas de levantamento do patrimônio arquitetônico por modelagem tridimensional (3D) a partir de fotografias do edifício (OLIVEIRA *et al.* 2015). A modelagem 3D tem se tornado cada vez mais frequente no ramo das engenharias. Uma metodologia empregada para se gerar modelos 3D é através de plataformas de desenhos computacionais, onde as modelagens são todas feitas manualmente, necessitando, de muitas horas de trabalho. Um método diferente dos demais é o uso de técnicas da fotogrametria, onde fotos do corpo, ou área que deseja ser modelada são obtidas com DRONE fotogramétrico, o que traz uma facilidade devido a altura e grandeza do objeto.

A Fotogrametria Terrestre, também conhecida como Fotogrametria à Curta Distância, ou ainda, Fotogrametria Arquitetônica, é uma técnica poderosa para a aquisição de dados sobre as construções arquitetônicas

históricas (KUO e AMORIM, 2010).

Portanto, para este trabalho será utilizado de tecnologia DRONE usando técnicas fotogramétricas aerotransportadas e terrestre, buscando a reconstrução tridimensional de monumentos históricos, conservando assim a identidade e cultura da cidade de Inconfidentes - MG.

2. REVISÃO DE LITERATURA

O tema abordado é muito restrito na literatura brasileira, sendo tais temas muito mais difundidos na Europa, devido a grande quantidade de patrimônios históricos. Os primeiros casos do uso de fotogrametria para esse fim, foi o de Albrecht Meydenbauer, um arquiteto alemão que em 1858 usou fotografias para documentação métricas de edifícios. O processo consistia em substituir as medições diretas nas fachadas de seus principais elementos por medições indiretas em imagens fotográficas, conseguindo armazenar informações do objeto em grandes detalhes e com alta precisão (SANTOS, 2003). Albrecht Meydenbauer sabia da fragilidade dos monumentos históricos e o quanto seria importante ter um arquivo com os dados métricos do monumento em casos de desastres.

A utilização da fotogrametria na restauração de edificações de valor patrimonial tomou impulso somente a partir da década 60 do século XX, quando vários países passam a se preocupar com a conservação de seus monumentos, além das organizações internacionais ligadas à conservação do patrimônio cultural (CÓRDOBA, 2012).

A técnica fotogramétrica é cada vez mais utilizada, isso porque, graças aos avanços tecnológicos, permite que seja mais accessível devido ao fácil manuseio dos equipamentos envolvidos nos processos como câmeras digitais e microcomputadores associados a programas específicos para restituição. Já ao final da década de 90, do século XX, fica potencializado o uso da fotogrametria (CÓRDOBA, 2012).

Outro detalhe a ser ressaltado é o fato de também se encontrar alguns trabalhos onde foi utilizado laser scanner terrestre (CAVALCANTE, 2015). Tais técnicas estão se mostrando de muita valia, mas possui um custo elevado por fazer uso de equipamento muito caro, tornando assim

difícil seu uso, fazendo da fotogrametria uma ferramenta mais viável para catalogação de patrimônios históricos.

O termo Levantamento Arquitetônico se refere ao conjunto de investigações e operações orientadas a determinar as características significativas no aspecto morfológico, dimensional, figurativo e tecnológico de uma estrutura ou conjunto urbano a ser avaliado e investigado, com a finalidade de construir um modelo tridimensional simplificativo, ou seja, a tomada de dados de um objeto e sua representação gráfica em três dimensões (ALMAGRO, 2000).

Os Levantamentos Arquitetônicos foram bastante utilizados em localidades onde existiam diversos monumentos a serem catalogados. No Brasil, nota-se uma concentração de trabalhos desse tipo na região nordeste e alguns da região sul. Existe uma carência de estudos nessa área em Minas Gerais apesar de ser um estado com repletos patrimônios que poderiam ser catalogados.

No ano de 2001 foi planejado um novo levantamento que permitiu ampliar a informações recolhidas. O levantamento foi desenvolvido pelo projeto Documentação Precisa de Sítios Brasileiros, promovido pelo Ministério da Cultura em parceria com o Instituto Militar de Engenharia.

3. MATERIAL E MÉTODO

3.1 ÁREA DE ESTUDO

O monumento escolhido para o estudo foi a igreja Matriz denominada "São Geraldo Magela", Figura 1, localizado na Praça Tiradentes no centro do município de Inconfidentes – MG. Esta cidade localiza-se no sul do estado de Minas Gerais, aproximadamente 20 quilômetros da divisa com o estado de São Paulo (Figura 2). A igreja foi escolhida pelo fato de ser junto com o prédio do IFSULDEMINAS um dos mais importantes marcos históricos da cidade, pois o município é em sua maioria católica, tendo assim influência nos costumes e na cultura local, como a festa de São Geraldo Magela, padroeiro da cidade, que ocorre em frente a igreja.

Construída sem estilo especifico, mas pode se perceber detalhes de dois estilos arquitetônicos, maneirista e neoclássico, com torre em formato quadrado e mesclas com pequenas pirâmides nos cantos e no

ápice da torre típicos do estilo maneirista, e as janelas com estilo neoclássico.

Teve seus primórdios segundo o site da prefeitura da cidade durante a época do Núcleo Colonial de Inconfidentes, em 1912, foi iniciada a construção da capela, pelo Dr. Antônio de Arantes Bueno, Diretor do Núcleo. Foi provisionado em 9 de janeiro de 1913, sendo seu primeiro encarregado o Revmo. Cônego Eriberto Goellersdofer, sacerdote natural da Áustria.

FIGURA 1. Igreja monumento da cidade de Inconfidentes/MG. Fonte: Autor (2017).

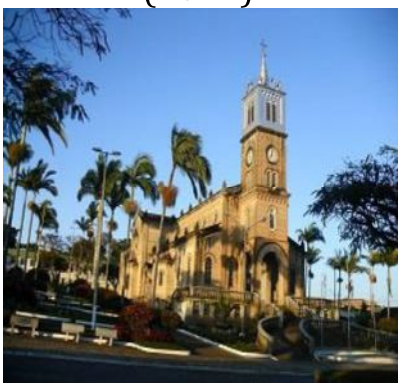
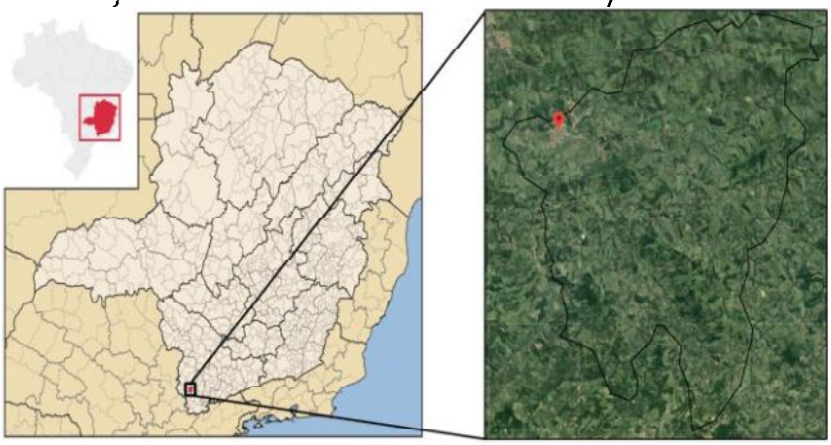


FIGURA 2. Localização da Cidade de Inconfidentes/MG. Fonte: Autor (2017).



3.2 MATERIAIS UTILIZADOS

Todos os equipamentos utilizados na elaboração do trabalho foram cedidos pelo Laboratório de Fotogrametria, Robótica e Inovação (FOTOROBI), do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do

Sul de Minas - *Campus* Inconfidentes (IFSULDEMINAS).

As ferramentas necessárias consistem em Veiculo Aéreo Não Tripulado (VANT) ou também denominado de DRONE fotogramétrico, que está completo e programado para fins fotogramétricos, sendo o modelo multirrotor hexacóptero F550 DJI com câmera GoPro Hero3+ Black Edition, GPS, sistema de telemetria para orientação, e Visão de Primeira Pessoa (FPV). A câmera citada caracteriza-se como "não métrica" com distancia focal de 2,77 mm e Unidade de CCD de 1,55 micrometros.

Também foi usada uma Estação Total modelo Ruide R820, com precisão angular de 5 (cinco segundos) atendendo a norma DIN 18723; precisão linear de 2mm + 2ppm; alcance com 1 prisma de até 2.000m e com 3 prismas de até 2.900m; memória interna: 10.000 pontos / 20.000 coordenadas;

Foi usado o *software* Agisoft Photoscan versão educacional para o processamento dos dados e reconstrução tridimensional da cena. Devido a densidade da nuvem de pontos gerada para seu detalhamento foi usado um computador Workstation com processador Zeon 3.0 com 6 núcleos, memória RAM equivalente a 8 MB, placa de vídeo dedicada com 2 GB de RAM.

3.3 MÉTODO

A metodologia proposta seguirá quatro fases distintas: Planejamento das etapas de voo para coleta de fotos do monumento histórico objeto alvo desse projeto, Levantamento de pontos de apoio mediante planejamento de voo, Processamento de dados onde integra-se as fotos com os pontos de apoio e, por fim a validação do produto obtido.

Um dos principais parâmetros a ser levado em conta em modelagens tridimensionais, de corpos grandes são suas dimensões dentro de suas respectivas escalas. Para se verificar a precisão dos dados gerados, usou-se de um modelo digital de superfície da área em estudo, coletando pontos da Igreja com Estação Total, sendo todas essas coordenadas no sistema UTM de coordenadas, no referencial SIRGAS 2000.

Devido a complexidade do processamento, optou-se por dividi-lo em etapas. Ou seja, foi feito o processamento de cada lado da igreja para só

depois realizar a fusão desses lados para se gerar a modelagem completa da igreja. Ao fim dessa etapa constatou-se que ainda estava ocorrendo erros. No intuito de melhorar essa junção foram coletadas coordenadas de pontos na igreja, espacialmente bem distribuídos com Estação Total, para poder georreferenciar os modelos individuais facilitando a junção a partir dos pontos homólogos.

3.3.1 Planejamento de Voo

O planejamento de voo é essencial para uma perfeita execução a campo da aerofotogrametria. No caso de mapeamento de monumentos históricos esse planejamento consiste em ser realizado a curta distancia do alvo onde a atenção terá que ser maior evitando-se assim acidentes e proporcional o recobrimento de toda a área que se tem como objetivo.

Portanto, para esse propósito, foram realizadas 5 (cinco) etapas para o recobrimento de todos os lados da igreja, que nesse caso foram cinco: Lateral direita, Lateral esquerda, Frente, Fundo e Telhado.

Iniciou-se o processo pelo mapeamento da lateral direita da igreja. Em uma segunda etapa mapeou-se a frente da Igreja. Posteriormente foi para a Lateral esquerda, em sequência executou-se o mapeamento do Fundo, onde apresentou dificuldades devido às árvores preexistentes. Finalizou-se o levantamento com o mapeamento de seu telhado onde um novo planejamento aerofotogramétrico foi executado.

O recobrimento longitudinal adotado foi equivalente a 90% e o lateral de 50% para todas as etapas. Para as laterais foram executadas 7 faixas no sentido vertical (de baixo para cima) enquanto para a frente da Igreja foram realizadas 2 faixas no mesmo sentido buscando mapear sua torre. Também foi mapeada a parte superior da Igreja, o telhado, com 5 faixas, neste caso no sentido longitudinal. Para todas as etapas buscou-se resolução espacial menor que 0,5 cm, com exceção a etapa do telhado, que devido à altura de voo de 80 metros, ficou entorno de 5 cm. A velocidade da aeronave foi mantida constante para todas as etapas com o valor de 5m/s.

Logo efetuaram-se diversos voos, para as laterais do monumento, procurando manter uma distância máxima de 7 metros, onde a resolução espacial da foto no terreno não ultrapasse o limite de 0,5 cm (Tabela 1).

Para os cálculos da Tabela 1 utilizada a Equação 1 que tem o princípio para o cálculo do *Ground Sample Distance* (GSD).

$$H = \frac{GSD \cdot f}{UnCCD} \quad (1)$$

onde *f* é a distância focal da câmera, *UnCCD* é a unidade do CCD da câmera, *GSD* é o *Ground Sample Distance*, ou seja, o tamanho que cada lado do pixel corresponde na cena imageada.

TABELA 1. Tamanho da cena mediante distancia para o alvo

GSD (cm)	Distância para Alvo (m)
0,25	4,5
0,50	9,0
1,00	17,9
2,00	35,7
3,00	53,6
4,00	71,5
5,00	89,4

3.3.2 Levantamento dos Pontos de Apoio

Uma etapa fundamental é o levantamento a campo com Estação Total de coordenadas de pontos de apoio pré-sinalizados (caso necessário) de alvos, com o intuito de colher pontos de apoio no objeto, possibilitando-se gerar um modelo digital de superfície e posteriormente o georrefencimento das fotos. Com isso, a reconstrução de seus feixes perspectivos é realizada e a geração de ortofotos e modelos tridimensionais com textura ocorrerá. A distribuição espacial dos pontos de apoio (Figura 3), foram adotadas de modo que toda foto possuísse pelo menos um ponto de apoio diferente e mantendo-se próximo as posições estabelecidas por Grüber respeitando-se o recobrimento longitudinal e lateral estipulado. Os pontos de apoio levantados com a Estação Total podem ser visualizados na Tabela 2, que estão na projeção cartográfica UTM (Universal Transversa de Mercator) no sistema geodésico SIRGAS2000 e fuso 23K para a cidade de Inconfidentes-MG, calculados a partir de *software* topográfico.

FIGURA 3. Distribuição dos pontos de apoio no modelo tridimensional. Fonte: Autor (2017).



TABELA 2. Pontos de apoio para controle da aerofotogrametria

PONTOS	E (m)	N (m)	Z (m)
1	363.199,15	7.531.425,88	872,37
2	363.201,01	7.531.436,95	874,18
3	363.201,80	7.531.441,57	875,36
4	363.203,04	7.531.446,34	873,91
5	363.200,14	7.531.442,47	868,62
6	363.199,82	7.531.440,15	868,51
7	363.206,12	7.531.453,68	869,96
8	363.205,41	7.531.449,78	870,13
9	363.206,80	7.531.457,46	869,92
10	363.207,58	7.531.461,48	869,77
11	363.208,23	7.531.465,16	869,84
12	363.211,67	7.531.465,19	873,75
13	363.219,96	7.531.433,29	874,51
14	363.220,87	7.531.438,11	875,59
15	363.221,41	7.531.442,51	874,13
16	363.222,96	7.531.438,19	868,99
17	363.222,62	7.531.435,92	868,94
18	363.221,35	7.531.450,40	869,91
19	363.220,63	7.531.446,51	870,08

3.3.3 Processamento dos Dados Colhidos

A Fototriangulação consiste num processo fotogramétrico para calcular os parâmetros da orientação exterior de um bloco de imagens representando um terreno. Esse processo em geral é feito através de um método chamado de ajustamento por feixes perspectivos.

A solução chamada de ajustamento simultâneo por feixes de raios perspectivos, busca determinar indiretamente os parâmetros de orientação exterior. O método determina simultaneamente os parâmetros de orientação exterior (Xo, Yo, Zo, κ, ϕ, ω) para todas as fotografias pertencentes ao bloco, e as coordenadas dos pontos fotogramétricos no espaço objeto. Uma das vantagens no emprego deste método é que para cada ponto observado no espaço imagem, adicionam-se duas equações ao sistema que determinará a posição e atitude da câmara. O método é resolvido empregando como modelo matemático funcional a Equação de Colinearidade apresentada nas Equações (2) e (3) (KRAUS, 1992; MIKHAIL *et al.*, 2001; ANDRADE, 2003; WOLF, 2004).

$$x' = -c \cdot \frac{m_{11}(X-X_0)+m_{12}(Y-Y_0)+m_{13}(Z-Z_0)}{m_{31}(X-X_0)+m_{32}(Y-Y_0)+m_{33}(Z-Z_0)} \quad (2)$$

$$y' = -c \cdot \frac{m_{21}(X-X_0)+m_{22}(Y-Y_0)+m_{23}(Z-Z_0)}{m_{31}(X-X_0)+m_{32}(Y-Y_0)+m_{33}(Z-Z_0)} \quad (3)$$

onde: c é a constante da câmara - distancia focal (espaço imagem); X, Y e Z são as coordenadas dos pontos no espaço objeto; X_0, Y_0 e Z_0 são as coordenadas do centro perspectivo no espaço objeto; m_{ij} são os elementos da matriz de rotação (κ, φ, ω); e x', y' são as coordenadas dos pontos no espaço imagem.

Para a aplicação das técnicas fotogramétricas é necessário realizar correções nas fotografias adquiridas no levantamento de campo, podendo citar entre elas, a correção do efeito olho de peixe presente na lente da câmara GoPro Hero 3+ Black Edition, e a outra correção sendo o redimensionamento da fotografia, isto para diminuir as distorções presentes nas bordas das fotografias devido a lente desse equipamento possuir um alto FOV(*Field of Vision*), campo de visão traduzido da sigla que em instrumentos fotográficos corresponde a um ângulo fixo através

do qual o sensor é receptivo à radiação eletromagnética.

Depois de feitas as correções, foram inseridos as fotos e os pontos de apoio (Tabela 2) no *software* Agisoft Photoscan Versão 1.26 Educacional. Em seguida foram realizados os processos fotogramétricos para ajustamento dos feixes perspectivos que possibilitaram o alinhamento e a triangulação dos pontos homólogos presentes nas fotografias, gerando o modelo digital de superfície, e assim foi gerado um ortomosaico de cada lado do objeto.

Com os parâmetros das fotos e o modelo digital da superfície criado foi renderizado o modelo e as cenas foram unidas.

3.3.4 Validação

Para validação e verificação da acurácia do produto final, as coordenadas de alguns pontos que não foram usados na fototriangulação foram comparados aos obtidos pelo modelo tridimensional final. Também as dimensões das janelas e portas foram comparadas entre o modelo gerado e o real do campo.

No intuito de validar os modelos apresentados na Figura 5, partiu-se para coletar coordenadas, usando a vista superior já georreferenciada (Figura 4). Foram coletadas 18 coordenadas de pontos artificiais visíveis no monumento histórico, como por exemplo, o encontro de três águas do telhado, o que forma um ponto. Após essas coordenadas obtidas com o modelo da superfície do telhado, foram comparados com as coordenadas dos mesmos pontos obtidos com a Estação Total, pontos esses que foram obtidos da parte visível do telhado, a partir da lateral da igreja, sendo o equipamento estacionado na esquina do cruzamento das ruas Marilia de Dirceu e Claudio Manuel da Costa.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 4 apresenta o resultado obtido com o voo de mapeamento da parte superior - telhado. A Figura 5 apresenta os resultados obtidos com o processamento da parte lateral e frontal da igreja.

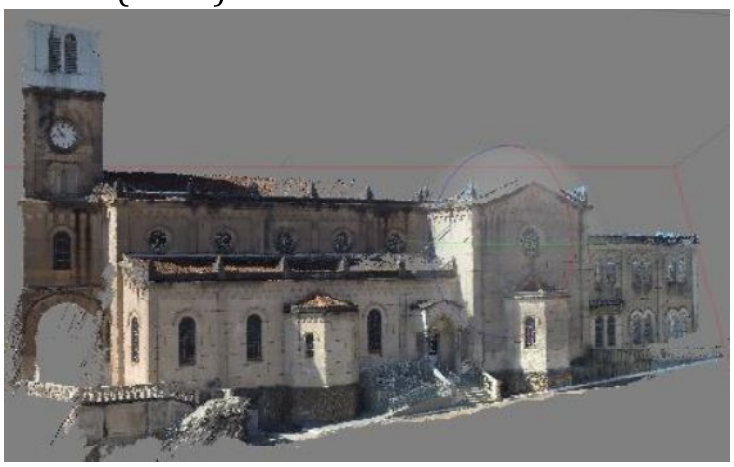
FIGURA 4. Modelo gerada da parte superior da Igreja - Telhado. Fonte: Autor (2017).



FIGURA 5. Imagem dos modelos Gerados de cada parte da Igreja. Fonte: Autor (2017).



a) Frente



b) Lateral

Visualmente, a representação quanto ao modelo do telhado e suas diversas águas foram bem representadas como pode-se observar na Figura 3.

Os detalhes do monumento histórico evidenciadas em suas laterais quando visitado em campo também podem ser visualizados no modelo da Figura 5 devido a quantidade de pontos gerados pelo modelo

matemático aplicado. Nota-se, na Figura 5, que não ocorreu áreas de oclusão devido o VANT ter alcançado diferentes ângulos e alturas. Para tanto observa-se o mapeamento dos pequenos telhados em sua lateral.

Observando-se suas coordenadas, notou-se uma discrepância maior na altitude equivalente a 9,8 metros. Acredita-se que essa diferença ocorreu no modelo de superfície gerado.

Para evidenciar os erros apontados anteriormente foram selecionados 3 (três) coordenadas de pontos sobre o modelo estudado. O primeiro posicionado sobre o solo, o segundo posicionado no telhado da igreja, e um terceiro sobre o topo da torre da igreja (Tabelas 2 e 3).

TABELA 2. Coordenadas colhidas com Estação Total (em metros)

PONTOS	ESTE	NORTE	ALTITUDE
1	363.247,64	7.531.399,82	867,93
2	363.205,82	7.531.448,80	872,78
3	363.217,90	7.531.465,08	893,11

TABELA 3. Coordenadas do modelo digital da superfície (em metros)

PONTOS	ESTE	NORTE	ALTITUDE
1	363.247,15	7.531.400,02	867,50
2	363.205,41	7.531.449,78	870,13
3	363.218,27	7.531.468,36	883,25

Usando os dados das Tabelas 2 e 3 foram realizadas suas diferenças para verificar os erros em cada ponto, nos três eixos (Tabela 4).

TABELA 4. Diferenças obtidas (em metros)

PONTOS	ESTE	NORTE	ALTITUDE
1	-0,492	0,195	-0,433
2	-0,415	0,983	-2,649
3	0,376	3,279	-9,858

Pela Tabela 4, a diferença nas coordenadas supera o previsto pelo planejamento que seria 5cm. Justifica-se este fato devido os pontos coletados para a geração do modelo digital da superfície não ter incluído pontos sobre o objeto alvo - o telhado da Igreja. A geração do modelo do telhado foi realizada apenas com o voo fotogramétrico de 80 metros de altura e utilizando-se de pontos de apoio sobre a superfície da praça.

Assim deixou de representar as diferentes altitudes que o modelo histórico propõe. Nota-se esse fato pela Tabela 4 em seu ponto 3 onde a discrepância é alta quando compara-se a coordenada de altitude pois esse ponto localiza-se sobre o telhado da Igreja em seu ponto mais alto – a torre.

Pela Tabela 4 nota-se que os valores para o ponto 1, que correspondem às coordenadas dos pontos usados para o georreferenciamento, ficaram melhores que as demais pois este ponto está sobre a superfície da praça. Os valores para o ponto 2, que está sobre o telhado da Igreja, apresentam distorções em todos os eixos, principalmente no eixo Z (Altitude). O ponto 3, que está na extremidade da torre da Igreja apresenta a maior discrepância com relação a medida correta, pois o modelo digital de superfície gerado não possui uma representação que valide essa variação.

Com o intuito de se verificar a precisão dos dados gerados, foi efetuado medidas de certos detalhes do monumento, como portas e janelas laterais, e essas medidas feitas no objeto real foram comparadas com medidas das mesmas feições na modelagem tridimensional feita a partir das fotos, da lateral esquerda da igreja (Figura 6 e Tabela 5).

FIGURA 6. Obtenção das medidas na Janela 1 (em centímetros). Fonte: Autor (2017).



a) Janela medida na nuvem de pontos tridimensional.

b) Janela medida na Igreja.

TABELA 5. Diferenças entre feições (em centímetros)

	Medida na Igreja	**Medida na nuvem de pontos**	**Diferenças obtida**
Porta 1 (largura)	83,4	83,3	0,1
Janela 1 (largura)	83,4	83,5	0,1
Janela 1 (altura)	205,5	205,3	0,2
Porta 2 (Largura)	163,3	164,1	0,8
Porta 2 (altura)	252,3	251,8	0,5
Porta 3 (largura)	96,0	95,0	1,0
Porta 3 (altura)	221,0	220,6	0,4

Nota-se pela Figura 6 a forma como foi coletada a medida na Janela 1. Esta mesma janela, foi medida na nuvem de pontos georreferenciada e se obteve medida de 83,5 centímetros (Figura 6a) e a mesma janela medida na igreja possuía 83,4 centímetros (Figura 6b), mostrando assim que para o processamento lateral ouve pouca distorção de medidas, pois o erro foi na ordem de milímetros, assim como esperado.

Além da janela mostrada na Figura 6, foram também coletadas, medidas de mais duas portas, ambas na lateral esquerda da igreja, e assim como da janela acima, a diferença entre a realidade e a modelagem variou em poucos milímetros (Tabela 5). A maior diferença foi na Porta 3, na ordem de 1 cm, devido esta ter um deslocamento de 20cm para dentro da parede onde a luminosidade interferiu em sua reconstrução.

5. CONCLUSÃO

Concluímos com este trabalho que o mapeamento de monumentos históricos é possível usando-se de aeronaves multirrotores de pequeno porte acoplado de câmeras não métricas, onde foi possível obter resultados na ordem de milímetros

A resolução espacial do modelo 3D depende diretamente da forma da aquisição de dados e seus pontos de controle. A distribuição dos pontos deve atender a variação da escala a ser representada. Necessariamente, os pontos deverão representar toda variação de altitude da área a ser modelada.

Conclui-se também que para gerar modelos tridimensionais de qualquer objeto necessita-se de fotos com perfeito recobrimento do

objeto, pois qualquer imperfeição (luminosidade, arrastes) impossibilita a modelagem, pois os pontos homólogos ficarão difíceis de serem reconhecidos pelo algoritmo.

REFERÊNCIAS

ALMAGRO, A**. La Fotogrametria para Arquitectos. El Estado de la Cuestión.** In: VIII CONGRESO DE EXPRESSION GRAFICA ARQUITECTONICA (EGA). 2000. Barcelona

ÁLVARES, P. Fotogrametria digital e risco de incêndio em sítios históricos. 2007. Ouro Preto.

ANDRADE, J. B. **Fotogrametria.** SBEE, 2a Edição. 2003.

ANDRADE, R. M. F. **Brasil: Monumentos Históricos e Arqueológicos.** Rio de Janeiro: IPHAN, 2012.

CAVALCANTE, R. B. L. **A utilização do 3D Laser Scanning para levantamento de fachadas do Centro Histórico de Porto Nacional – TO.** Revista Interface, 9º Edição, 2015, p. 88-94.

CÓRDOBA, P. **Levantamento Fotogramétrico de Monumentos Arquitetônicos para Projetos de Restauração - Estudo de Caso: Palácio Itamaraty – Brasília, DF.** Distrito Federal, 2012

KRAUS, K. **Photogrammetry: Fundamentals and standard processes.** Volume 1. Fourth edition, Ferd, Dummler Verlag. Bonn. 1992.

KUO, V.; AMORIM, A. **Levantamento fotogramétrico de edificações: principais limitações encontradas na modelagem geométrica da Igreja do Monte, em Cachoeira - BA.** In: Seminário nacional de documentação do patrimônio arquitetônico com o uso de tecnologias digitais, Salvador. Universidade Federal da Bahia, 2010.

MCGLONE, J. **Manual of photogrammetry.** 5th ed. Bethesda, MA, USA: American Society for Photogrammetry and Remote Sensing, 2004.

MIKHAIL, E. M.; BETHEL, J. S.; MCGLONE, J. C. **Introduction to modern Photogrammetry.**John Wiley & Sons, Inc. New York, 2001.

OLIVEIRA, M.; GUIMARAES, P.; HARRIS, A. L. **Sistematização de método para modelagem tridimensional de patrimônio arquitetônico mediada pelo *software* Autodesk 123d Catch.** In: VII Seminário PROJETAR - 2015, Natal. PROJETAR 2015 Originalidade, criatividade e inovação no projeto contemporâneo: ensino, pesquisa e prática. Natal: UFBA, 2015.

SANTOS, Z. **Elaboração de um Arquivo Arquitetônico inserido num Modelo Tridimensional Urbano.** Departamento de Matemática Aplicada Faculdade de Ciências, Universidade do Porto. Porto, 2003.

SAROT, R. V.; DELAZARI, L. S.; VEIGA, L. A. K. **Reconstrução cartográfica tridimensional de edificações históricas no centro de Curitiba/PR-2015.** Disponível em <https://www.ufpe.br/geodesia/images/simgeo/papers/89-469-1-PB.pdf> Acesso: 10 de setembro de 2016.

WOLF, D. **Elements of Photogrammetry with applications in GIS.** The McGrawHill Companies. 3a Edição, 2004.

DRONE FOTOGRAMÉTRICO NA AGRICULTURA DE PRECISÃO: ESTUDO DE CASO NA IDENTIFICAÇÃO DE FALHAS EM CULTURAS DE MILHO

Mosar Faria Botelho
Jadson Maximiano da Silva

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas - Campus Inconfidentes
{mosar.botelho@ifsuldeminas.edu.br, jadsonsilva2014.js@gmail.com}

RESUMO

O milho é cultivado com relativamente pequeno número de plantas por unidade de área. Em virtude disso, a contribuição de uma planta para a composição final dos rendimentos de grãos é maior. Portanto deve-se monitorar e identificar possíveis falhas, que na maioria dos casos é feito manualmente e em alguns casos usando imagens orbitais, mas os resultados obtidos com as estimativas são grosseiros, e o custo para a aquisição de imagens de satélite é alto o que impossibilita os pequenos produtores de adquirir o serviço. No entanto esta dificuldade pode ser suprimida com o uso de Veículos Aéreos Não Tripulados (VANT's). Este trabalho apresenta uma metodologia usando Drone fotogramétrico que mostrou-se satisfatório ao propósito de identificação de falhas neste tipo de cultura.

Palavras-chave: Agricultura de precisão; VANT; Classificação supervisionada.

DRONE PHOTOGRAMETRIC TO PRECISION AGRICULTURE: IDENTIFICATION OF FAULTS MAIZE PLANTATION

ABSTRACT

Corn is grown with relatively small numbers of plants per unit area. As a result, the contribution of a plant to the final grain yield composition is greater. Therefore, it is necessary to monitor and identify possible faults, which in most cases are done manually and in some cases using orbital images, but the results obtained with the estimates are coarse, and the cost for the acquisition of satellite images is high. Makes it impossible for small producers to purchase the service. However this difficulty can be suppressed with the use of Unmanned Aerial Vehicle (UAV). This work presents a methodology using photogrammetric UAV that was satisfactory for the purpose of identifying faults in this crop.

Keywords: Precision agriculture; UAV; Supervised classification.

1. INTRODUÇÃO

A fotogrametria teve início com a invenção da câmara fotográfica que foi o primeiro instrumento utilizado e que, até os dias atuais, são ainda utilizadas para tomada de fotos aéreas. As aplicações militares quase sempre estiveram à frente no uso de novas tecnologias, e no caso da fotogrametria não foi diferente. No século passado, uma câmara fotográfica mais leve com disparador automático e ajustável foi desenvolvida. Essas câmaras, carregadas com pequenos rolos de filmes, eram fixadas ao peito de pombos-correio, que eram levados para locais estrategicamente escolhidos de modo que, ao se dirigirem para o local de suas origens, sobrevoavam posições inimigas. Durante o percurso, as câmaras, previamente ajustadas, tomavam fotos da área ocupada pelo inimigo. Vários pombos eram abatidos a tiros pelo inimigo, mas boa parte deles conseguia chegar ao destino. As fotos obtidas consistiam em valioso material informativo, para o reconhecimento da posição e infraestrutura de forças militares inimigas. Assim teve início uma das primeiras

aplicações da fotogrametria com sensores remotamente programados, atualmente conhecido e denominado como sensoriamento remoto (FIGUEIREDO, 2005).

Atualmente, o uso de VANT's vem sendo adotado nos estudos de fotogrametria/sensoriamento remoto, pois proporciona baixo custo de aquisição de dados de alta resolução espacial e espectral quando comparados a uma aeronave tripulada ou satélites orbitais para os mesmos fins. Uma das vantagens em obter dados com plataformas de VANT's está na possibilidade de serrem mais acuradas, também sua resolução temporal é excelente pois são possíveis de serem obtidas a qualquer momento, inclusive de serem repetidas mais de uma vez no mesmo dia, diferentemente das imagens obtidas de satélites orbitais (CHAVES; LA SCALEA, 2015).

Em tempos que predominava uma agricultura familiar, explorada em pequenas áreas, era possível aos agricultores observar a variabilidade espacial das propriedades dos solos e seus efeitos no desenvolvimento e produção das culturas e manejá-las com base nessas diferenças. Posteriormente, com a mecanização da agricultura, somente foi possível manejar economicamente as culturas em grandes áreas com a aplicação uniforme de insumos. Um agricultor que atualmente cultiva 1.000 ha com manejo uniforme usa menos informações agronômicas da variabilidade espacial do que 10 agricultores que anteriormente cultivaram essa mesma área em lotes de 100 ha. Recentemente, com o desenvolvimento do Sistema de Posicionamento Global – GNSS, associado a equipamentos capazes de medir a variabilidade (monitores de colheita) e aplicação de insumos (fertilizantes, herbicidas, sementes, etc.) a taxas variáveis, há possibilidade de se reverter essa situação, possibilitando, assim, o manejo das culturas de modo mais específico (COELHO, 2005).

Na maioria dos casos, a forma para a detecção de falhas em culturas é realizada manualmente. Portanto, apesar de em alguns casos utilizar-se de análises com imagens de satélites orbitais, os resultados obtidos com as estimativas são grosseiros. O grande problema da última técnica está na aplicação superestimada ou subestimada para a quantidade de produto necessário ao tratamento da planta que devem ser feito para uma boa qualidade do produto. Também, existem limitações ao seu uso

quanto às respectivas resoluções espacial, temporal e radiométrica, principalmente quando aplicadas em áreas pequenas.

O custo de aquisição da imagem orbital é outra adversidade proibitiva aos pequenos produtores rurais. Sendo esta suprida pela aquisição de fotos aéreas fornecidas por VANT fotogramétrico, possibilitando assim que estes produtores possam rapidamente aplicar alguma correção e assim aumentar sua produção.

No Brasil, os VANT's estão se tornando uma realidade cada vez maior, com aplicações voltadas principalmente à área da agricultura, vigilância e monitoração de recursos. Empresas como a Embrapa precisam de fotos aéreas que auxiliem na identificação de irregularidades no plantio, controle de doenças e pragas, pulverização adequada e formem uma base de dados que maximize o resultado de uma colheita (FURTADO, 2008).

O poder de aquisição de dados espaciais por tecnologias que utilizam técnicas fotogramétricas deve ser validado insistentemente, devido à grande quantidade de variáveis existentes no processo. Uma possível inovação sob as técnicas clássicas de fotogrametria faz menção a adaptações direcionadas a VANT. A investigação quanto aos tipos de lentes e filtros necessários para a detecção desse tipo de vegetação e consequentemente a identificação das falhas será fundamental para futuros trabalhos. A adaptação do VANT para o transporte de equipamento fotográfico terá uma contribuição significativa, pois, a relação, peso versus tempo de voo, sempre deverá ser observado.

A cultura de milho, muito diferentemente de várias outras, como arroz, feijão, soja e sorgo, é cultivada com relativamente pequeno número de plantas por unidade de área. Em virtude disso, a contribuição de uma planta para a composição final dos rendimentos de grãos é maior, ou seja, a perda de plantas, total ou parcial, na cultura do milho, em relação a uma perda de igual número nos outros cultivos referidos, causa prejuízo maior à produção (CRUZ, 1997). Portando, pretende-se usar VANT associado às técnicas fotogramétricas para a detecção das falhas existentes nesse plantio, utilizando apenas dados de uma câmera não métrica com informações do visível (RGB) e classificação supervisionada para identificá-las na ortofoto.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 CLASSIFICAÇÃO

A fotogrametria interpretativa objetiva principalmente o reconhecimento e identificação de objetos e o julgamento do seu significado, a partir de uma análise sistemática e cuidadosa de fotografias. A interpretação de fotos é o ato de examinar as imagens fotográficas com o propósito de identificar os objetos e determinar sua significância. A esta definição deve-se adicionar o conceito de identificar o ambiente, porque muitos fatores críticos exigem que o processo seja mais do que simplesmente identificar objetos individualmente (TEMBA, 2000).

Juntamente da fotogrametria interpretativa está a classificação supervisionada das imagens, pois o analista irá identificar as regiões de interesse para que o software possa encontrar todas as outras regiões com semelhança a indicada. Segundo Campbell (2011), a classificação supervisionada pode ser informalmente definida como o processo no qual amostras de identidade conhecida são utilizadas para classificar pixels de identidade desconhecida.

Neste processo, um analista identifica na imagem as classes de informação de seu interesse e separa regiões que melhor representem estas classes. Dentro destas regiões ele separa áreas de treinamento que contêm os pixels que serão usados como representantes da classe. A partir destes pixels são extraídas determinadas características das classes, que serão usadas para a classificação dos demais pixels (MAXIMO; FERNANDO, 2005).

2.2 FOTOGRAMETRIA

A Fotogrametria aérea (ou Aerofotogrametria) é uma subdivisão da Fotogrametria, na qual as fotografias do terreno são tomadas por uma câmara de precisão montada em uma aeronave (TOMMASELLI, 2004).

Segundo Coelho e Brito (2009) existem muitas definições do que é a Fotogrametria e cada uma reflete uma visão diferente sobre o tema, que expressa diferentes perfis e diferentes épocas. A tendência hoje – sobretudo com o desenvolvimento da fotogrametria digital e de sensores

orbitais compatíveis com a atividade fotogramétrica – é que a fotogrametria esteja inserida no contexto global do sensoriamento remoto, grosso modo definido como ciência e tecnologia de aquisição de informação sobre um objeto sem contato direto entre este e o sensor. Os mesmos autores relatam que são vários os objetivos da fotogrametria: reduzir o trabalho de campo no levantamento de coordenadas de um ou vários objetos e o tempo de obtenção de tais dados. Entretanto, o objetivo principal da fotogrametria pode ser enunciado como a reconstrução de um espaço tridimensional, chamado de espaço-objeto, a partir de um conjunto não vazio de imagens bidimensionais, chamado de espaço-imagem.

2.3 VEÍCULOS AÉREOS NÃO TRIPULADOS (VANT)

A evolução tecnológica dos equipamentos de fotografia e navegação e a necessidade de redução de tempo e custos nos processos de aquisição fez surgir sistemas alternativos aos utilizados tradicionalmente na aquisição de fotografia aérea. Estes sistemas, que incluem um veículo aéreo não tripulado, foram usados inicialmente e desenvolvidos por militares tendo em vista operações hostis de maior perigo e ações de reconhecimento em áreas de difícil acesso (VIDAL, 2013).

VANT é a abreviação de Veículo Aéreo Não Tripulado, sendo a nomenclatura em português para UAV – *Unmanned Aerial Vehicle ou Unmanned Airbone Vehicle*. Destaca-se que a palavra *Uninhabited* (não habitado) é encontrada substituindo a *Unmanned* em algumas situações. O termo *drone* também tem sido aplicado, principalmente nos Estados Unidos, para se referir a veículos aéreos não tripulados que envolvam normalmente emprego mais acentuado da robótica e apresentam maior autonomia na operação (LONGHITANO, 2010).

No Brasil a Instrução Suplementar – IS N° 21-002ª da Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC, 2010), diz que embora sejam denominados como VANTs, esses veículos são considerados aeronaves, e está definido como "*Aeronave projetada para operar sem piloto a bordo e que não seja utilizada para fins meramente recreativos. Nesta definição,*

incluem-se todos os aviões, helicópteros e dirigíveis controláveis nos três eixos, excluindo-se, portanto, os balões tradicionais e os aeromodelos".

Todas as possibilidades pensáveis ficam em aberto para o uso desta nova ferramenta. Áreas como a cartografia, exploração mineira a céu aberto, telecomunicações, obras viárias, agricultura, segurança, serviços continuados de acompanhamento e monitorização entre muitas, são exemplos das que já usufruem ou podem vir a usufruir destes novos serviços (VIDAL, 2013).

Porém, os VANTs têm limitação em termos de capacidade de carga a bordo e condições climáticas. Se equipados com equipamentos de transmissão de dados, são capazes de transmitir, em tempo real os dados recolhidos. Sendo assim, as aeronaves não tripuladas têm sido projetadas para vários tipos de missão, mas o relato que se tem é que a origem desses veículos está ligada à área militar, como alvos manobráveis, reconhecimento tático, guerra eletrônica, entre outras (MEDEIROS, 2007).

2.4 APLICAÇÕES DOS VANTS

Medeiros (2007) apresentou o desenvolvimento dos VANTs como uma importante opção para o monitoramento e sensoriamento das atividades agrícolas. Já em 2011, a Embrapa (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária) em conjunto com a *Rotomotion* desenvolveram uma nova solução para aplicações agrícolas, investiram no desenvolvimento de uma plataforma e uma aeronave que fosse capaz de operar nas condições de campo adversas, que são as áreas agrícolas, porém com bom desempenho e baixo risco (JORGE, 2011).

Longhitano (2010) verificou a aplicabilidade de sensoriamento remoto por VANTs, para auxílio na avaliação e monitoramento de impactos ambientais causados por acidentes envolvendo transportes de cargas perigosas em rodovias. Os resultados mostraram que fotos aéreas podem auxiliar as equipes a avaliarem remotamente a situação ambiental, de forma mais rápida e segura e com geração de melhores informações.

Palermo e Leite (2013) usaram da tecnologia VANT aliado ao apoio geodésico, para a geração de um modelo digital tridimensional das ruínas

do Sítio Arqueológico São Miguel Arcanjo no município de São Miguel das Missões, no estado do Rio Grande do Sul.

Almeida (2014) realizou um estudo que discute a qualidade dos produtos gerados, a viabilidade técnica e econômica de levantamentos aerofotogramétricos usando VANT para mapeamento de pequenas áreas destinadas a projetos viários e também as adaptações de um quadricóptero de custo reduzido quando comparado aos sistemas próprios para mapeamento, disponíveis hoje no mercado. Para o desenvolvimento dos estudos foi escolhida uma área teste (16,30 hectares) localizada no estado da Paraíba, sendo usado um quadricóptero modelo DJI Phantom Vision 2, adaptado para a realização de mapeamento aéreo.

Em 2015, pesquisadores do Departamento Nacional de Produção Mineral do estado do Ceará, e envolvidos da Universidade Federal do Ceará e dos Institutos Federais do Maranhão e Rio Grande do Norte, avaliaram a eficiência da aplicação de VANT para cálculo de volume de materiais de mineração, observando a acurácia do resultado obtido quando comparado com produtos do LIDAR e GNSS (SILVA et al., 2016).

3. MATERIAL E MÉTODO

3.1 ÁREA DE ESTUDO

Foi selecionada uma área contendo a cultura de milho (Figura 01) da fazenda escola do IFSULDEMINAS Campus Inconfidentes – MG.

FIGURA 1. Área de Estudo. Fonte: Autor (2017).



Este experimento foi delimitado por uma área de 3,8988ha, tendo sua localização nas redondezas das coordenadas 22°18’20.637” S e 46°19’58.088” O.

3.2 MATERIAL

- ✓ Equipamento GPS ProMark 220: Pós-processamento estático: 5mm+ 1ppm típico; Pós-processamento cinemático: 12mm+2ppm típico; RTK: 10mm+1ppm típico; DGPS: < 30cm+1ppm típico; SBAS: <50cm;
- ✓ Software GNSS Solutions Versão 3.80.8 - Licença gratuita de 30 dias;
- ✓ Câmara GoPro Hero 3+ Black Edition: distância focal de 2,77mm, Unidade CCD 1,55 micrometros, 12 mega pixels;
- ✓ Software Agisoft Photoscan Versão 1.26 - Licença Educacional;
- ✓ Software ERDAS Imagine 2011 - Licença Educacional;
- ✓ VANT Octacóptero S1000 da DJI com sistema de navegação, GPS, Telemetria e FPV (Figura 02).

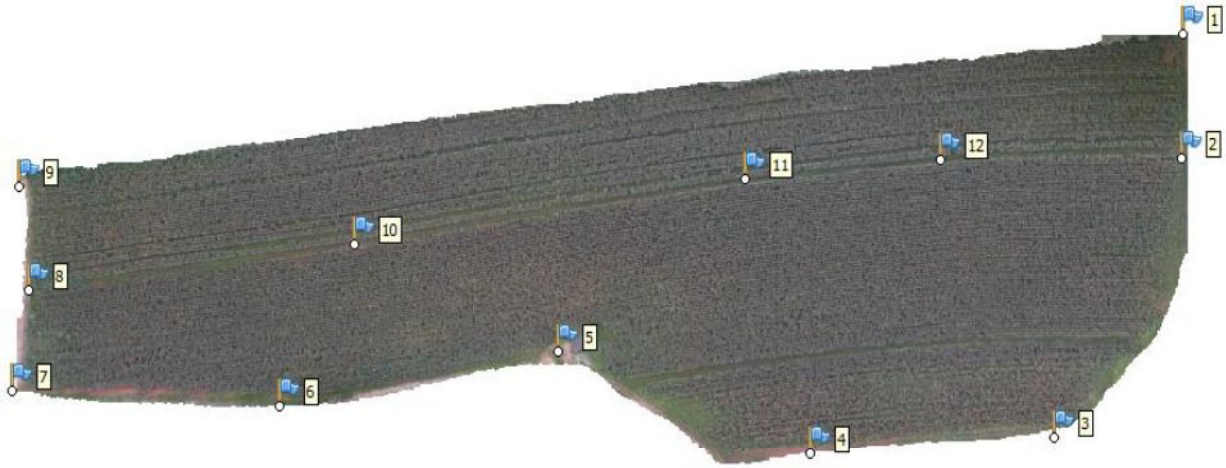
FIGURA 2. VANT fotogramétrico da Octacóptero DJI. Fonte: Autor (2017).



3.3 MÉTODO

Foram distribuídos doze pontos por toda área experimental. Os pontos foram utilizados posteriormente para o georreferenciamento da ortofoto resultante. Para a coleta dos dados foi utilizado o equipamento GPS ProMark 220, em cada ponto foi utilizado o método estático rápido com tempo de rastreio aproximado de dez minutos. Com os dados adquiridos com o GPS e a base de monitoramento continuo do IBGE localizado na cidade de Inconfidentes – MG, e utilizando o software GNSS Solutions Versão 3.80.8 foram processados os dados, adquirindo assim as coordenadas E, N e Z de todos os pontos (Figura 03;Tabela 01).

FIGURA 3. Distribuição espacial dos Pontos de Apoio. Fonte: Autor (2017).



Foi realizada uma investigação quanto ao modo de plantio da cultura de milho no experimento. Foi informado que a plantação seguiu um espaçamento tradicional de 20cm por 80cm, ou seja, 20cm entre plantas de mesma fileira e 80cm entre fileiras. Logo, para a aquisição das fotos aéreas foi realizado um planejamento de voo, onde os parâmetros para o voo foram definidos com a intenção de obter uma resolução espacial de 3 cm, o que provavelmente suprirá a necessidade para esta cultura. Buscou-se um recobrimento longitudinal superior a 70% e Lateral superior a 40%.

TABELA 1. Pontos de Apoio coletados

Ponto	***E***	***N***	***Z***
1	362894,92	7532790,76	935,12
2	362894,51	7532755,64	937,48
3	362855,21	7532676,42	940,64
4	362779,95	7532671,60	941,13
5	362702,41	7532700,58	938,74
6	362617,13	7532685,09	938,91
7	362534,89	7532689,45	938,10
8	362539,59	7532717,97	934,87
9	362536,90	7532747,44	930,66
10	362639,85	7532731,13	935,24
11	362760,27	7532749,57	936,67
12	362820,26	7532755,01	936,86

Para a aplicação das técnicas fotogramétricas é necessário realizar correções nas fotografias adquiridas no levantamento de campo, podendo citar entre elas, a correção do efeito olho de peixe presente na lente da câmara GoPro Hero 3+ Black Edition, e a outra correção sendo o redimensionamento da fotografia, isto para diminuir as distorções presentes nas bordas das fotografias devido a lente desse equipamento possuir um alto FOV.

Depois de feitas as correções, foi realizado o georreferenciamento das imagens no software Agisoft Photoscan Versão 1.26 utilizando os pontos de controle (Tabela 01), e em seguida foram realizados o alinhamento e a triangulação dos pontos homólogos presentes nas fotografias, gerando o modelo digital de superfície e posteriormente, com a equação da colinearidade (Equações 01 e 02), foi gerado uma ortofoto da região.

$$x' = -c\frac{m11(X-Xo)+m12(Y-Yo)+m13(Z-Zo)}{m31(X-Xo)+m32(Y-Yo)+m33(Z-Zo)} \qquad (01)$$

$$y' = -c\frac{m21(X-Xo)+m22(Y-Yo)+m23(Z-Zo)}{m31(X-Xo)+m32(Y-Yo)+m33(Z-Zo)} \qquad (02)$$

onde: c é a constante da câmara - distancia focal (espaço imagem); X, Y e Z são as coordenadas dos pontos no espaço objeto; X_0, Y_0 e Z_0 são as coordenadas do centro perspectivo no espaço objeto; m_{ij} são os elementos

da matriz de rotação (κ, φ, ω); e x', y' são as coordenadas dos pontos no espaço imagem.

Posteriormente foi realizada a classificação supervisionada no software ERDAS Imagine 2011 usando o método Mínima Distância podendo assim identificar as falhas presentes no plantio.

Para o aprendizado do algoritmo supervisionado foram coletas amostras das classes de interesse, neste caso foram selecionadas três classes, sendo uma delas para a identificação da cultura de milho e as outras duas para as falhas. As falhas correspondem a vegetação secundaria que se desenvolveu junto ao milho e a outra o solo exposto.

As falhas no plantio serão quantificadas manualmente, buscando valores para falhas no metro quadrado plantado. Também, no intuito de validar os resultados, foi gerada a matriz de confusão com o índice Kappa e o coeficiente global da classificação. Os coeficientes calculados pelo índice Kappa são qualificados com base na tabela desenvolvida por Landis e Koch em 1977(Tabela 02)(MOREIRA, 2001).

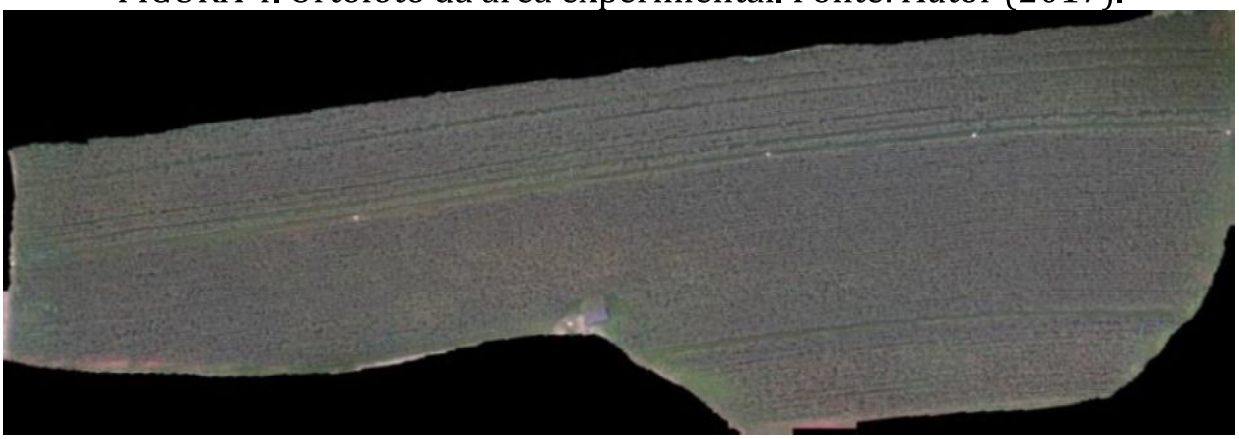
TABELA 2. Índice kappa adaptado de Moreira (2001)

Variação do Índice Kappa	**Concordância**
Menor que 0,20	Pobre, Ruim
Entre 0,21 e 0,40	Fraca, Razoável
Entre 0,41 e 0,60	Moderada, Boa
Entre 0,61 e 0,80	Muito Boa
Entre 0,81 e 1,00	Excelente

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para a geração da ortofoto (Figura 04), foi realizado um voo com altura de 58 m e velocidade de 8 m/s, recobrimento lateral de 50% e longitudinal de 80%, resultando um total de 59 imagens. Em seguida estas fotos foram adicionadas ao software Agisoft Photoscan versão 1.26,. gerando uma ortofoto da área experimental. Ao finalizar a geração da ortofoto foi verificada sua resolução espacial e notou-se que estava com 2,93 cm.

FIGURA 4. Ortofoto da área experimental. Fonte: Autor (2017).

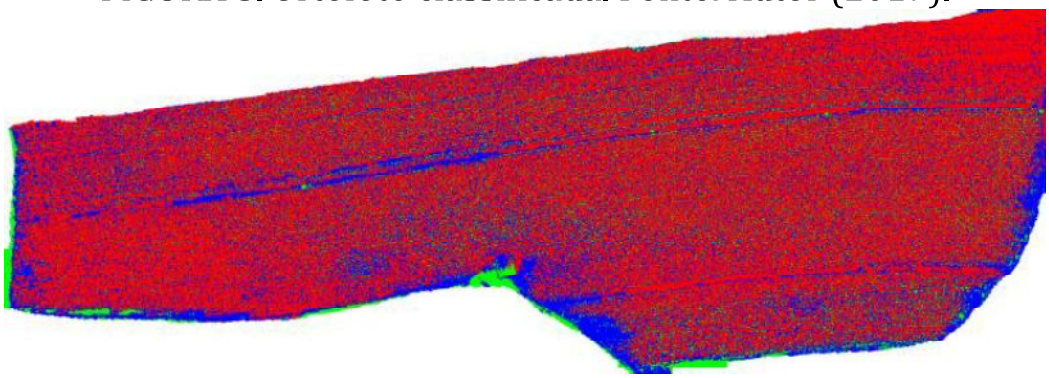


Após a geração da ortofoto, iniciou a investigação quanto ao método usado para o plantio do milho. Constatou-se que realmente o espaçamento entre uma planta e outra, em mesma linha de plantio, possuem valor de aproximadamente 20cm e o espaçamento entre linhas de plantio corresponde aproximadamente 80cm. Este espaçamento entre linhas pode, naturalmente, gerar falhas na lavoura dependendo do estágio da cultura.

Portanto, quantificando na foto manualmente, notou-se que no espaçamento entre linhas, em média, está com 7 pixels de falha, o que corresponde a aproximadamente 20cm. Na mesma linha de plantio não percebe-se falhas entre plantas de milho. Logo, realizando-se alguns cálculos simples para quantificar falhas no metro quadrado plantado, notou-se que 20cm da falha dividido por 80cm da distância entre fileiras corresponde a 25% da área total, que estão entre as linhas de plantio. Portanto, sobram 75% da área para a cultura. Percebeu-se ainda que para o quantitativo de falhas resta-se calcular as áreas em que não ocorreu o desenvolvimento apropriado da cultura, pois ela está presente mas não desenvolvida como as demais.

Enfim, foi realizada a classificação supervisionada pelo método proposto. Com a classificação finalizada foi verificado que a classe com cultura de milho (Figura 05 – Cor Vermelha) está em 64,05% da área e os outros 35,95% estão com as falhas: vegetação secundaria (Figura 05 – Cor Azul) e solo exposto (Figura 05 – Cor Verde).

FIGURA 5. Ortofoto classificada. Fonte: Autor (2017).



Comparando esse resultado com os calculados anteriormente, nota-se que os dados estão consistentes com os calculados, pois o valor apresentado para a cultura foi de 64,05%, realizando a diferença com 75%, obtém-se 10,95%. Esse valor da diferença corresponde a algumas plantas que não se desenvolveram, porém foi previsto no quantitativo realizado manualmente. Na metodologia manual de fotointerpretação é difícil identificar plantas com deficiência de crescimento.

A falha prevista manualmente foi de 25% e o estimado pelo algoritmo foi de 35,95%, esse fato ocorreu devido o algoritmo de classificação ter identificado as falhas de crescimento da planta que correspondem aproximadamente a 10,95%.

Porém, buscando consolidar os resultados, e no intuito de validar a classificação da ortofoto gerou-se a matriz confusão (Tabela 03) e consequentemente o índice kappa e o coeficiente global.

O índice kappa resultante da ortofoto foi de 0,7102. Segundo Moreira (2001), valores de Kappa entre 0,6 e 0,8, são tidos como muito bons. O coeficiente global que aponta a exatidão da classificação foi de 80,7% que também foi coerente e satisfatório, sendo que quanto mais próximo de 100% melhor será o coeficiente global.

TABELA 03. Matriz Confusão: Dados em Pixels

Classes	Milho	Vegetação Secundária	Solo	Total
Milho	6875	1860	0	**8735**
Vegetação Secundária	2591	7846	14	**10451**
Solo	765	191	7953	**8909**
Total	**10231**	**9897**	**7967**	**28095**

5. CONCLUSÃO

Ao finalizar este trabalho podemos verificar que o método proposto mostrou-se consistente e satisfatório para a identificação das falhas encontradas no plantio de milho. O método de validação proposto por Moreira (2001), denominado de Kappa, para este caso, apresentou-se coerente quando comparado com os valores obtidos manualmente, possibilitando-se estimar as áreas de falhas na cultura de milho.

O método abordado além de ser um método eficaz para a identificação de falhas, também apresenta-se como de baixo custo podendo assim atender e auxiliar pequenos e grandes proprietários.

Uma outra técnica a ser utilizada que possivelmente melhoraria os resultados encontrados seria a utilização de um câmera com infravermelho e RGB para que assim possa gerar um NDVI da área, com isso melhoraria a distinção entre as classes.

6. OUTRAS INFORMAÇÕES PERTINENTES

Este trabalho tem sido apoiado por bolsas de iniciação científica de agencia de fomente interna ao campus Inconfidentes - MG do IFSULDEMINAS. O Drone fotogramétrico utilizado foi idealizado pela equipe FOTOROBI - Laboratório de Fotogrametria, Robótica e Inovação deste campus. Esse equipamento possibilita a embarcação de multisensores, o que flexibiliza diversas aplicações como a inserção de um novo sensor para captura de dados do comprimento de onda do Infravermelho.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL. IS 21-002 **Revisão A: emissão de certificado de autorização de voo experimental para veículos aéreos não tripulados.** Brasília, 2010. Disponível em: http://pergamum.anac.gov.br/arquivos/IS21-002A.PDF. Acesso em: 06 mai. 2016.

ALMEIDA, Igor de Carvalho. **Estudo sobre o uso de veículo aéreo não tripulado (VANT) para mapeamento aéreo com fins de elaboração de projetos viários.** 2014. 149 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Católica de Pernambuco, Recife, 2014. Disponível em: <files.labtopope.webnode.com/.../Estudo_ veículo_aéreo_não_tripula...>. Acesso em: 25 jun. 2016.

CAMPBELL, James B.; WYNNE, Randolph H. **Introduction to remote sensing.** Guilford Press, 2011.

CHAVES, Arthur Avelar; LA SCALEA, Rodrigo Antonio. Uso de VANTs e processamento digital de imagens para a quantificação de áreas de solo e de vegetação. **Anais XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto-SBSR, João Pessoa-PB, Brasil**, v. 25, 2015.

COELHO, Antônio Marcos. Agricultura de Precisão: manejo da variabilidade espacial e temporal dos solos e culturas. **Agricultura**, v. 1518, n. 4277, p. 46, 2005.

COELHO.L ; BRITO.N.J .2007. **Fotogrametria digital.** Universidade do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, Brasil: 2009.

CRUZ, Ivan. Manejo de pragas na cultura de milho. **FANCELLI, AL; DOURADO NETO, D.(Coords.). Tecnologia da produção de milho. Piracicaba: USP-ESALQ**, p. 18-39, 1997.

FIGUEIREDO, Divino. Conceitos básicos de sensoriamento remoto. **Companhia Nacional de Abastecimento-CONAB. Brasília-DF**, 2005.

FURTADO, Victor Hugo et al. Aspectos de segurança na integração de veículos aéreos não tripulados (VANT) no espaço aéreo brasileiro. In: **Anais do VII Simpósio de Transporte aéreo-Sitraer7.** 2008. p. 506-517.

JORGE, Lúcio André de Castro; INAMASU, Ricardo Yassushi; CARMO, Rhendrix Borges do. Desenvolvimento de um VANT totalmente configurado para aplicações em Agricultura de Precisão no Brasil. **Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Curitiba, p.0399-0406, 30 abr. 2011. Disponível em: <www.dsr.inpe.br/sbsr2011/files/p1484.pdf>. Acesso em: 28 jul. 2016.

LONGHITANO, George Alfredo. **VANTS para sensoriamento remoto: aplicabilidade na avaliação e monitoramento de impactos ambientais causados por acidentes com cargas perigosas.** 2010. 148 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestre em Engenharia, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010. Disponível em: <www.teses.usp.br/teses/.../Dissertacao_George_Alfredo_Longhitano.pdf>. Acesso em: 25 fev. 2016.

MÁXIMO, Orlando Alves; FERNANDES, David. Classificação supervisionada de imagens SAR do SIVAM pré-filtradas. In: **XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto.** 2005. p. 4139-4146.

MEDEIROS, F. A. **Desenvolvimento de um veiculo aéreo não tripulado para aplicação em agricultura de precisão**, 2007. 102f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícula) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria - RS.

MOREIRA, M. A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação.** São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, 2001.

PALERMO, Rodrigo de Avila; LEITE, TaÍs Correia. **Integração de levantamento fotogramétrico aéreo com o uso de vant e levantamento fotogramétrico terrestre para o mapeamento tridimensional das ruínas de são miguel das missões.** 2013. 174 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Cartográfica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013. Disponível em: <www.lume.ufrgs.br/handle/10183/77752?locale=pt_BR>. Acesso em: 06 ago. 2016.

SILVA, Cristiano Alves da et al. AVALIAÇÃO DA ACURÁCIA DO CÁLCULO DE VOLUME DE PILHAS DE REJEITO UTILIZANDO VANT, GNSS E LiDAR. **Boletim Ciências Geodésicas**, Curitiba, v. 22, n. 1, p.73-94, mar. 2016.

TEMBA, Plínio. Fundamentos da Fotogrametria. **Belo Horizonte: UFMG**, 2000.

TOMMASELLI, Antonio MG. Fotogrametria Básica. **Presidente Prudente: UNESP.** Disponível em, 2004.

VIDAL, Augusto Manuel Fonseca**. Extração e avaliação de geo-informação pelo uso de imagens adquiridas por veículos aéreos não tripulados.**2013. 59 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Geográfica, Departamento de Geociências, Ambiente e Ordenamento do Território, Faculdade de Ciências da Universidade do Porto., Porto, 2013. Disponível em: <sigarra.up.pt/fcup/pt/publs_pesquisa.show_publ_file?pct_gdoc_id.>. Acesso em: 06 ago. 2016.

USO DA FÓRMULA DE KOPPE PARA AVALIAÇÃO DA ACURÁCIA POSICIONAL EM MDS

Thaís Rodrigues de Oliveira
Afonso de Paula dos Santos
Nilcilene das Graças Medeiros
Julio Cesar Oliveira

Universidade Federal de Viçosa - Campus Viçosa
{thais.r.oliveira@ufv.br, afonso.santos@ufv.br, nilcilene.medeiros@ufv.br, oliveirajc@ufv.br }

RESUMO

Com a revolução tecnológica, o volume de produtos cartográficos cresce consideravelmente, surgindo a necessidade de padronização na produção e um efetivo controle de qualidade dos produtos gerados. Um método que pode ser utilizado na avaliação da acurácia posicional em curvas de nível e Modelos Digitais de Superfície (MDS) é a Fórmula de Koppe, que estima a incerteza posicional horizontal e vertical a partir de coeficientes da regressão linear entre as discrepâncias altimétricas e a inclinação da área de estudo. Assim, o objetivo deste trabalho é descrever metodologicamente a utilização da Fórmula de Koppe para avaliar a acurácia posicional em um MDS, bem como a comparação deste método com o padrão brasileiro de acurácia posicional descrito pelo Decreto-Lei 89.817/ET-CQDG. De forma a demonstrar a aplicação da metodologia proposta, foi analisada a acurácia posicional de um MDS gerado a partir de imagens Ikonos da região de Viçosa-MG. As acurácias verticais e horizontais foram compatíveis tanto para a Fórmula de Koppe quanto para o Decreto-lei/ET-CQDG, obtendo classificação para escala de 1:25.000 com 10 metros de equidistância entre as curvas de nível.

Palavras-chave: Controle de Qualidade Cartográfica; Acurácia Posicional; Fórmula de Koppe.

USING THE KOPPE FORMULA TO EVALUATE THE POSITIONAL ACCURACY OF DSMs

ABSTRACT

Along with the technologic revolution, the volume of cartographic products grows considerably, emerging the need of a standardization on map production and an effective quality control of these spatial data. One of the methods used to evaluate the positional accuracy of contour lines and Digital Surface Models (DSM) is the Koppe Formula, which estimates the vertical and horizontal uncertainty from linear regression's coefficients between altimetric discrepancies and slopes of the study area. This way, the purpose of this article is to describe methodologically the use of the Koppe Formula to evaluate the positional accuracy in a DSM, as well to compare this method with the Brazilian standard stated by the Decree-Law 89.817/ET-CQDG. The positional accuracy of a DSM generated from an Ikonos image of the Viçosa-MG area was analyzed to demonstrate the application of this methodology. The vertical and horizontal accuracies were consistent for both Koppe Formula and Decree-Law/ET-CQDG, getting classification to the 1:25,000 scale with a 10 meter equidistance between contour lines.

Keywords: Cartographic Quality Control; Positional Accuracy; Koppe Formula.

1. INTRODUÇÃO

O conhecimento do território sempre foi imprescindível e relevante desde o princípio da humanidade. Além da localização espacial e o tipo de informação representada, os produtos cartográficos também podem transcrever graficamente uma informação temática da área mapeada. Assim, com o passar do tempo e da evolução da sociedade, as informações espaciais têm demonstrado um importante papel no processo de modelagem e análise de diversos fenômenos de interesse.

Um dos dados espaciais mais utilizados são os Modelos Digitais de Superfície (MDS) e os Modelos Digitais de Elevação (MDE), que permitem

a representação da superfície de modo contínuo e com uma quantidade finita de amostras no espaço tridimensional (LI et al., 2005). As três dimensões representadas pelo MDS são as coordenadas planimétricas (X e Y) e a altitude (Z) da superfície terrestre.

O MDS/MDE é de fundamental importância para a geração de outros produtos cartográficos, como por exemplo a ortorretificação de imagens, além de diversas aplicações como em projetos ambientais, de engenharia, entre outros.

Considerando o crescente uso de dados espaciais em diversas áreas do conhecimento, pode-se perceber uma revolução geoespacial, com o aumento na disponibilização de dados espaciais gratuitamente, novos métodos e algoritmos, bem como softwares cada vez mais amigáveis (Santos et al., 2016). Contudo, à medida em que as tecnologias usadas nos procedimentos para geração de produtos cartográficos aumentam, o número de usuários não especialistas em mapeamento também se eleva (Galo e Camargo, 1994), e na maioria dos casos, o cuidado com a qualidade posicional na geração dos produtos é negligenciado.

Surge então a necessidade de identificar o nível de qualidade dos produtos gerados, para que se possa inferir se os mesmos atendem às normatizações pré-estabelecidas quanto à finalidade para a qual foram desenvolvidos.

Quando se trata de controle de qualidade cartográfica, diversos fatores devem ser analisados, como acurácias posicional e temática, temporalidade, completude, consistência lógica, usabilidade (ISO, 2013), fidelidade semântica e linhagem/metadados (ARIZA, 2002; NOGUEIRA JR., 2003).

No Brasil, o Decreto-Lei 89.817 de 1984 estabelece as instruções reguladores das Normas Técnicas da Cartografia Nacional, com o propósito de estabelecer padrões mínimos a serem adotados no desenvolvimento das atividades cartográficas. O padrão adotado para determinação da acurácia posicional descrito no Decreto-Lei 89.817 de 1984 é complementado pela Especificação Técnica de Controle de Qualidade de Dados Geoespaciais (ET-CQDG) de 2016.

Outros padrões são empregados internacionalmente, como os padrões de qualidade posicional propostos pela Sociedade Americana de Fotogrametria e Sensoriamento Remoto dos Estados Unidos (ASPRS), as normas técnicas STANAG da Organização do Tratado do Atlântico Norte (OTAN), a Fórmula de Koppe para avaliar a qualidade posicional de curvas de nível, entre outros (NSA, 2010; IMHOF, 2007; ASPRS, 2014).

A Fórmula de Koppe, desenvolvida no início do século XX, estima as incertezas horizontais e verticais por meio de uma regressão linear entre as discrepâncias altimétricas e a tangente da inclinação do terreno (IMHOF, 2007; MOZAS et al., 2013). A partir dos coeficientes resultantes da regressão linear são classificados os produtos cartográficos em uma determinada escala e equidistância vertical entre curvas de nível (ARIZA, 2002; EGG et al., 2013).

Sendo assim, este trabalho tem como objetivo apresentar metodologicamente a utilização da Fórmula de Koppe para avaliação da acurácia posicional de produtos cartográficos, especificamente produtos cartográficos com informações tridimensionais, como os modelos digitais de superfície. Além disto, foi realizada uma comparação dos resultados obtidos com a metodologia empregada pela Fórmula de Koppe e as diretrizes do Decreto-Lei 89.817/ET-CQDG.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 MODELO DIGITAL DE SUPERFÍCIE

No meio cartográfico, existem diversas maneiras de representar dados tridimensionais no espaço bidimensional. Uma delas é o Modelo Digital do Terreno (MDT), que permite uma representação da superfície de modo contínuo com uma quantidade finita de amostras.

Segundo Li et al. (2005), um MDT é definido como um conjunto ordenado de pontos amostrados que representam a distribuição espacial de qualquer tipo de informação no terreno. Existem outras duas definições para o MDT quando o atributo de interesse é altitude. A primeira é o Modelo Digital de Elevação (MDE), que representa a superfície terrestre, imersa ou emersa, sem considerar os elementos constituintes sobre essa superfície. Já segunda definição consiste no

Modelo Digital de Superfície (MDS), que representa a superfície considerando as elevações de quaisquer objetos acima desta, como as edificações e a cobertura vegetal (LI et al., 2005).

Um MDS/ MDE, normalmente, utiliza-se do formato de representação matricial, que discretiza o terreno em uma malha regular onde cada célula da matriz possui um determinado valor de altitude.

Os MDS/MDE podem ser gerados a partir de diferentes técnicas, como levantamento topográfico ou geodésico; a partir de um par de imagens estéreo por levantamento fotogramétrico, ou imageamento orbital; interferometria por radar; Laser Scanner aerotransportado ou terrestre, entre outras.

2.2 CONTROLE DE QUALIDADE POSICIONAL

A qualidade de um produto cartográfico refere-se ao grau de fidelidade dos dados representados cartograficamente em relação à realidade da superfície terrestre.

Dentre os diversos elementos do controle de qualidade cartográfica, a acurácia posicional é um dos elementos mais pesquisado e avaliado. A acurácia posicional diz respeito à proximidade da posição do dado espacial no produto cartográfico em relação a sua posição na superfície terrestre.

De acordo com a estatística clássica, o erro é definido como a diferença entre o valor observado e o valor verdadeiro de uma grandeza geométrica. Já a discrepância é dada pela diferença entre o valor observado e o valor de referência, este último obtido por um instrumento com menores erros sistemáticos e aleatórios (SANTOS, 2010). Em contrapartida, o termo exatidão sugere a ausência de erros em um dado espacial, indicando a perfeição de uma medida.

De acordo com Monico et al. (2009), a acurácia expressa o grau de proximidade de uma estimativa com o parâmetro para qual ela foi estimada, ou seja, o valor mais provável. A acurácia incorpora efeitos aleatórios e sistemáticos, portanto é a junção da precisão (efeitos aleatórios) e da tendência (efeito sistemático).

Segundo Santos et al. (2016), nas ciências geodésicas e cartográficas um dos principais objetivos é a realização de posicionamentos ou de

aquisição de informações espaciais para representação de elementos ou fenômenos da superfície terrestre. Como qualquer medida realizada contém incertezas, o valor real para um posicionamento ou localização na superfície terrestre não é conhecido, e sim o valor mais provável. Desta forma, os conceitos que se adequam melhor ao controle de qualidade cartográfica são os da discrepância e da acurácia, sendo equivocado o uso dos termos erro e exatidão.

O Decreto-lei 89.817(BRASIL, 1984) é a norma oficial vigente no Brasil que estabelece os padrões de qualidade cartográfica no que diz respeito à acurácia posicional.

Em 2016, a DSG (Divisão de Serviços Geográfico do Exército Brasileiro) criou a ET-CQDG (Especificação Técnica para Controle de Qualidade de Dados Geoespaciais) (DSG, 2016), documento vinculado à INDE (Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais), que tem como objetivo fornecer uma forma padronizada de avaliar a qualidade de produtos integrantes do Sistema Cartográfico Nacional (SCN).

O Decreto-lei 89.817/1984 estabelece um indicador estatístico denominado PEC (Padrão de Exatidão Cartográfica), baseado em uma tolerância denominada Erro-Padrão (EP), que classifica os produtos cartográficos em uma determinada escala para três classes (A, B e C). A ET-CQDG possui uma classe mais restritiva para produtos cartográficos digitais, sendo a tolerância PEC do Decreto-lei chamada de PEC-PCD, e dispondo de quatro classes (A, B, C e D), tanto na planimetria quanto na altimetria, conforme exposto na Tabela 1.

Segundo Brasil (1984) e DSG (2016), para que um produto seja classificado de acordo com o padrão Decreto-lei 89.817/ET-CQDG, o mesmo deve atender duas condições: (i) pelo menos 90% dos valores de discrepância dos pontos avaliados devem ser menores ou iguais ao valor do PEC-PCD para determinada escala e classe testada e; (ii) o RMS (*Root Mean Square*) da amostra de discrepância posicional deve ser menor ou igual ao EP para a escala e classe testada. Dessa forma, parametriza-se a qualidade cartográfica do produto e pode-se definir seus possíveis usos.

O RMS (Equação 2) é um estimador de acurácia posicional que analisa a tendência e a dispersão da amostra de discrepâncias posicionais (Equação 1) em um produto cartográfico.

TABELA 1. Tolerâncias e Classes definidas no Decreto-Lei 89817/ET-CQDG

Classe	Planimetria		Altimetria	
	PEC-PCD	EP	PEC-PCD	EP
A	0,28mm * D	0,17mm * D	0,27 eq	0,17 eq
B	0,5 mm * D	0,3mm * D	0,50 eq	0,33 eq
C	0,8 mm * D	0,5 mm * D	0,60 eq	0,40 eq
D	1,0 mm * D	0,6 mm * D	0,75 eq	0,5 eq

* *D* é o denominador da escala; *eq* é a equidistância vertical entre curvas de nível.

$$d_x = x' - x \tag{1}$$

$$RMS_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} (\mathrm{d}_{x_i})^2}{n}} \tag{2}$$

onde *n* é o número de pontos analisados; *x'* é a coordenada do ponto no produto cartográfico; *x* é a coordenada de referência do ponto em campo ou de um produto sabidamente de maior acurácia e *dx* é a discrepância posicional.

O RMS horizontal é dado pela resultante do RMS para as discrepâncias em X e discrepâncias em Y. O RMS vertical é dado aplicando-se apenas a Equação 1 para os valores de discrepância altimétricas da amostra.

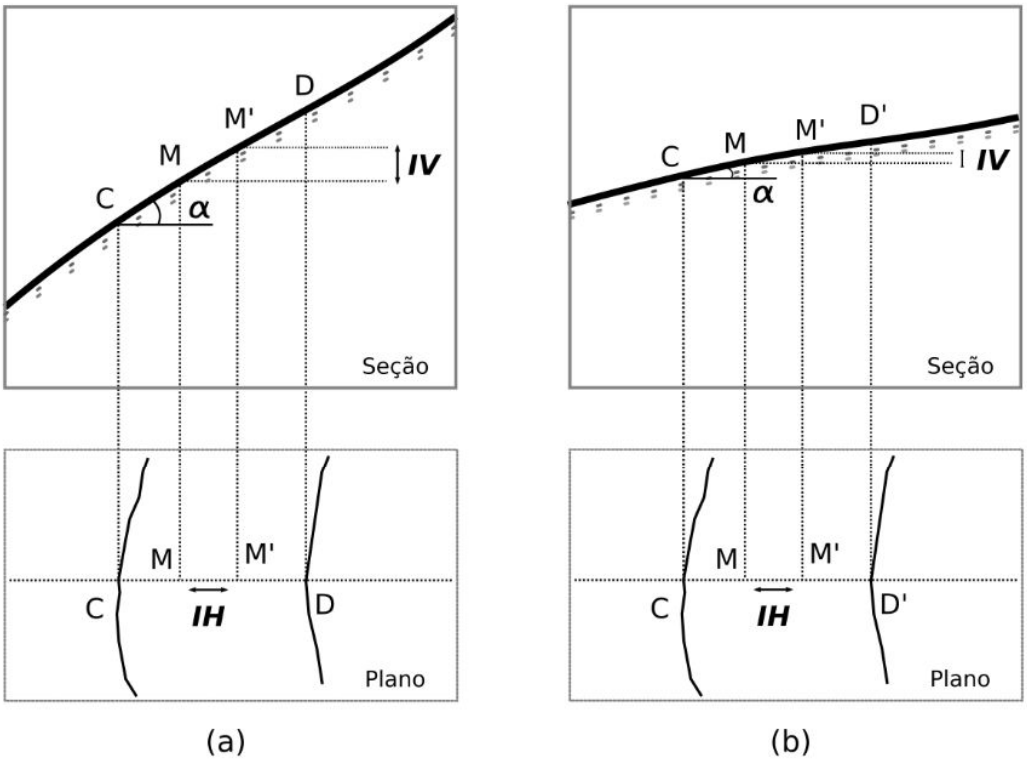
2.3 FÓRMULA DE KOPPE

Dentre os métodos utilizados para avaliar a acurácia posicional de um produto cartográfico, há a Fórmula de Koppe instituída por Carl Koppe em 1905 (IMHOF, 2007).

Carl Koppe percebeu que a incerteza vertical era relacionada com o ângulo de inclinação do terreno. Isto pode ser demonstrado pela Figura 1: quando se quer determinar uma determinada altitude em um ponto isolado a partir de um conjunto de curvas de nível, faz-se o processo de interpolação das altitudes das curvas C e D que estão na vizinhança deste ponto. Assim, se o ponto M a ser interpolado possui uma determinada incerteza horizontal, estando este ponto localizado em M', sua incerteza vertical (podendo aqui ser chamada também de discrepância altimétrica)

será proporcional ao ângulo de inclinação do terreno (α). Assim, na Figura 1(a) a incerteza vertical será maior que em relação à Figura 1(b), pois o ângulo de inclinação do terreno é maior em 1(a) do que em 1(b).

FIGURA 1. Relação entre a incerteza vertical e o ângulo de inclinação do terreno, para uma mesma discrepância horizontal. Fonte: Autor (2017).



Assim, Carl Koppe propôs estimar a incerteza posicional horizontal e vertical de curvas de nível com base nos valores dos coeficientes obtidos de uma regressão linear entre as discrepâncias altimétricas e a tangente do ângulo inclinação do terreno (IMHOF, 2007; MOZAS et al., 2013). Assim, segundo Imhof (1982), para estimar a incerteza vertical (IV) e a incerteza horizontal (IH) para um determinado ponto na curva de nível, pode-se utilizar a Equação 3 e a Equação 4, respectivamente.

$$IV = \pm[\, A + B * \mathrm{tg}(\alpha)] \tag{3}$$

$$IH = \pm[\, B + A * \mathrm{cotg}(\alpha)] \tag{4}$$

onde, em uma regressão linear, *A* é o intercepto da reta com o eixo Y e *B* é a inclinação da reta. O termo α é a inclinação do terreno no ponto considerado.

Nas bibliografias, não há uma padronização dos termos utilizados na fórmula de Koope: Imhof (1982) utiliza o termo erro médio de altitude e erro médio horizontal. Já Mailing (1989), seguido por Ariza (2002) adota o termo RMSE (*Root Mean Square Error*) altimétrico e horizontal para expressar a estimativa de uma incerteza pontual pela Fórmula de Koppe. Assim, neste trabalho adota-se o termo incerteza para denominar as estimativas propostas por Carl Koppe.

Segundo Maling (1989), Ariza (2002) e Imhof (2007), para as escalas mais comuns, há um valor esperado para A e para B, aqui chamado de "tolerâncias de Koppe". Aplicando-se as regressões e comparando os resultados determina-se a qual escala e equidistância entre curvas de nível o produto cartográfico se enquadra (Tabela 2).

TABELA 2. Tolerâncias de Koppe e fórmulas para estimação do RMS vertical e horizontal. Fonte: Adaptado de Maling (1989)

Escala	**Equidistância curva de nível (m)**	**A**	**B**	**RMS vertical (m)**	**RMS horizontal (m)**
1/1.000	1	0,1	0,3	0,1 + 0,3.tg α	0,1.cotg α + 0,3
1/5.000	5	0,4	3	0,4 + 3.tg α	0,4.cotg α + 3
1/10.000	10	1	5	1 + 5.tg α	cotg α + 5
1/25.000	10	1	7	1 + 7.tg α	cotg α + 7
1/50.000	20	1,5	10	1,5 + 10.tg α	1,5 cotg α + 10

Ariza (2002) apresenta os procedimentos para a aplicação da fórmula de Koppe na avaliação da acurácia posicional de um produto utilizando oito passos descritos a seguir:

1. Selecionar uma amostra de pontos dentro da área de interesse;
2. Determinar as coordenadas X, Y e Z dos pontos amostrados no produto cartográfico;

3. Determinar as coordenadas X, Y e Z de referência dos pontos amostrados, ou seja, as coordenadas dos pontos coletadas em campo;
4. Calcular a discrepância vertical em cada ponto amostrado;
5. Calcular a inclinação do terreno em cada ponto;
6. Realizar a análise de regressão, usando a tangente da inclinação como variável independente e a discrepância vertical como variável dependente e obter os coeficientes A e B;
7. Calcular a incerteza vertical;
8. Calcular a incerteza horizontal.

Entretanto, Imhof (1982) apresenta uma outra metodologia para determinação dos coeficientes A e B:

1. Selecionar várias seções (pontos) no produto avaliado;
2. Determinar a discrepância vertical nestas seções (pontos), tomando como base dados de referências obtidos em campo;
3. Determinar o ângulo de inclinação na localização destas seções (pontos);
4. Formar 5 a 10 grupos e obter os coeficientes A e B a partir dos valores médios dos grupos, por processo de ajustamento.

A metodologia proposta por Imhof (2007) não é muito clara no processo de obtenção dos coeficientes A e B, já que não especifica como definir os grupos de dados e qual tipo de ajustamento a ser realizado nos dados. Conforme ressaltam Egg et al. (2013), na literatura existem poucas referências bibliografias que descrevem as aplicações da Fórmula de Koppe. Pôde-se constatar esta afirmação dos autores, enfatizando ainda que trabalhos de Maling (1989), Ariza (2002) e Imhof (1982, 2007) não apresentam exemplos numéricos e práticos da aplicação da Fórmula de Koppe na avaliação da acurácia posicional em dados cartográficos.

Diante o exposto, há diversos pontos passíveis de dúvidas na metodologia de aplicação da Fórmula de Koppe: (i) o RMS estimado é representativo de uma determinada localização ou referente a todo o produto avaliado?; (ii) após obtenção dos valores A e B, deve-se utilizar os valores absolutos de tais coeficientes para estimar o RMS horizontal e vertical? (iii) como deve ser a classificação da acurácia posicional do

produto em análise? Utilizando os coeficientes A e B ou o RMS horizontal e vertical? (iv) é possível avaliar a acurácia posicional pela Fórmula de Koppe para todas as escalas e equidistâncias de curvas nível?

Conforme apresentado por Imhof (1982), de posse dos coeficientes A e B, a Fórmula de Koppe estima a incerteza horizontal ou vertical para uma determinada localização, utilizando a inclinação deste ponto em questão. A ideia central da fórmula de Koppe é relacionar a inclinação do terreno com a discrepância altimétrica. O que se espera é que quanto maior a inclinação do terreno maior será a incerteza vertical nesta região. Assim, entende-se que a incerteza estimada é para um determinado ponto e não para cálculo de uma incerteza total do produto analisado.

Quanto aos valores dos coeficientes A e B, nenhum dos autores pesquisados dizem se os mesmo devem ser utilizados como valores absolutos ou não. Como a Fórmula de Koppe é dada a partir de uma regressão linear entre as discrepâncias altimétricas (variável dependente) e a tangente do ângulo de inclinação (variável independente), o coeficiente A (que apresenta o intercepto da reta) pode ser positivo ou negativo, já que a discrepância altimétrica pode ter valores positivos e negativos. Já para o coeficiente B, que representa a inclinação da reta, espera-se obter valores positivos, já que a fórmula de Koppe tem como premissa que quanto maior a inclinação do terreno maior será a discrepância altimétrica.

Imhof (2007) cita que na Inglaterra e na Itália foi comum a utilização de uma variante da Fórmula de Koppe, conforme apresentado pela Equação 5 e 6. Como se elevam ao quadrado os fatores A e B, nesta formulação os sinais das variáveis não terão influência no resultado final.

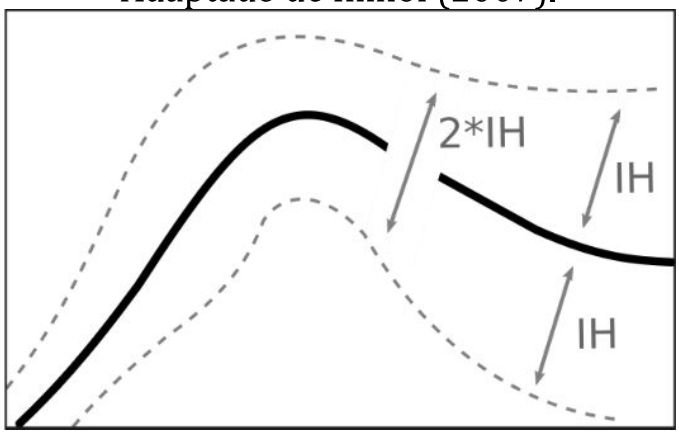
$$IV = \sqrt{A^2 + B^2 * \mathrm{tg}^2(\alpha)} \tag{5}$$

$$IH = \sqrt{B^2 + A^2 * \mathrm{cotg}^2(\alpha)} \tag{6}$$

Imhof (2007) diz ainda que o valor da incerteza estimada pela fórmula de Koppe pode ser utilizada para representar uma zona de incerteza posicional para curvas de nível. Isto pode ser uma possível explicação para o sinal ± nas Equações 3 e 4. A Figura 2 apresenta a zona

de incerteza (delimitadas pelas linhas cinzas segmentadas) obtida em uma curva de nível (linha preta contínua). Percebe-se que esta zona não é de valor constante, já que os valores de incertezas estimadas variam de ponto a ponto, pois depende da inclinação do terreno. Zonas estreitas de incertezas horizontais correspondem a terrenos mais íngremes, por sua vez, zonas mais largas ocorrem em terrenos mais planos.

FIGURA 2. Zona de incerteza estimada através da Fórmula de Koppe. Fonte: Adaptado de Imhof (2007).



Diante do exposto, este trabalho propõe a utilização da Fórmula de Koppe para avaliar a acurácia posicional de produtos cartográficos altimétricos, como um MDS/MDE, curvas de nível, etc., da seguinte forma:

1. Selecionar uma amostra de pontos homólogos no produto testado e nos dados de referência;
2. Calcular a discrepância vertical em cada ponto amostrado;
3. Calcular o ângulo de inclinação do terreno, no produto testado, em cada ponto amostrado;
4. Realizar a análise de regressão, usando a tangente do ângulo de inclinação como variável independente e a discrepância vertical como variável dependente, obtendo os coeficientes A e B;
5. Realizar a classificação do produto avaliado quanto sua acurácia posicional comparando os valores de A e B com as tolerâncias de Koppe, definida pela Tabela 2. Assim, os valores calculados de A e B deverão ser menores ou iguais aos valores tabelados, para a escala e equidistância vertical entre curvas de nível.

Observa-se uma deficiência na Tabela 2, usada como parâmetro para a avaliação da acurácia posicional dos produtos testados, pois os dados tabelados abrangem apenas intervalos de escalas de 1:1.000 até 1:50.000. Assim, escalas menores a este intervalo não são contempladas neste método de avaliação da acurácia posicional.

Vale ressaltar, conforme expresso em Imhof (2007), que a Fórmula de Koppe pode ser passível de críticas, já que considera apenas a inclinação do terreno como fator de influência na incerteza altimétrica e horizontal de um produto cartográfico, o que muitas vezes não é comprovado.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo corresponde a bacia do ribeirão São Bartolomeu no município de Viçosa-MG, conforme Figura 3. A região possui cerca de 62 km^2, apresentando relevo ondulado com uma amplitude de cerca de 290 metros de altitude.

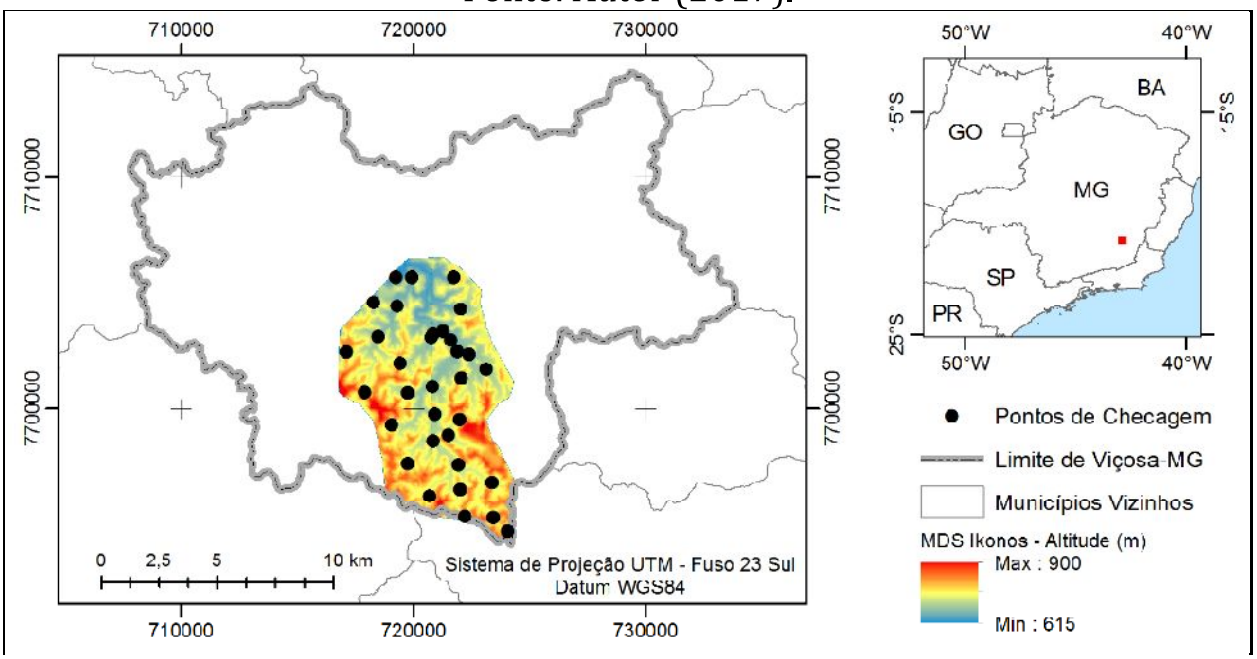
3.2 MATERIAL UTILIZADO

Os softwares utilizados foram um Sistema de Informações Geográfica, para manipulação dos dados espaciais, planilha eletrônica para cálculo dos coeficientes da regressão linear, e o software GeoPEC para avaliação da acurácia posicional quanto ao padrão brasileiro de acurácia posicional dos MDS avaliados.

Para a base de dados da região de Viçosa, avaliou-se um MDS com resolução espacial de 5 metros, gerado a partir de curvas de nível restituídas de um imageamento do satélite Ikonos.

Os dados de referência para avaliação da acurácia posicional foram obtidos a partir de um levantamento de campo com receptores GNSS gerados na pesquisa trabalho de Santos e Vieira (2009). Ambos os dados de teste e de referência estão referenciados ao datum SAD69, com altitudes ortométricas e representados na projeção UTM. Para esta área de estudo foram utilizados 33 pontos para avaliação da acurácia posicional.

FIGURA 3. MDS Ikonos e disposição dos pontos de checagem na área de estudo.
Fonte: Autor (2017).



3.3 METODOLOGIA

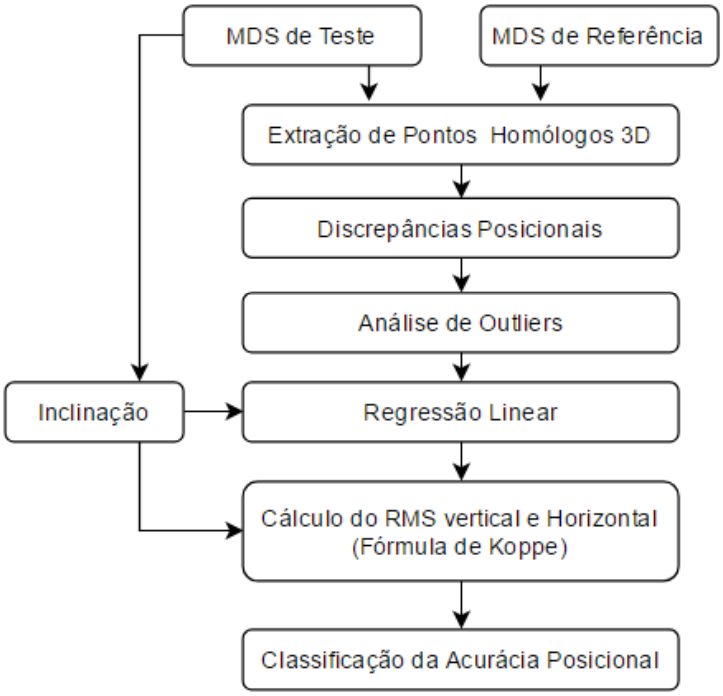
A metodologia utilizada para avaliação da acurácia posicional dos MDS é sintetizada pelo fluxograma apresentado na Figura 4, o qual ilustra as principais etapas realizadas.

O primeiro passo trata-se da seleção da amostra de pontos utilizados para checagem dos MDS. Para avaliar o MDS na região de Viçosa, foram determinados 33 pontos de checagem. Os pontos foram amostrados em diferentes níveis de altitudes na área de estudo, e a localização espacial dos mesmos foi sistematizada de modo que a serem pontos notáveis tanto na imagem quanto na superfície terrestre, como por exemplo os cruzamentos de vias rurais. As coordenadas dos pontos de referência foram obtidas em campo por meio de um receptor GNSS de uma frequência (L1), utilizando o método relativo estático com um período de observações de 30 a 40 minutos. Todos os pontos apresentaram precisões melhores que 15cm.

Após, foram gerados os respectivos valores de inclinação do terreno em graus decimais, e posteriormente, extraídos os valores de inclinação para cada ponto amostrado.

Em seguida, as coordenadas planialtimétricas e as respectivas inclinações extraídas para cada ponto foram convertidas em planilhas eletrônicas, onde o restante dos procedimentos foram realizados para a Fórmula Koppe.

FIGURA 4. Fluxograma representativo da metodologia de trabalho. Fonte: Autor (2017).



A partir das coordenadas planialtimétricas de cada ponto de checagem, foi computada a discrepância vertical, que consiste no cálculo da diferença entre a coordenada altimétrica do MDS avaliado e a coordenada altimétrica da referência (GNSS). Calculou-se também o valor da tangente do ângulo de inclinação do terreno para cada ponto de checagem.

A partir da amostra de discrepâncias verticais foi efetuada uma análise para verificação da presença de *outliers*. Segundo Figueira (1998), *outliers* são observações que apresentam um grande afastamento dos valores das observações restantes ou são inconsistentes ao conjunto amostrado. O Boxplot foi o método utilizado para a determinação de *outliers*.

A próxima etapa metodológica consiste na análise de regressão entre os dados. Para isso foi atribuída a discrepância vertical como variável

dependente, e os valores de tangente da inclinação do terreno atribuída como variável independente. Como resultado da regressão linear obtiveram-se os coeficientes A e B.

Após, foram comparados os resultados obtidos dos coeficientes A e B com as tolerâncias de Koppe, apresentados na Tabela 2, afim de classificar os MDS testados definindo qual a escala indicada para uso destes produtos.

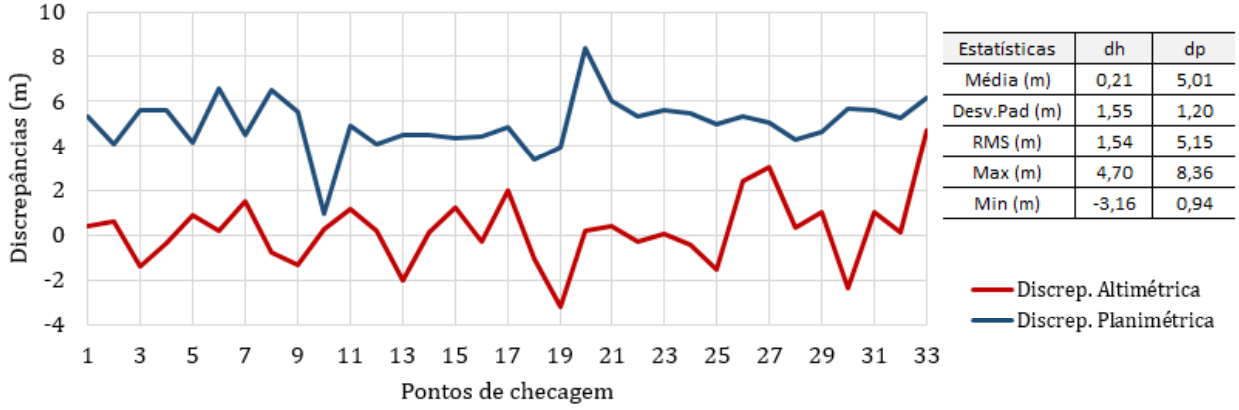
Por fim, fez-se a classificação do MDS testado utilizando o padrão brasileiro de acurácia posicional utilizando o Decreto-lei 89.817 / ET-CQDG, utilizando as coordenadas planialtimétricas dos pontos de checagem e o software GeoPEC. Em seguida, foi comparado o resultado da classificação obtida pela Fórmula de Koppe com o Decreto-lei 89.817/ET-CQDG

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As discrepâncias altimétricas e horizontais para os 33 pontos de checagem do MDS Ikonos são apresentadas na Figura 5. Nota-se que a discrepância horizontal tem uma maior magnitude que a discrepância vertical, na ordem de 5m a 8m. Dentre os 33 pontos, não foram identificados *outliers*.

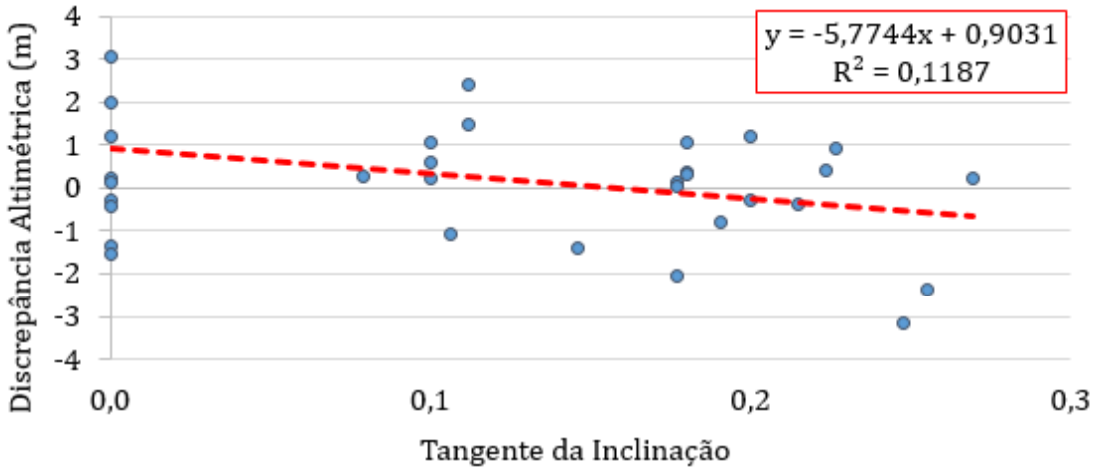
A Figura 6 ilustra o gráfico de dispersão e a linha de tendência na regressão linear utilizada.

FIGURA 5. Gráfico das discrepâncias altimétrica e horizontal para o MDS Ikonos. Fonte: Autor (2017).



Estatísticas	dh	dp
Média (m)	0,21	5,01
Desv.Pad (m)	1,55	1,20
RMS (m)	1,54	5,15
Max (m)	4,70	8,36
Min (m)	-3,16	0,94

FIGURA 6. Gráfico da linha de tendência na regressão linear para o MDS Ikonos. Fonte: Autor (2017).



A Tabela 3 apresenta os resultados da aplicação da Fórmula de Koppe para avaliação da acurácia posicional do MDS Ikonos. Comparando os resultados obtidos com os valores da Tabela 2, verifica-se que o MDS Ikonos se classifica para escala de uso 1:25.000, com 10 metros de equidistância entre as curvas de nível, já que os valores de A e B foram menores que 1 e 7, respectivamente.

Utilizando o software GeoPEC para realizar a classificação do Decreto-Lei 89.817/ET-CQDG, obteve-se classificação planimétrica Classe B para a escala 1:25.000 e classificação altimétrica Classe A para equidistância da curva de nível equivalente a 10 metros.

TABELA 3. Resultados obtidos pelo cálculo do RMS através da Fórmula de Koppe na região de Viçosa-MG.

Parâmetros da Regressão Linear	A	0,903
	B	-5,774
Classificação pela Fórmula de Koppe	Escala 1:25.000 Equidistância vertical 10m	

Pode-se perceber que a definição da acurácia posicional planimétrica e altimétrica para o MDS em estudo, em ambos os métodos – Fórmula de Koppe e Decreto-lei 89.817/ET-CQDG – foram similares, classificando o produto na escala de 1:25.000 e 10m de equidistância vertical entre curvas de nível.

5. CONCLUSÃO

Considerando a literatura existente, não foi encontrada além de Imhof (1982) e Ariza (2002) uma descrição metodológica de como devem ser calculadas as incertezas e classificado um produto cartográfico através da Fórmula de Koppe. Por isso, no decorrer deste trabalho, foram apresentados questionamentos com o intuito de esclarecer a aplicação deste método e estabelecer uma metodologia para sua aplicação prática.

Aplicando a metodologia proposta, pôde-se classificar a acurácia posicional de um MDS através da Fórmula de Koppe. Os resultados obtidos classificaram o MDS na escala de 1:25.000 com equidistância entre curvas de nível de 10 metros. Ao final, para efeito de comparação, aplicou-se o padrão de acurácia posicional brasileiro definido pelo Decreto-lei 89.817 / ET-CQDG no MDS avaliado. O resultado foi similar ao obtido pela Fórmula de Koppe.

Assim, vale ressaltar que a Fórmula de Koppe é viável para a classificação da acurácia posicional de produtos cartográficos tridimensionais, porém com restrições quanto à escala do produto.

Como sugestão para trabalhos futuros, devem-se buscar metodologias que definam a continuação da Tabela de Koppe para as escalas menores que 1:50.000, para que se possa classificar uma maior gama de produtos cartográficos.

REFERÊNCIAS

ARIZA, F. J. **Calidad en la producción cartográfica.** Madrid: RA-MA, 2002.

ASPRS. ASPRS positional accuracy standards for digital geospatial data. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing.** Edition 1, Version 1.0 – November, 2014.

BRASIL, Decreto-lei n°. 89.817, de 20 de junho de 1984. Dispõe sobre as instruções reguladoras das normas técnicas da cartografia nacional. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, p. 8884.

DSG. **Norma da Especificação Técnica para Controle de Qualidade de Dados Geoespaciais (ET-CQDG).** 1° Edição. Brasília, 2016.

EGG, G. C.; GRIPP JR, J.; MEDEIROS, N. G. Geração De Modelos Digitais De Superfície Compostos Utilizando Imagens Do Sensor Prism/Alos. **Revista Brasileira de Cartografia**, Rio de Janeiro, n. 65/5, p. 951-966, 2013.

FIGUEIRA, M.M.C. Identificação de Outliers, **Millenium** n°. 12, out., 1998.

GALO, M.; CAMARGO, P. de O. O uso do GPS no controle de qualidade de cartas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CADASTRO TÉCNICO MULTIFINALITÁRIO, 1., 1994, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis, 1994. Tomo II, p. 41-48.

IMHOF, E. **Cartographic Relief Presentation.** ESRI Press, 2007.

ISO 19157. **Geographic Information – Data Quality**. International Standardization for Organization. Genebra, Suíça, 2013.

LI, Z.; ZHU, Q.; GOLD, C. **Digital Terrain Modeling: Principles and Methodology**. Londres, Inglaterra. Taylor & Francis, 2005. 324p.

MALING, D. H. **Measurements from Maps: principles and methods of cartometry**. Pergamont Press. 1989.

MONICO, J. F. G.; DAL POZ, A. P.; GALO, M.; SANTOS, M. C.; OLIVEIRA, L. C. Acurácia e Precisão: Revendo os conceitos de forma acurada. **Boletim de Ciências Geodésicas**, séc. Comunicações, Curitiba, v. 15, n. 3, p. 469-483, jul-set, 2009.

MOZAS, A. T. C.; UREÑA, M. A. C.; PÉREZ, J. L. G. Accuracy of contour lines using 3D bands. **International Journal of Geographical Information Science**, 2013.

NOGUEIRA JÚNIOR, J. B. **Controle de qualidade de produtos cartográficos: uma proposta metodológica**. Presidente Prudente. Dissertação (Mestrado) em Ciências Cartográficas. UNESP. 2003.

NSA (NATO Standartization Agency). Evaluation of land maps, aeronautical charts and digital topographic data, **STANAG (Standardization Agreement) nº2215 (Edition 7)**. NATO Standardization Agency, Bruxelas. 2010.

SANTOS, A. P.; VIEIRA, C. A. O. Avaliação do padrão de exatidão cartográfico em imagens orbitais IKONOS e CBERS-2b, na bacia do Ribeirão São Bartolomeu em Viçosa-MG. **Anais...** XIV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, Natal, 2009, p.1021-1030.

SANTOS, A. P. **Avaliação da Acurácia Posicional em Dados Espaciais com o uso da Estatística Espacial.** Viçosa, 2010. Dissertação (Mestrado) Centro de Ciências Exatas, Universidade Federal de Viçosa. 128 p.

SANTOS, A. P. **Controle de Qualidade Cartográfica: metodologias para avaliação da acurácia posicional tridimensional em dados espaciais.** Viçosa, 2015. Tese (Doutorado). Universidade Federal de Viçosa.

SANTOS, A. P.; RODRIGUES, D. D.; SANTOS, N. T.; GRIPP JR, J. Avaliação Da Acurácia Posicional Em Dados Espaciais Utilizando Técnicas De Estatística Espacial: Proposta De Método E Exemplo Utilizando A Norma Brasileira. **Boletim de Ciências Geodésicas**, sec. Artigos, Curitiba, v. 22, n. 4, p.630-650, out-dez, 2016.

A PROBLEMÁTICA DE LOTEAMENTOS IRREGULARES – ESTUDO DE CASO DO LOTEAMENTO JOSÉ BATISTA PAIXÃO NO MUNICÍPIO DE ABADIA DOS DOURADOS/MG

José Venâncio Marra Oliveira
Pedro Henrique Cortes de Castro
Fernando Luiz de Paula Santil

Universidade Federal de Uberlândia - Campus Monte Carmelo
{josevmo007@usp.br, pedrohccastro@yahoo.com.br, santilflp@gmail.com}

RESUMO

No município de Abadia dos Dourados/MG foram realizados vários loteamentos nos últimos anos. Dentre eles, destaca-se o loteamento "José Batista da Paixão", que tem apresentado transtornos à população local devido às irregularidades e ao descumprimento da legislação vigente para a sua implantação. Tais transtornos levaram o Ministério Público a embargar este loteamento até que os órgãos responsáveis e competentes possam regularizar os problemas do mesmo. Os documentos referentes à autorização da implantação do loteamento foram solicitados. O processo referente à regularização urbanística e ambiental do loteamento e imposição de medida compensatória também se encontra à disposição pública. Registros fotográficos e opiniões dos moradores foram buscados a fim de comprovar os problemas analisados e até mesmo identificar novos. Foi visto que o objeto de irregularidade do loteamento não dispõe de área verde e área institucional de acordo com os percentuais exigidos por lei. Outro fator comprobatório para a devida irregularidade foi o descumprimento com o novo código florestal, sendo que há três quadras que ocupam em parte uma área de preservação permanente (APP) e inclusive encontram-se nascentes. No acordo judicial, entre o Ministério Público e os proprietários do loteamento, foi estabelecido a compra de uma área com as características da original.

Palavras-chave: Loteamentos; Irregularidades; Regularização.

THE PROBLEM OF IRREGULAR SETTLEMMENTS: A CASE STUDY OF THE SETTLEMENT JOSÉ BATISTA DA PAIXÃO LOCATED IN THE CITY OF ABADIA DOS DOURADOS – MG

ABSTRACT

In the last years, the number of allotments has increased in the city of Abadia dos Dourados/MG. Among the existent we can highlight the allotment called José Batista da Paixão, due to the irregularities presented and the noncompliance to the current laws, not being possible its regularization and registration, causing innumerable troubles to the local population. Therefore, by decision of the agency called Ministério Público, the allotment was attached until the problems can be fixed. The documents of the allotment implementation have been solicited. The process of the urbanistic and environmental regularization is available for public viewing. Photos and reports were taken to testify the problems that were detected and also to identify new problems. It was verified that the green area and the institutional area disagree with the minimum values established by the legislation. Another factor that proves an irregularity to the Brazilian forest code, is that three blocks of the allotment are occupying a permanent preservation area (PPA), including water sources areas. The judicial agreement established between the Ministério Público and the owners of the area requires that an extra area has to be acquired to be defined as green area, and also that the PPA occupied by blocks has to be recovered according the original and natural characteristics.

Keywords: Allotments; Irregularities; Regularization.

1. INTRODUÇÃO

O Brasil por ser um país com dimensões continentais e por apresentar crescimento, tanto populacional como territorial urbano, necessita de melhorias em infraestrutura, o que faz com que os municípios busquem

realizar políticas públicas e até mesmo políticas no setor privado, visando melhorias à sociedade.

Dentre essas melhorias cabe destacar a infraestrutura de loteamentos, algo que crescentemente vem sendo realizado nos municípios brasileiros com o intuito de proporcionar melhores oportunidades de possuir o próprio imóvel por parte da população e evitar possíveis constrangimentos futuros.

A lei de Parcelamento do Solo Urbano por meio do Art. 2º § 5º garante que a infraestrutura básica dos parcelamentos é constituída pelos equipamentos urbanos de escoamento das águas pluviais, iluminação pública, esgotamento sanitário, abastecimento de água potável, energia elétrica pública e domiciliar e vias de circulação (BRASIL, 1979).

Um desses municípios, em que houve a realização de vários loteamentos nos últimos anos foi Abadia dos Dourados/MG localizado na mesorregião do Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba com população de 6704 habitantes, de acordo com o censo do ano de 2010 e uma estimativa de 7015 habitantes no ano 2015 (IBGE, 2010).

Entre os loteamentos realizados no município de Abadia dos Dourados nos últimos anos destaca-se o loteamento José Batista da Paixão, que vem apresentando inúmeros problemas e transtornos à população local devido às várias irregularidades e ao não cumprimento da legislação vigente para a sua implantação. Tais transtornos levaram o Ministério Público a embargar este loteamento até que os órgãos responsáveis e competentes possam regularizar os problemas do mesmo.

O loteamento está dentro do limite estabelecido pela legislação municipal, porém está localizado em uma área de preservação permanente e o Art. 3º. da lei de Parcelamento do Solo Urbano não é permitido em áreas de preservação ecológica (BRASIL, 1979).

Com base neste problema, um estudo foi realizado a cerca do processo de elaboração do loteamento a fim de identificar e reproduzir a linha do tempo de acontecimentos relativos ao mesmo pode servir como base as tomadas de decisões futuras a cerca da elaboração de novos empreendimentos do tipo.

Há loteamentos no Brasil que são realizados de modo irregular, por muitas das vezes não cumprindo as exigências impostas pela legislação, de modo que no futuro não muito distante esses loteamentos venham a

apresentar problemas dos quais a prefeitura terá que buscar meios de solucioná-los gerando gastos e transtornos que poderiam ser evitados.

Interpretar os problemas encontrados no loteamento "irregular" José Batista da Paixão no município de Abadia dos Dourados/ MG e o relacionar com a legislação referente a loteamentos é permite averiguar o loteamento e identificar as soluções propostas para os problemas encontrados.

2. LEI DO PARCELAMENTO DO SOLO URBANO

A Lei nº 6766, de 19 de Dezembro de 1979, estabelece normas relativas ao parcelamento do solo urbano em âmbito nacional, indica que os Estados, o Distrito Federal e municípios poderão adequar o regimento previsto nesta Lei de acordo com suas características regionais ou locais.

No Art. 2º, § 1º, desta mesma Lei, considera-se loteamento a subdivisão de gleba em lotes destinados a edificação, com abertura de novas vias de circulação, de logradouros públicos ou prolongamento, modificação ou ampliação das vias existentes.

Todo loteamento destinado às edificações devem possuir uma infraestrutura básica, com vias de circulação, escoamento das águas pluviais, rede de abastecimento de agua potável, esgotamento sanitário e energia elétrica pública e domiciliar, conforme se prevê no Art. 2º, § 5º da Lei nº 6766, de 19 de Dezembro de 1979 (BRASIL, 1979).

De acordo com Art. 3º, Inc. I, II, III, IV e V, da Lei nº 6766, de 19 de Dezembro de 1979, o parcelamento do solo urbano não será permitido caso os terrenos do loteamento estejam em áreas de risco, como alagamentos e inundações, aterramentos com material nocivo a saúde, declividade superior ou igual a 30%, condições geológicas desfavoráveis a edificações e ocupação de áreas de preservação do meio ambiente ou onde a poluição impeça as condições de saneamento básico suportáveis, até a sua correção.

O Art. 4º estabelece os requisitos mínimos para loteamentos. No Inc. I deste Artigo é disposto que as áreas institucionais, que sirvam para a implantação de equipamentos ou edificações comunitárias devem ser proporcionais à densidade de ocupação prevista na lei municipal ou no plano diretor.

O Art. 8º dispõe que os municípios com um número de habitantes inferior a cinquenta mil poderão dispensar a fase de fixação de diretrizes previstas nos Arts. 6º e 7º, declaram que o loteador deverá solicitar requerimento e planta do imóvel junto à prefeitura, que estão de acordo com as diretrizes de planejamento estadual e municipal de uso e ocupação do solo. Caso o loteamento seja considerado irregular, devido à pecúria da Lei, estará disposto às disposições penais descritas nesta Lei.

3. NOVO CÓDIGO FLORESTAL

A Lei nº 12.651, de 25 de Maio de 2012 dispõe as normas gerais de proteção de vegetação, Áreas de Preservação Permanente (APPs) e áreas de Reserva Legal, tendo como objetivo o desenvolvimento sustentável e o estabelecimento da responsabilidade comum da União, dos Estados, o Distrito Federal e Municípios na criação de políticas para a preservação e restauração da vegetação nativa, em suas funções ecológicas e sociais, nas áreas urbanas e rurais (BRASIL, 2012).

Para a delimitação das APPs em zonas rurais ou urbanas são consideradas as faixas de qualquer curso d'água natural perene ou intermitente, as áreas em torno dos lagos ou lagoas naturais, as áreas entorno de reservatórios d'água artificiais, as áreas de nascentes e dos olhos d'água perenes, em qualquer que seja sua situação topográfica, com um raio de 50 metros, dispostos no Art. 4, Incs. I, II, III e IV, respectivamente.

Tendo por base o regime de proteção das áreas verdes urbanas, segundo o Art. 25º desta Lei, Incs. I, II, III e IV, o poder público municipal tem por exercício do direito de preempção para a aquisição de remanescentes florestais, transformação das Reservas Legais em áreas verdes nas expansões urbanas, o estabelecimento de exigências de áreas verdes nos loteamento, empreendimentos comerciais e na implantação de infraestrutura, e aplicação em áreas verdes de recursos oriundos da compensação ambiental.

Caso haja supressão em remanescentes de vegetação nativa, de acordo com o Art. 51 desta Lei, o órgão ambiental competente deverá embargar a obra ou atividade que deu causa ao uso alternativo do solo,

como medida administrativa voltada a impedir a continuidade do dano ambiental, propiciar a regeneração da área e dar viabilidade à recuperação da área degradada.

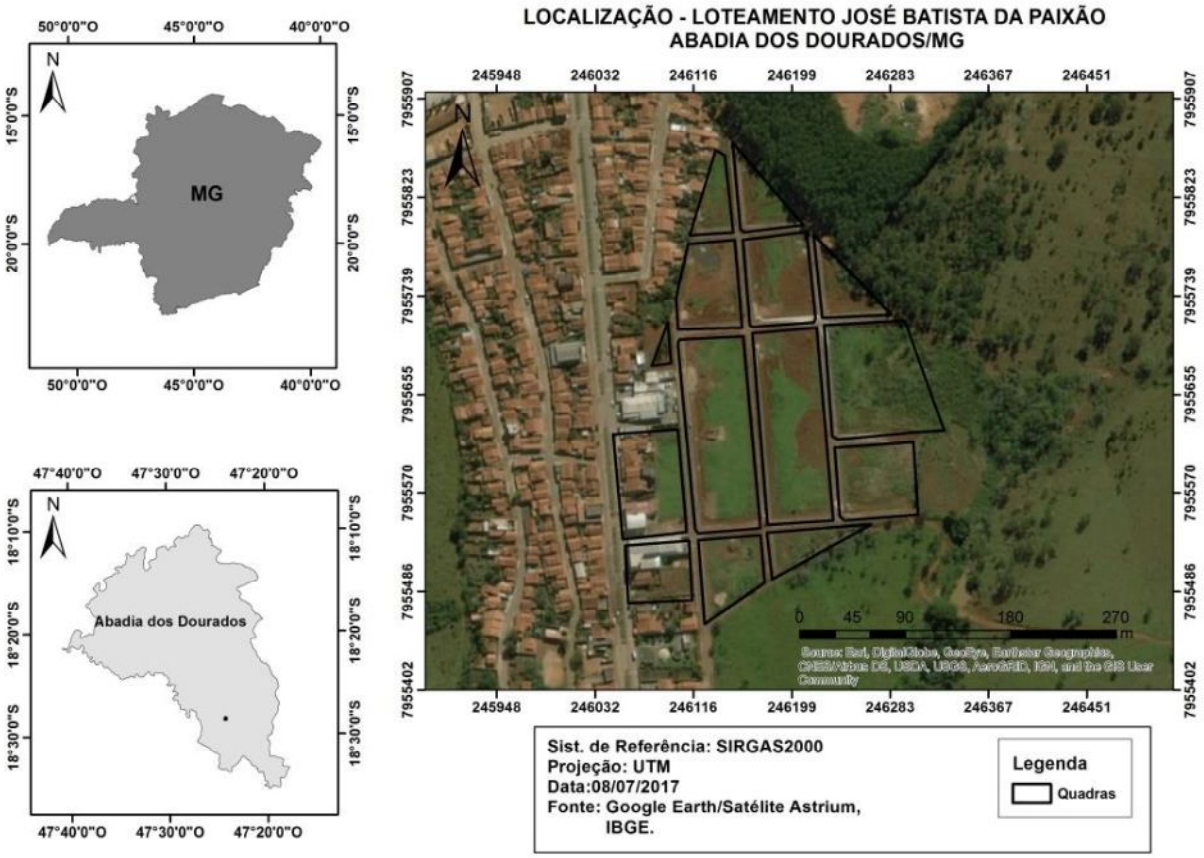
4. MATERIAL E MÉTODO

Nesse tópico é apresentada a área de estudo, o material utilizado e o método proposto nesta pesquisa.

4.1 ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo está localizada na Mesorregião do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba, no município de Abadia dos Dourados/Minas Gerais, como ilustrado na Figura 1.

FIGURA 1. Localização da área de estudo. Fonte: Autor (2017).



O estudo foi realizado no loteamento José Batista da Paixão que deu

origem ao bairro de mesmo nome. Segundo o Sistema de Observação e Monitoramento da Agricultura no Brasil (MAPA, 2017), o potencial de agricultura no município vai de regular à desaconselhável, o solo da região é Cambissolos Haplicos Tb Distróficos e Latossolos Vermelhos Distróficos, o bioma é Cerrado. Possui temperatura média de 22°C e precipitação anual de 1437mm. A região do município está inserida na Bacia Hidrográfica do Rio da Prata, tendo como principais rios: Rio Paranaíba, Rio Preto e Rio Dourados. A região da área de estudo possui declividades que vão de plano a ondulado, variando de 0 a 20%. A região possui como uso e cobertura da terra a agricultura anual, pastagem, silvicultura e vegetação nativa em sua grande parte (MAPA, 2017). De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2016) a população estimada para o ano de 2016 foi de 7037 habitantes e a área da unidade territorial do município é de 881,064 km^2.

4.2 MATERIAL UTILIZADO

O material utilizado neste trabalho é referente aos documentos de autorização da implantação do loteamento que foram solicitados junto à prefeitura do município, no cartório de notas de Abadia dos Dourados e no Ministério Público do Estado de Minas Gerais – Promotoria de Justiça da Comarca de Coromandel.

O processo referente à regularização urbanística e ambiental do loteamento e imposição de medida compensatória encontra-se à disposição pública na Promotoria de Justiça da Comarca de Coromandel. Registros fotográficos e opiniões dos moradores foram buscados a fim de comprovar ou não os problemas analisados e eventualmente identificar novos.

4.3 MÉTODO

O método parte do levantamento e análise compulsória dos documentos de implantação do loteamento José Batista da Paixão baseados na Legislação vigente.

Além disso, usou-se o software ArcMap versão 10, disponível no laboratório de SIG e Geoprocessamento do curso de graduação em

engenharia de agrimensura e cartográfica da Universidade Federal de Uberlândia, Campus de Monte Carmelo, para a geração das APPs. Neste caso, a ferramenta buffer wizard desse software foi usada e foram consideradas duas situações: (a) uma faixa de 30 m de APP para o curso d'água, que possui largura inferior a 10m e avaliado como intermitente, e (b) para áreas de nascente foram consideradas uma faixa de APP com raio de 50m, conforme dispõe a lei *nº 12.651, de 25 de maio de 2012 no art. 4º , Incs. I, II, III e IV, respectivamente.*

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com o processo nº 0018394.36 na Promotoria de Justiça da Comarca de Coromandel/MG, o loteamento foi originalmente aprovado no município de Abadia dos Dourados por meio do Decreto Municipal nº 0844 de 27 de fevereiro de 2012, e encontra-se atualmente em estágio avançado de urbanização urbana com imóveis construídos e/ou em fase de construção. A Figura 2 ilustra essa fase de urbanização no loteamento em tela. Em tempo, essa imagem é de 3 de fevereiro de 2017.

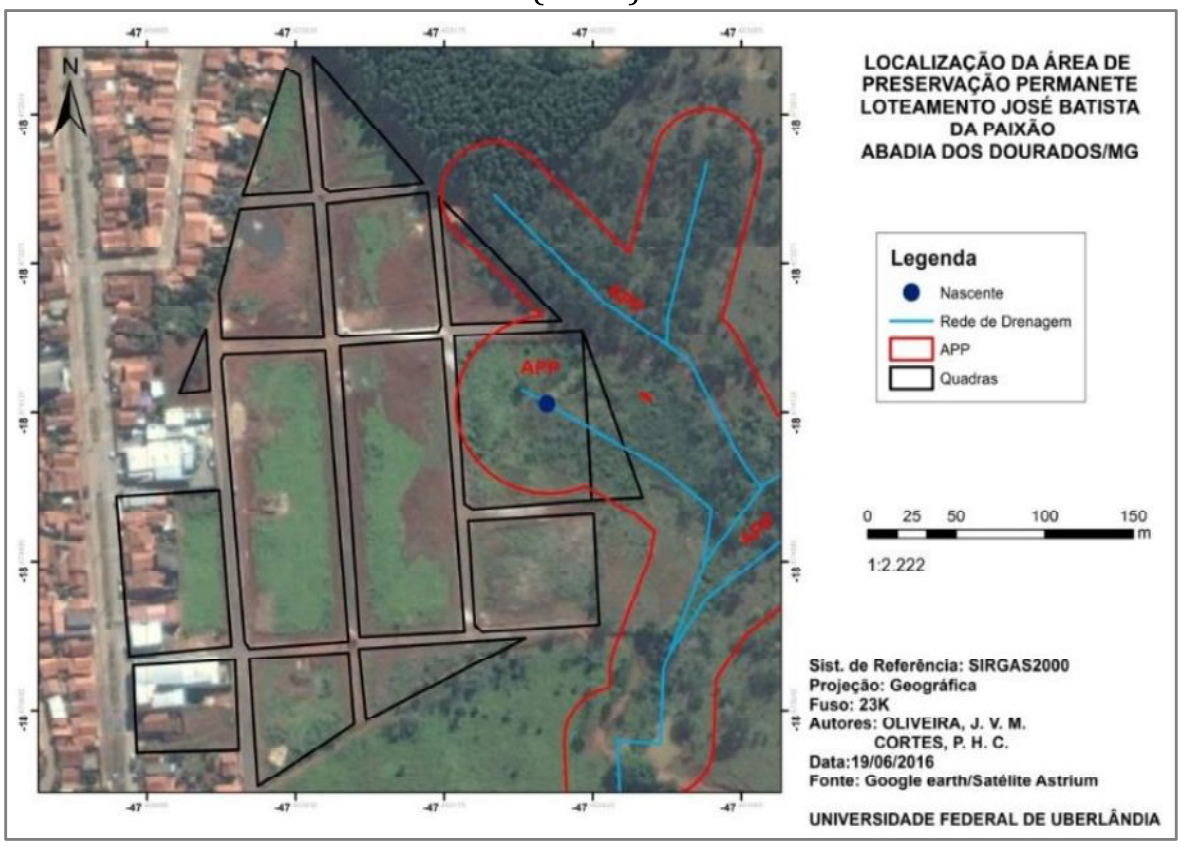
FIGURA 2. Atual estágio de construção no loteamento José Batista da Paixão. Fonte: Google Earth (2017).



Foi observado no processo judicial nº 0018394.36 que o objeto de irregularidade do loteamento, em análise da planta aprovada na prefeitura de Abadia dos Dourados, não dispõe de áreas verde e institucional de acordo com os percentuais exigidos no art. 11 do Decreto Estadual nº 44.464/2007.

Outro fator comprobatório à devida irregularidade do loteamento foi o descumprimento com o novo código florestal, pois esse loteamento apresenta três quadras que ocupam em parte uma Área de Preservação Permanente (APP) e inclusive encontram-se nascentes, como mostra a Figura 3.

FIGURA 3. Localização da Área de Preservação Permanente (APP). Fonte: Autor (2017).



Com isso, o responsável técnico do projeto deste loteamento em conjunto com o Município de Abadia dos Dourados tem total obrigação em regularizar o loteamento, transformando as quadras referidas à

ocupação de APP em área verde. Mas não é o que nota, mesmo com a irregularidade há construções nessas quadras, como ilustra a Figura 4.

FIGURA 4. Construções em Área de Preservação Permanente (APP), com destaque em círculo vermelho. Fonte: Autor (2017).



Não há possibilidade de se estabelecer área institucional no loteamento em razão da urbanização da área, isso faz com que o Município e os responsáveis tenham a obrigação de adquirir uma área no perímetro urbano na qual essa área institucional será transferida.

Essa ação já ocorreu e os responsáveis adquiriram uma área em torno da rodovia MG-GO *non aedificandi*, ao lado da área institucional do loteamento Jardins Mariana.

A área verde foi compensada nas quadras 14, 15 e 16, e os lotes, 11, 12 e 13 da quadra 13, de acordo com os percentis exigidos em caso de loteamentos, sob nenhuma hipótese seu destino poderá ser alterado.

Outro fato constatado em campo foi à rede de esgotamento sanitário que se encontra com problemas, não havendo captação do esgoto e o mesmo permanece a céu aberto, como mostra a Figura 5. Isto compromete de forma direta o saneamento básico da população, além de

doenças, traz consigo a indignação da mesma junto aos responsáveis, como a prefeitura municipal.

FIGURA 5. Local de ocorrência de esgoto a céu aberto. Fonte: Autor (2017).



Como o mesmo loteamento está situado próximo às margens de um córrego onde ocorre captação de água para consumo humano e de

animais, foi visto que a drenagem superficial das ruas e o esgoto possuem as margens do córrego como destino final, como mostra a Figura 6.

FIGURA 6. Localização de acesso ao poço de captação de água. Fonte: Autor (2017).



Esses catalizadores aceleram os processos exógenos naturais, como o surgimento de voçorocas e assoreamento da rede de drenagem, que comprometem a saúde da população e dos animais que partilham o consumo dessa água, respectivamente.

6. CONCLUSÃO

Diante da problemática, foi possível observar a importância do profissional técnico (Engenheiro Agrimensor e Cartógrafo) para a

elaboração do projeto de loteamento, que deve ser consistente para com a legislação de parcelamento de solos sobre o domínio do perímetro urbano, seguindo os requisitos básicos à concretização do mesmo.

Tendo por base o loteamento José Batista da Paixão, pode-se perceber que houve falhas logo no início de implementação deste loteamento, onde a infraestrutura do mesmo encontrou-se comprometida, pois não se encontra de acordo com as normativas técnicas de dimensionamento da rede de coleta de esgoto e pluvial em áreas de loteamento, até a ocupação do loteamento sobre APP, onde o Ministério Público diante ao seu poder legitimado pela Lei atuou sobre o mesmo até que os responsáveis solucionassem os problemas encontrados.

Vistos os demais problemas como, esgotamento sanitário a céu aberto, acúmulo de sedimentos das construções às margens do córrego próximo ao loteamento, asfaltamento em estado crítico e atuação dos processos exógenos sobre o mesmo, entre outros, foi possível perceber as influências diretas sobre a população, que se encontra indignada com o descaso dos gestores públicos diante da gravidade do problema.

Portanto, com a regularização deste loteamento os gestores públicos poderão atuar de forma a solucionar os devidos problemas e proporcionar assim melhores condições de vida à população residente.

REFERÊNCIAS

BRASIL. Lei 6766, de 19 de dezembro de 1979. **Dispõe sobre o Parcelamento do Solo Urbano e dá outras Providências.** Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L6766compilado.htm>. Acesso em: 17 jun. 2016.

BRASIL. LEI nº 12.651, de 25 de maio de 2012. **Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa;** altera as Leis nos 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nos 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória no 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm>. Acesso em: 29 mar. 2017.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **CENSO DEMOGRÁFICO 2010.** Município de Abadia do Dourados/MG, informações completas. Rio de Janeiro: IBGE, 2010. Disponível em: < http://cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?lang=&codmun=310010&search=||infogr%E1ficos:-informa%E7%F5es-completas.>. Acesso em: abr. 2016.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. **Manual de acesso SOMABRASIL.** Disponível em: http://www.agricultura.gov.br/assuntos/riscos-seguro/arquivos-publicacoes-gestao-riscos-seguro/manual-de-acesso-somabrasil.pdf/view. Acesso em: 11 mar. 2017

MINISTÉRIO PÚBLICO DO ESTADO DE MINAS GERIAS. **Promotoria de Justiça da Comarca de Coromandel.** Promotoria de Justiça Única – nº: 0018394-36.2014, Autor: Ministério Público de Estado de Minas Gerais, 02 set. 2014.

MODELAGEM DE PLANTA GENÉRICA DE VALORES PARA A CIDADE DE MONTE CARMELO/MG

Dayanne Vieira de Oliveira
Claudionor Ribeiro da Silva

Universidade Federal de Uberlândia - Campus Monte Carmelo
{dayannevieira@ufu.br, crs@ufu.br}

RESUMO

A modelagem de uma Planta Genérica de Valores (PGV) é considerada um excelente instrumento para o planejamento urbano e permite aumento do conhecimento acerca dos tributos disponíveis, da distribuição dos recursos, do retorno provável de tais investimentos, bem como a prática da justiça social. Cidades de pequeno e médio porte costumam ter poucas informações do mercado imobiliário e, na maioria das vezes, atuam com planta de valores desatualizada. A forma tradicional de elaborar a PGV tecnicamente correta e socialmente justa é morosa e onerosa. Nesse estudo foi apresentado um modelo para geração de PGV que associa o mapeamento urbano à avaliação imobiliária, preocupando com baixo custo e fácil atualização. A metodologia contempla o uso de imagens do satélite *RapidEye* em conjunto com variáveis significativas, tais como polos de valorização e áreas de risco existentes na cidade de Monte Carmelo/MG. As análises dos dados para poder chegar ao modelo foram baseadas em análise descritiva e inferência estatística. Os sinais dos regressores foram coerentes e obedecem ao modelo de análise de regressão linear múltipla. A superfície gerada e analisada por pontos de verificação aponta os índices mais elevados de IPTU na região central da cidade com discrepância menor que 20% do valor real, seguindo em intensidades menores na direção periférica.

Palavras-chave: Avaliação imobiliária; Planejamento urbano; PGV.

MODELING A GENERIC VALUES PLANT FOR THE CITY OF MONTE CARMELO/MG

ABSTRACT

The process of modeling a Generic Values Plant (PGV) is considered an excellent tool for urban planning and allows an increase of knowledge regarding the available taxes, as well as the resource distribution, the likely return of such investments and the practice of social justice. In Brazil, small and medium–sized cities usually do not have much information about the real estate market, and, most of the time, operate with an outdated values plant. The traditional way of elaborating the technically correct and socially just PGV is time consuming and costly. In this study a model was presented for the generation of PGV that associates the urban mapping with the real estate appraisal, worrying about low cost and easy updating. The methodology includes the use of RapidEye satellite images together with significant variables such as recovery poles and risk areas existing in Monte Carmelo/MG city. The analysis of the data to arrive at the model were based on descriptive analysis and statistical inference. The signs of the covariates were consistent and obey the multiple linear regression analysis model. The surface generated and analyzed by checkpoints the highest property tax rates in the downtown area with a discrepancy of less than 20% of the actual value, following in lower intensities towards the peripheral direction.

Keywords: Real estate appraisal; Urban planning; PGV.

1. INTRODUÇÃO

A Planta Genérica de Valores (PGV) é a base da avaliação dos terrenos de uma cidade, através dela se formula os cálculos para obtenção dos valores venais dos imóveis urbanos para fins de cobrança do Imposto Predial e Territorial Urbano (IPTU) e das transações imobiliárias,

podendo ainda ser tomado como limite mínimo para a cobrança do Imposto de Transmissão de Bens Imóveis Inter Vivos (ITBI).

Além do aspecto tributário, deve-se ressaltar que a PGV também é um importante documento de suporte direcionado para o planejamento urbano, ao refletir os índices de valorização e desvalorização imobiliária, propicia, por conseguinte, a ação regularizadora da administração municipal quanto ao uso e ocupação do solo, buscas por pesquisas, análises e determinação de planos de melhorias de qualidade de vida populacional, além de ser um facilitador na atualização da situação municipal.

Entretanto, quando se trata de aplicações práticas da geração e manutenção dessa planta, observa-se a falta de dados para serem utilizados como elementos representativos do mercado imobiliário, visto que na maioria das cidades, inexiste um banco de dados com informações imobiliárias relacionadas ao cadastro técnico municipal. Isto se acentua em virtude da maioria dos *softwares* comerciais de geoprocessamento apresentar custos elevados para sua aquisição e implantação, a PGV, geralmente tem sido realizada de forma analógica, com a produção apenas de formulários impressos. Ainda, há uma ausência de conhecimentos acerca de uma metodologia para criação e manutenção de um serviço como este.

Assim, estudos direcionados ao mapeamento urbano, à avaliação imobiliária e ao desenvolvimento de técnicas que visem aprimorar a modelagem de uma PGV, preocupando com baixo custo, fácil utilização e atualização, são indispensáveis nos dias atuais, pois permitem apontar soluções para tomadas de decisão e organização de políticas que sejam socialmente justas.

Nesse contexto, é proposto um modelo de PGV para a cidade de Monte Carmelo/MG, a partir da coleta de dados em campo, do uso de imagens de satélite e *softwares* livres para a elaboração de uma base de dados digitais do mercado imobiliário, com o intuito de aumentar o conhecimento acerca dos tributos disponíveis, da distribuição dos recursos, bem como do retorno provável de tais investimentos para a sociedade carmelitana.

2. REVISÃO DE LITERATURA

O IPTU, de competência dos municípios, é definido nos artigos 32, 33 e 34 do Código Tributário Nacional, é estabelecido sobre a propriedade predial e territorial localizada na zona urbana, tendo como base para o cálculo o valor venal do imóvel (BRASIL, 1966).

Além da capacidade contributiva, a legislação também impõe que os valores venais dos imóveis urbanos de uma cidade sejam previamente avaliados e submetidos à análise e aprovação da Câmara de cada município, podendo ser lançado à população apenas um ano após a aprovação (MÖLLER; HOCHHEIM, 2006, p. 7).

Um importante instrumento de auxílio aos trabalhos dos gestores municipais na avaliação imobiliária é a PGV, definida na NBR 14.653-2 como "a representação gráfica ou listagem dos valores genéricos de metro quadrado de terreno ou do imóvel numa mesma data." (ABNT, 2011, p. 6).

Visto a grande importância que possui esse instrumento para a gestão pública, cabe aos elaboradores ter o minucioso cuidado ao elaborar uma PGV, fundamentando seus estudos principalmente em metodologias que garantam o emprego de técnicas adequadas para a avaliação imobiliária previstas pela Norma Brasileira de Avaliação de Bens para Imóveis Urbanos (NBR 14.653-2), e na excelência da coleta de dados.

As avaliações para fins tributários são quase impossíveis de serem realizadas individualmente, para cada imóvel, tornando necessário a realização do procedimento chamado de "avaliação em massa dos imóveis". Essa avaliação consiste em determinar valores com a utilização de dados comuns e procedimentos avaliatórios padronizados para todos os imóveis situados dentro de um determinado perímetro e em uma data estabelecida (DIB; ARAÚJO JÚNIOR; MEIRELES, 2008).

Para realização desse procedimento são selecionadas variáveis que mais se destacam e que tenham características específicas para a região que pertençam, como distância a polos de valorização, zona de uso e ocupação do solo, densidade comercial e qualidade da infraestrutura.

Além da identificação das variáveis, o desenvolvimento de um modelo depende do método de avaliação, da amostra de dados utilizada como base, da qualidade de informações pesquisadas, do tipo de informações

constantes no cadastro, da habilidade do avaliador e dos recursos disponíveis (RAMPAZZO, 2012). Por isso, torna-se essencial seguir as orientações contidas na NBR 14.653-2 de 2011.

Na literatura se identificam vários métodos para obter o valor venal de imóveis e composição de uma PGV para fins tributários, principalmente utilizando tratamento por metodologia determinística, a qual utiliza a regressão linear por inferência estatística.

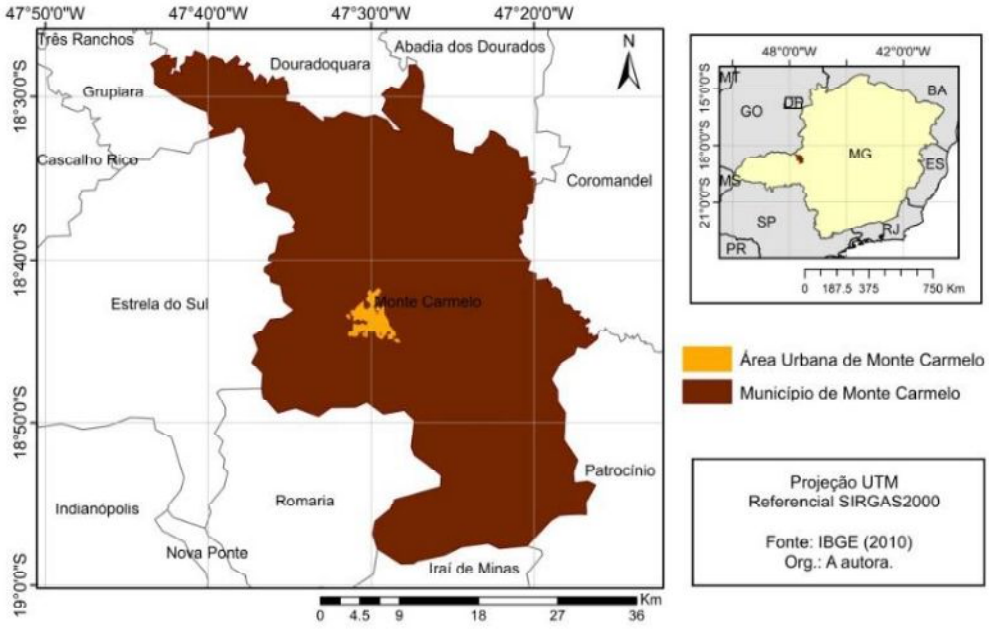
A regressão linear é descrita na norma NBR 14.653-2 como "a técnica mais utilizada quando se deseja estudar o comportamento de uma variável dependente em relação a outras que são responsáveis pela variabilidade observada nos preços" (ABNT, 2011, p. 6), na qual os parâmetros populacionais são estimados por inferência estatística. Com a Regressão Linear a variabilidade no mercado imobiliário pode ser explicada.

3. MATERIAL E MÉTODO

3.1 ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo, apresentada na Figura 1, compreende o município de Monte Carmelo no estado de Minas Gerais.

FIGURA 1. Localização do município de Monte Carmelo. Fonte: Autor (2017).



O município abrange uma área de 1.343,035 Km^2, possui 40.100 habitantes na área urbana, tendo densidade demográfica de 34,08 hab/km^2. Possui 17.200 domicílios, destes 39 são domicílios coletivos e 17.161 são particulares, com média de 3,04 moradores por domicílio. Existem também 4.198 estabelecimentos e 621 edificações em construção (IBGE, 2010). A receita orçamentária arrecadada no ano de 2013 foi de R$1.089.000,00 com o IPTU. Já em 2014 esse valor chegou a R$1.167.000,00 (SICONFI, 2015).

3.2 MATERIAL UTILIZADO

Uma cena do satélite *RapidEye*, do ano 2013, fornecida pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA), com 5 bandas espectrais e com resolução espacial de 5 metros foi usada para caracterização dos centros de valorização e desvalorização da cidade, bem como base de referência para a correção geométrica dos dados vetoriais extraídos a partir das imagens do Google Earth Pro.

Dentre as características investigadas está a topografia do lugar, por isso foi realizada uma análise dos dados altimétricos da cidade, para isso foi adquirida uma imagem do projeto Topodata do Instituto Brasileiro de Pesquisas Espaciais (INPE), o qual oferece o Modelo Digital de Elevação (MDE) elaborado a partir dos dados SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission)* refinados para a resolução de 30 m.

O levantamento em campo para a coleta de pontos de controle utiliza de dois receptores GNSS (*Global Navigation Satellite System*), do Laboratório de Topografia e Geodésia (TGEO) do curso de Engenharia de Agrimensura e Cartográfica, da Universidade Federal de Uberlândia, sendo um Pro Mark 500 L1/L2 (dupla frequência), com precisão horizontal de 5 mm + 0,5 ppm, como receptor da estação de referência definido pelas coordenadas 18° 44’ 12,64171” S/47° 29’ 00,62162” O SIRGAS2000, e um Pro Mark 200 L1/L2 (dupla frequência), de precisão horizontal (5 mm + 1 ppm), utilizado como receptor das estações com coordenadas a determinar.

Junto à Prefeitura Municipal e à comunidade carmelitana foram solicitadas as informações a respeito da base de arrecadação tributária,

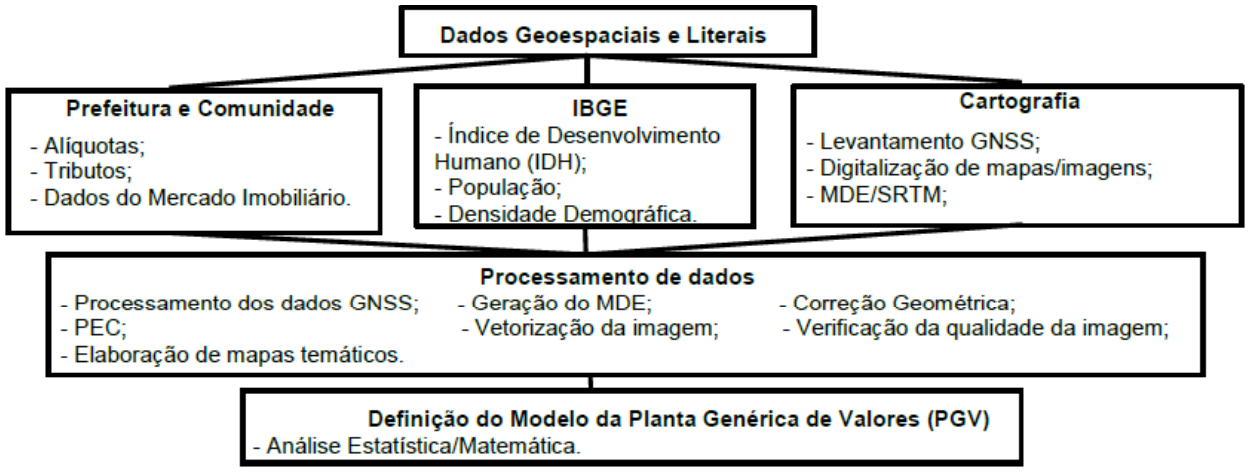
as alíquotas, bem como os dados cartográficos, legislativos e tributários existentes.

Foram utilizados o *software* livre QuantumGis (QGis) 1.8.0, o ENVI 5.1 (propriedade da UFU), o MultiSpecW32 (propriedade da UFU) para a manipulação das imagens e dos dados cartográficos, a plataforma *GNSS Solution* (propriedade da UFU) para processamento dos dados de campo e o *software* Stata 12 (propriedade da UFU) para o processamento matemático/estatístico.

3.3 MÉTODO

A metodologia é estruturada nas fases apresentadas na Figura 2.

FIGURA 2. Organograma de atividades executadas. Fonte: Autor (2017).



3.3.1 Análise dos Dados Literais

O modelo (Equação 1) para cálculo do Imposto Predial e Territorial Urbano, usado pela prefeitura municipal de Monte Carmelo, está previsto na Lei n.° 082/97 de 30 de dezembro de 1997 (MONTE CARMELO, 1997).

$$VV = VVL + VVE \qquad (1)$$

onde: VV é o valor venal final, medido em reais (R$); VVL é o valor venal do lote em reais (R$); VVE é o valor venal da edificação medido em reais (R$).

O valor venal do lote (VVL) é obtido com base na Equação 2.

$$VVL = \frac{A \cdot T \cdot VLS \cdot E \cdot C}{360} \quad (2)$$

onde: A é a área do lote em m²; T é a medida da testada do lote em metros; VLS é o valor do lote no setor, em reais (R$); E é o Fator de esquina; e C é o Fator de Correção Topográfica.

Por outro lado, o valor venal da edificação (VVE) é obtido com base na Equação 3.

$$VVE = \frac{AE \cdot VTE \cdot CAT \cdot CAC \cdot CAS}{360} \quad (3)$$

onde: AE é a área edificada, em m^2; VTE é o valor do m^2 do tipo da edificação, em reais (R$); CAT é o coeficiente de avaliação da categoria, por tipo de edificação; CAC é o coeficiente de avaliação do estado de conservação do imóvel; CAS é o coeficiente de avaliação de subtipos.

A Prefeitura Municipal de Monte Carmelo avalia cada imóvel e armazena os dados referentes ao IPTU em um banco de dados digital contento as informações cadastrais dos imóveis. Esse banco de dados contém a inscrição cadastral, o código do imóvel, o número do lote e o número da quadra, juntamente com as variáveis citadas na definição do cálculo para o valor do IPTU.

3.3.2 Cartografia e Processamento de Dados

A falta de mapeamentos dificulta ações no município de Monte Carmelo, para sanar essa ausência essa pesquisa utilizou além dos dados da imagem *Rapideye*, imagens do Google Earth datadas em 11 de maio de 2013 através do *plugin* Open Layers Plugin do QuantumGis (QGis) 1.8.

Com as cenas *RapidEye* foi criado no QuantumGis (QGis) 1.8 o mosaico das imagens dos dias 20/09/2013 e 13/10/2013 que permitam a cobertura total da cidade de Monte Carmelo, com a composição colorida

falsa cor 3R5G1B que melhor se aplica para a visualização/localização dos lotes e quadras da cidade.

A campanha de levantamento dos pontos de controle foi realizada nos dias 15/06/2015, 17/06/2015 e 29/06/2015, totalizando em 34 pontos coletados. Através do método de posicionamento relativo estático rápido foram coletados os limites das quadras em um intervalo de tempo para o rastreio de 5 minutos por ponto coletado. Em seguida foi utilizado o *software GNSS* Solution para a determinação das coordenadas de interesse referenciadas ao sistema de referência SIRGAS 2000.

Partiu-se para a vetorização de dados a partir de imagens do Google Earth datadas em 11 de maio de 2013 através do *plugin* Open Layers Plugin do QuantumGis (QGis) 1.8. Uma ótima aplicabilidade deste *plugin* é aproveitar regiões de alta resolução que o Google Earth disponibiliza para criar e editar vetores (camadas) de eixo de 990 quadras, 463 ruas, 2 trevos, 30 praças e 24 bairros vetorizadas na escala 1: 2500. A maioria dos *shapefiles* criados possui um Plano de Informação contendo atributos descritivos, com os nomes das ruas, das praças, bairros e dos trevos.

Para análise da qualidade do produto da vetorização da cidade de Monte Carmelo é proposto uma análise estatística dos dados e avaliação do Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC), regulamentado pelo Decreto Lei n.° 89.817 de 20 de junho de 1984, que estabelece normas que regulamentam e classificam os documentos cartográficos quanto a sua qualidade geométrica (BRASIL, 1984). Assim, considerando o produto confeccionado na escala 1:27.500 e segundo a exatidão e precisão (qualidade posicional) com base no que está preconizado neste decreto lei n.° 89817, a carta classifica-se na Classe A, uma vez que o erro planimétrico é menor que 13,75 m (0,5 mm X 27.500 = 13.750 mm) e o erro-padrão é menor que 8,25 m (0,3 mm X 27.500 = 8.250 mm).

Após análise e classificação da base vetorial de dados da cidade de Monte Carmelo, foram preparadas as variáveis utilizadas no modelo proposto. Cada variável foi definida espacialmente com base em recorte usando a base vetorial das quadras de Monte Carmelo. As variáveis escolhidas para compor o modelo da PGV da cidade de Monte Carmelo foram: Declividade\Topografia do terreno (To), Distância dos polos de valorização (Dv), Distância dos polos de desvalorização (Dd), Tipo de Solo

(So), Área inundável/alagada (In), Área Construída (Ac) e o Setor pertencente (Se).

A base informacional para a elaboração dos documentos cartográficos da To foram os dados do projeto Topodata, na escala de 1:250000, com equidistância entre as curvas de nível de 10 metros, processados através do *software* QuantumGis (QGis) 1.8. Baseados nas declividades críticas, foram mapeados as seguintes classes de declividade: menor do que 5% (relevo plano), 5 a 10% (relevo ondulado), 10 a 15% (relevo moderadamente ondulado), 15 a 20% (relevo forte ondulado). A cidade de Monte Carmelo apresenta pequena alteração em sua topografia e é passível de parcelamento do solo ao considerar a variável declividade, uma vez que em acordo com a lei n.°6.766, de 19 de dezembro de 1979, que dispõe sobre o parcelamento do solo urbano, não é permitido parcelamento do solo em terrenos com declividade igual ou superior a 30%, o que não é aplicável em Monte Carmelo, aonde a declividade máxima chega a 17%.

Para a caracterização da variável So, utilizou-se de dados disponibilizados pela EMBRAPA, em escala 1:5.000.000, processados no QuantumGis (QGis) 1.8. Devido à escala, toda a área urbana de Monte Carmelo foi considerada com um único tipo de solo, o Latossolo Vermelho. Esse tipo de solo caracteriza-se por apresentar predominância de mineral bastante intemperizado, geralmente com classe textural franco argilo arenosa.

Para a confecção dos mapas de distância, foi feita a coleta de dados de mercado, através da realização de uma vistoria nos principais pontos da cidade para identificação de sua dinâmica, forma de crescimento, de valoração, a fim de determinar a sua estrutura imobiliária e econômica. Os mapas de distância são gerados em relação aos polos de valorização considerados positivos na representação da PGV da cidade e polos de desvalorização, referentes àqueles locais de influências negativas ao setor imobiliário.

Para o mapa de Dv considerou-se os prédios da Universidade Federal de Uberlândia/Campus Monte Carmelo (Araras e SESI), a Fundação Carmelitana Mário Palmério (FUCAMP), a Escola Estadual Professor Vicente Lopes Perez (Polivalente), a Escola Estadual Gregoriano Canedo (Estadual), o Colégio Nossa Senhora do Amparo, o Colégio Alpha COC, a

Prefeitura, o centro comercial, a Policlínica, o Pronto Socorro, o Hospital Virgílio Rosa e o Hospital Santa Terezinha. Para o mapa de Dd considerou-se as indústrias de cerâmica e a Estação de Tratamento de Esgoto (ETE).

A partir da imagem *RapidEye* foram gerados *buffers* através da ferramenta Create Buffer Zone from ROIs do ENVI 5.1 com essas áreas selecionadas. Para o mapa de Dv a distribuição dos valores se dá de uma forma decrescente. O *buffer* foi realizado com o valor inverso dos pixels para que sejam diferenciadas das distâncias das áreas de influências negativas. Assim, em ambos os mapas a distância representada por áreas escuras são consideradas desvalorizadas e as áreas em claro representam as valorizadas. O mesmo método é realizado para o mapa da variável In, onde gerou-se *buffer* nas proximidades do Córrego Mumbuca, localizado entre as coordenadas 18° 44’ 23,28” S/47° 29’ 49,56” O e 18° 42’ 9,36” S/47° 29’ 30,84” O.

A variável Ac foi definida por meio de uma classificação usando o classificador Máxima Verossimilhança e a imagem *Rapideye*. A classificação foi processada no ENVI 5.1. A escolha desse classificador se deu por ser um método já consagrado no meio científico. A classificação resultou, para a cidade de Monte Carmelo, 341,408 ha de área construída, 498,690 ha de solo e 78,933 ha de vegetação.

Por fim, para a variável Se identificou-se os bairros mais representativos e as características da sua localização para realizar a divisão da cidade em setores, com intuito de limitar as informações tributárias existentes. O critério utilizado para a divisão dos setores foi a identificação da presença de locais de valorização e de desvalorização, e também a estrutura econômica, unificando em um mesmo setor aqueles bairros com características similares. Isto é, identificar zonas homogêneas as quais apresentam a mesma evolução durante o tempo manifestada pelo padrão construtivo das edificações e econômico.

3.3.3 Definição do Modelo da Planta Genérica de Valores

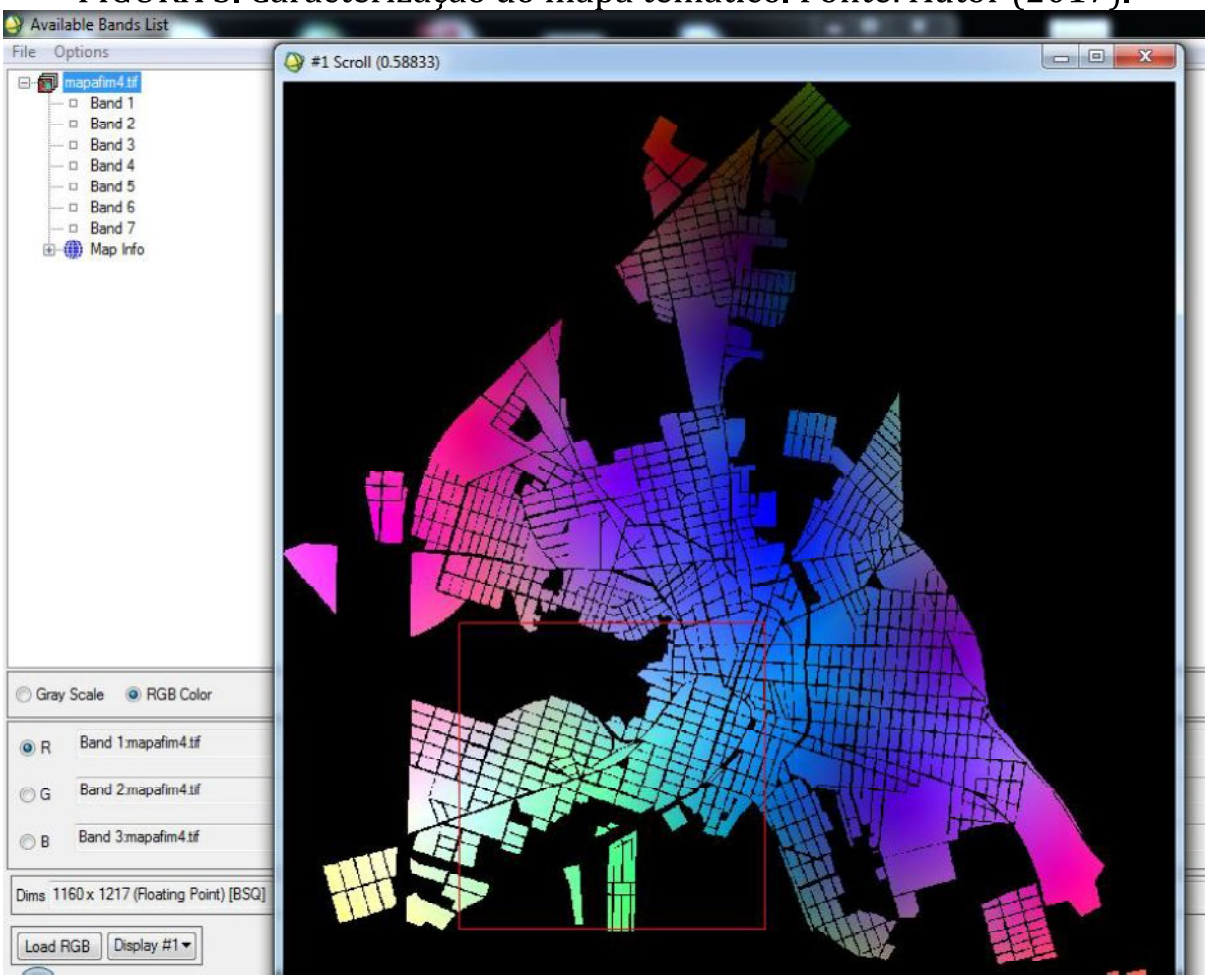
O método proposto busca modelar parâmetros que influenciam, diretamente, no processo simplificado de determinação do IPTU.

São considerados para o modelo os parâmetros maperados: To, Dv, Dd, So, In, Ac e Se. Esses parâmetros foram definidos tendo por base as

características da cidade em estudo e as informações que possuem influências sobre os imóveis. A variável infraestrutura não foi utilizada uma vez que toda a área construtiva em estudo possui asfalto, água e esgoto.

A extração do conjunto de informações contidas em cada produto cartográfico de cada variável independente estudada é realizada através da ferramenta List Data do *software* MultiSpecW32. Antes da obtenção desses dados, utiliza-se a ferramenta ENVI Standard do ENVI 5.1 para a construção do mapa temático, conforme a Figura 3.

FIGURA 3. Caracterização do mapa temático. Fonte: Autor (2017).



Esse procedimento permitiu o acesso a todas as informações registradas em uma única imagem, para que sejam usadas na definição do modelo. Para a eficácia dessas informações extraídas para cada variável foi necessário verificar se todas as imagens estavam no mesmo

sistema de projeções, neste caso UTM 23S, *datum* WGS 84, e com linhas e colunas padronizadas (1.160 x 1.217), tendo como referência a base vetorial da cidade. Assim, cada banda possui informações correspondentes a uma variável independente, sendo Banda 1 (In), Banda 2 (Dd), Banda 3 (Dv), Banda 4 (Ac), Banda 5 (So), Banda 6 (To), Banda 7 (Se).

Junto à comunidade, em um trabalho porta a porta foram coletados dados amostrais aleatoriamente ao longo do Município de Monte Carmelo, contendo informações em relação à localização e valor do IPTU sem desconto. Totalizando em 101 informações.

O mapa temático e a localização das amostras foram inseridos no *software* MultiSpecW32, no qual foi possível obter todas as informações referentes a todas as variáveis independentes com a ferramenta List Data, as quais foram transferidas para uma planilha no LibreOffice Calc (*software* livre).

De posse das informações de cada amostra, parte-se para o modelo de regressão linear múltipla que é o método estatístico usado para investigar a relação entre as variáveis independentes. Para agilizar o cálculo do modelo são abordados recursos do STATA 12.

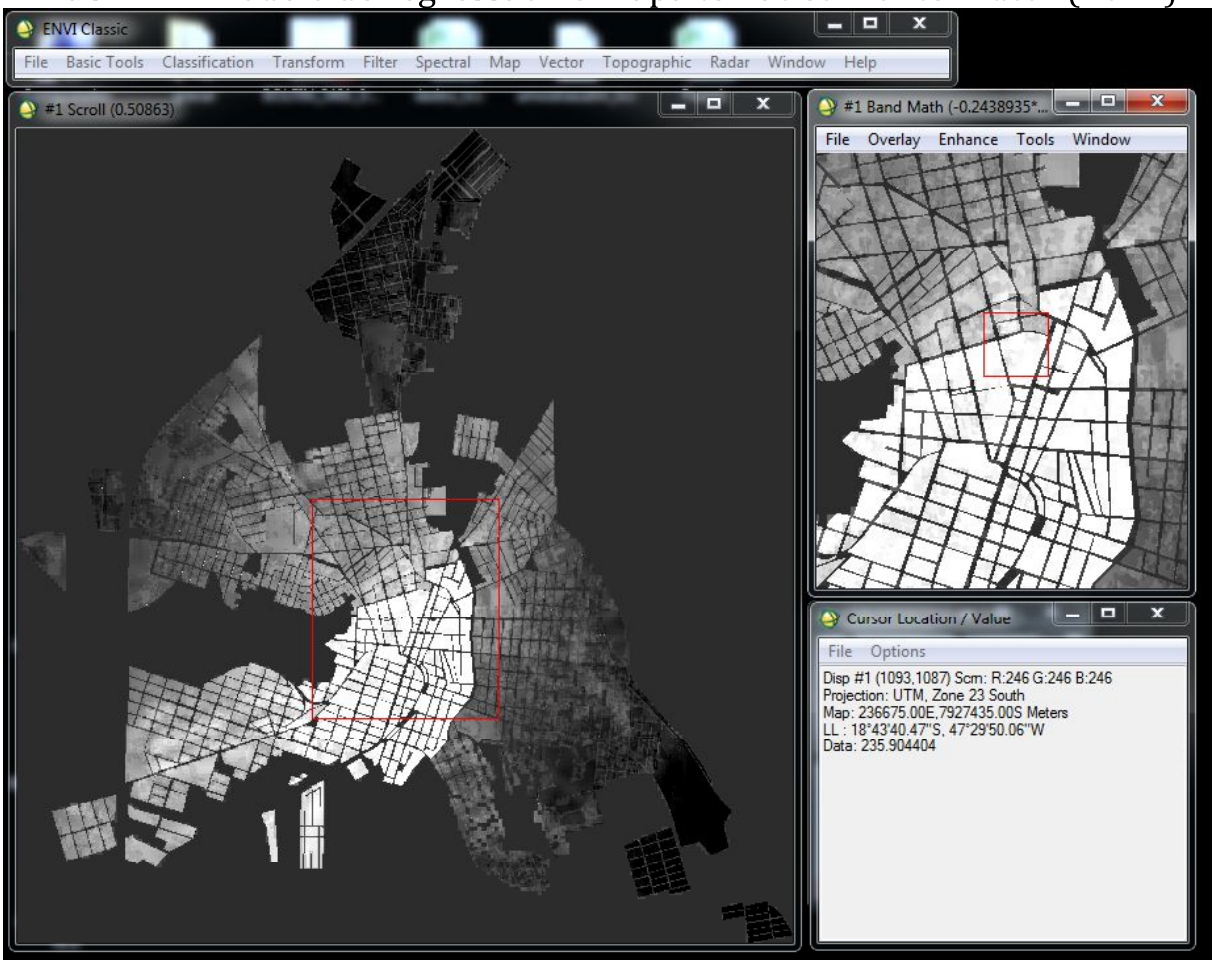
Para o uso de operadores de regressão, a NBR 14653-2 da ABNT recomenda a realização de alguns testes que validam o modelo gerado. Esses testes visam verificar se os pressupostos da teoria de regressão são atendidos. Testes como da multicolinearidade são realizados para observar a existência de relação entre quaisquer variáveis independentes, o teste da homocedasticidade busca observar se a variância dos erros é constante e o teste da autocorrelação, o qual verifica se o resíduo de uma observação não é correlacionado com o resíduo de outra observação.

As oito variáveis, sendo IPTU uma variável dependente e In, Dd, Dv, Ac, So, To e Se variáveis independentes, e as 101 observações foram inseridos na interface do STATA 12. Através dos coeficientes e significâncias de regressão fornecidos foi gerado o modelo de regressão, que é dado pela Equação 4.

$$IPTU = -0{,}244 \cdot b1 + 0{,}105 \cdot b2 + 0{,}532 \cdot b3 - 17{,}407 \cdot b4 + 0 \cdot b5 + 5{,}118 \cdot b6 + 19{,}021 \cdot b7 + 8{,}901 \quad (4)$$

Com a ferramenta *Band Math* do ENVI 5.1 o modelo de regressão foi inserido no mapa temático obtendo informações referentes ao IPTU em cada pixel, as áreas claras apresentam os maiores valores. O valor máximo obtido na representação cartográfica do modelo de regressão foi de R$ 389,90 e o mínimo -R$ 18,87, como mostra a Figura 4.

FIGURA 4. Modelo de regressão no mapa temático. Fonte: Autor (2017).



Com a geração do modelo de regressão há necessidade de se verificar alguns pressupostos básicos, em busca da validação do mesmo, ou seja, saber se o modelo obtido é adequado ou não, para isso foram usados 5 pontos de verificação.

Para cada ponto de verificação (PV) coletado foi calculada uma média do valor do IPTU de todos os pixels localizados no terreno, o valor do IPTU do pixel do centro e também o valor da testada do terreno para que possa ser comparado com o valor cobrado pela Prefeitura Municipal. Por

fim, esses dados obtidos foram analisados e confrontados, de modo a comparar a atualização das informações, registrar as alterações que ocorreram e verificar o impacto da sua utilização no cadastro da cidade. Como é apresentado no Quadro 1.

QUADRO 1. Valores do IPTU para os Pontos de Verificação.

	Valor IPTU Modelado			**Valor IPTU s/ desconto (R$) - Prefeitura**
	Média	**Central**	**Testada**	
PV1	R$ 85,00	R$ 85,50	R$ 85,22	R$ 66,36
PV2	R$ 100,00	R$ 100,16	R$ 89,57	R$ 116,94
PV3	R$ 157,40	R$ 159,43	R$ 159,72	R$ 164,64
PV4	R$ 147,40	R$ 148,62	R$ 148,47	R$ 49,47
PV5	R$ 130,3	R$ 130,48	R$ 130,09	R$ 112,23

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O estudo dos dados são condições fundamentais para que se possa sistematizar o cálculo do IPTU no Município. A Cartografia, mediante o emprego de análises espaciais, é indispensável no contexto deste trabalho, uma vez que a localização é o principal definidor da quantificação do valor do imposto.

As análises de dados para poder chegar ao modelo foram basicamente análise descritiva e inferência estatística. Os pressupostos inerentes a cada uma das análises foram observados, bem como a representatividade do modelo em razão das características da amostra.

Pela análise da regressão observou-se que o coeficiente de determinação foi igual a 0,4426, o que indica que 44,3% da variação do valor são explicadas pela equação de regressão. Esse valor pode ser explicado pela diversidade de características entre os lotes. Vale ressaltar que a aplicação foi realizada para toda a cidade, na qual os imóveis têm características muito distintas.

Os sinais dos regressores estão coerentes e apenas a variável solo foi igual a zero, a um nível de significância de 5%, o que pode ser explicado por estar associada ao um mapa de escala pequena, sendo atribuído

apenas uma única classe para a área de estudo. O Fcalculado foi igual a 12,44, superior ao Ftabelado (F6,94 = 2,25), isto indica que os dados obedecem ao modelo de análise de regressão linear múltipla, ou seja, que as variáveis independentes reduzem significativamente a variação da variável dependente, o que permite aceitar a hipótese de existência de regressão.

Analisando o modelo, somente duas variáveis foram estatisticamente significativas: rio e setores. Optou-se por não retirar as outras variáveis pelo fato de o modelo está bem ajustado, como mostra a estatística F (F=0.0).

A partir do modelo gerado, notou-se que a variável rio, influencia negativamente o valor do IPTU; assim, quanto mais próximo do rio (menor distância), maior o IPTU; ou seja, uma relação inversa entre as duas variáveis.

Esse fato evidencia uma relação do IPTU com as Leis ambientais de preservação das margens dos rios. Em relação à variável setores, a correlação é positiva; o que identifica que setores de áreas mais nobres devem pagar maiores valores de IPTU.

Os pontos de verificação foram analisados em relação a discrepância entre os valores de IPTU Modelado e calculado pela Prefeitura Municipal, como apresentado no Quadro 2.

QUADRO 2. Valores de IPTU modelado e da prefeitura.

Ponto	**Média**		**Central**		**Testada**	
PV1	R$ 18,6	+ 28 %	R$ 19,1	+28,8 %	R$ 18,9	+28,4 %
PV2	-R$ 16,9	- 14,5 %	-R$ 16,8	-14,13 %	-R$ 27,4	-23,4 %
PV3	-R$ 7,20	- 4,4 %	-R$ 5,2	-3,2 %	-R$ 4,90	-3 %
PV4	R$ 97,90	+ 198 %	R$ 99,20	+200,4 %	R$99,00	+200,1%
PV5	R$ 18,10	+ 16,1 %	R$ 18,30	+16,30 %	R$17,90	+15,90%

A maioria dos pontos verificados diferenciam em menos de 20% do valor modelado. Nota-se que os valores mais aproximados do real estão concentrados na parte central da cidade. Além disso, a superfície gerada aponta os índices mais elevados também na região central da cidade, seguindo em intensidades menores na direção periférica, mais especificamente nos bairros Jardim Oriente, São Sebastião, Santa Rita e

Santo Agostinho. Reconhecidamente, estes são os bairros que apresentam alguns pontos isolados, com menor intensidade do índice de valorização.

O PV4 obteve grande diferença de valor. Em uma pesquisa local foi constatado que apesar de ser atualmente uma área de valorização, na data de construção deste imóvel a área era afastada com poucas construções. Também verificou-se que o valor do IPTU não sofreu variação nos últimos oito anos e isso pode ser influenciado pela desatualização do cálculo do imposto e ter interferência no valor calculado para o modelo.

Dessa forma, com os dados obtidos e os testes realizados pode-se constatar que todos os experimentos realizados são coerentes, ou seja, os resultados são aceitáveis para a geração da PGV.

5. CONCLUSÃO

O método proposto mostrou-se uma medida eficaz que pode ser utilizado com facilidade devido à simplicidade da atualização cartográfica, uma vez que usa apenas de imagem de satélite, mapa de solos fornecido pela EMBRAPA e base vetorial do Google. Também a geração dos valores de IPTU com o modelo proposto é de rápida e fácil aplicação por usar do Sistema de Informações Geográficas e Processamento Digital de Imagens. Os resultados encontrados podem ser melhores ajustados através de um maior número de amostras e uma melhor distribuição destas ao longo da área de estudo.

Quando se emprega técnicas de análise de regressão múltipla linear para realizar um modelo com base em uma amostra de dados deve-se levar em conta as variáveis que caracterizam cada um dos objetos envolvidos na amostra. Assim, uma das dificuldades nesse tipo de análise é a escolha do conjunto de variáveis independentes que devem ser inseridas no modelo em questão e que vão descrever adequadamente a variável dependente para aproximá-la do real.

Outro problema que se pode observar é a ausência de amostras significativas de dados, principalmente, em informações referentes ao mapeamento urbano, uma vez que os dados disponibilizados estão em escalas pequenas e com médias a baixas resoluções. Também há falta de

elementos amostrais significativos em regiões periféricas da área de aplicação da PGV em Monte Carmelo.

Dessa forma, com esse estudo é possível nivelar os conhecimentos técnicos sobre métodos e uso de ferramentas para elaboração de uma PGV. E, através deste, desenvolver novas habilidades para interpretação dos mercados imobiliários usando ferramentas de geoprocessamento e a custos menores, de forma a aumentar a capacidade profissional em modelar ferramentas capazes de auxiliar a sociedade civil para efetivar a participação nas tomadas de decisões e organizar o modo a cobrar políticas.

É importante que as informações geradas sejam inseridas em um sistema de informação cadastral para ser utilizado na manipulação dos dados, no cálculo do IPTU e no planejamento municipal. Por fim, é recomendado a utilização de uma amostra maior, uma validação mais rigorosa dos modelos através dos testes que permitem identificar variáveis correlacionadas, normalidade dos resíduos e multicolinearidade, utilizar maior número de pontos de verificação que permitem a avaliação dos erros estimados pelos modelos, e principalmente o desenvolvimento de outros modelos com o objetivo de validar, analisar e comparar os resultados com os obtidos neste trabalho.

6. AGRADECIMENTOS

Agradecemos a comunidade de Monte Carmelo pelo fornecimento dos dados de IPTU de suas propriedades.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 14.653-2**: Avaliação de Bens: Imóveis Urbanos. Rio de Janeiro, 2011.

BRASIL. Decreto lei n.° 89.817 de 20 de junho de 1984. Estabelece as Instruções Reguladoras das Normas Técnicas da Cartografia Nacional. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 22 jun. 1984

BRASIL. Lei n.° **5.172, de 25 de outubro de 1966.** Dispõe sobre o Sistema Tributário Nacional e institui normas gerais de direito tributário

aplicáveis à União, Estados e Municípios. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 31 dez. 1966.

DIB, M. N.; ARAÚJO JÚNIOR, R.; MEIRELES, S. D. de. **A Importância da Engenharia de Avaliações de Imóveis para o Tribunal de Contas do Estado do Rio de Janeiro**. 2008. 87 f. (Especialização em Auditoria de Obras Públicas), Pontifícia Universidade Católica, Rio de Janeiro, 2008.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Cidades**. 2010.

MÖLLER, L. F. C.; HOCHHEIM, N. IPTU: quanto uma cidade pode cobrar? In: XIII COBREAP, 8., 2006, Fortaleza/CE. **Anais...** Fortaleza: Congresso Brasileiro de Engenharia de Avaliações e Perícias, 2006. Disponível em: <http://www.mrcl.com.br/xiiitrabalhos/32a.pdf>. Acesso: 10 mar. 2015.

MONTE CARMELO. Lei n.° 082/97 de 30 de dezembro de 1997. Dispõe sobre o novo sistema tributário no Município, as normas complementares de Direito Tributário a ela relativas e disciplina as atividades administrativas do Fisco Municipal. **Diário Oficial**, Monte Carmelo, MG, 30 dez. 1997.

RAMPAZZO, Denise Rosa. Consequências da desatualização da Planta de Valores Genéricos de Curitiba. **Revista Especialize**, Goiânia, mai. 2012. Disponível em: <http://www.ipog.edu.br/uploads/arquivos/4e5c8084f85d4a57f69855e64ce55411.pdf>. Acesso em: 04 mar. 2015.

SICONFI. **Contas anuais**. In: Brasil. Secretaria do Tesouro Nacional. Siconfi: Sistema de informações contábeis e fiscais do setor público brasileiro. Brasília, DF, 2015. Disponível em: <https://siconfi.tesouro.gov.br/siconfi/pages/public/conteudo/conteudo.jsf?id=362> Acesso em: 17 jul. 2015.

MAPEAMENTO CADASTRAL DE POSTES EM ÁREAS RURAIS UTILIZANDO IMAGENS OBTIDAS COM VANT

Jair Tayra
Paulo Hajime Gabasa Arimori
Jorge Antônio Silva Centeno

Universidade Federal do Paraná - Centro Politécnico UFPR
{jair.tayra@gmail.com, paulo.hajime@yahoo.com, centeno@ufpr.br}

RESUMO

Cartografia de qualidade é fundamental para a realização do planejamento urbano e rural. Novas tecnologias foram desenvolvidas para atender a demanda por dados atualizados e adequados a cada problema. Uma tecnologia de grande potencial é o uso de Veículos Aéreos Não Tripulados (VANT) para monitoramento de pequenas áreas com altíssima resolução espacial, visando assim, maior facilidade e agilidade na coleta e no processamento dos dados. No presente trabalho é mostrado o desenvolvimento de uma metodologia para efetuar um levantamento cadastral de postes localizados em um ambiente rural, na da estrada PR-281 no município de Tijucas do Sul - PR, a partir de uma nuvem de pontos gerada por imagens aéreas de um VANT. Os resultados experimentais comprovam que a metodologia pode ser usada e atende às exigências do Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC) na Classe A, escala 1:1000.

Palavras-chave: VANT; Levantamento Cadastral; Postes.

CADASTRAL MAPPING OF POLES IN RURAL AREAS USING IMAGES CAPTURED BY AN UAV

ABSTRACT

Cartography is fundamental for urban and rural planning. New technologies have been developed to meet the demand for updated data, such as the use of unmanned aerial vehicles (UAV) for monitoring small areas with very high spatial resolution, aiming at more efficiency and agility in data collection and processing. In the present paper it is introduced the development of a methodology to carry out a cadastral survey of poles located in a rural environment on the road PR-281 in the municipality of Tijucas do Sul-PR, from a point cloud generated by aerial images of a UAV. The experimental results show that the methodology is feasible and meets the requirements of the standard Cartographic Accuracy in a 1:1000 scale.

Keywords: UAV; Cadastral survey; Poles.

1. INTRODUÇÃO

As atividades do cadastro demandam constante atualização de mapas e por isto os produtos cartográficos são fundamentais para a realização do planejamento e gestão do espaço físico. Uma das necessidades está associada à infraestrutura existente. Por exemplo, quando se deseja ampliar ou melhorar uma estrada é necessário saber a quantidade e tipos de objetos presentes ao longo da mesma, como por exemplo, postes, sinalizadores, pontes, etc.

Produtos cartográficos em várias escalas são tradicionalmente derivados de diferentes tipos de levantamentos, como topografia ou fotogrametria. Porém, novas ferramentas para a coleta e processamento de dados espaciais estão constantemente sendo disponibilizadas. Como exemplos podem ser citados o uso da varredura a Laser, o uso de veículos aéreos não tripulados e processamento digital de nuvens de pontos 3D. A utilização de Veículos Aéreos Não Tripulados (VANT) para mapeamento

de pequenas áreas com altíssima resolução espacial é uma tecnologia ainda em desenvolvimento, mas de grande potencial, que visa atender a demanda por mais dados, com maior qualidade e segurança para a atualização de produtos cartográficos.

Neste trabalho é apresentada uma metodologia para o levantamento cadastral de postes a partir de uma nuvem de pontos derivada de um conjunto de imagens obtidas desde um VANT. São discutidos aspectos como a viabilidade do uso de VANT para identificação de postes, a eficácia na obtenção dos postes através das técnicas de processamento digital de imagens e a acurácia das coordenadas dos postes.

2. REVISÃO DE LITERATURA

Pouca pesquisa tem sido dedicada ao uso de veículos aéreos não tripulados para mapeamento de postes. O principal uso destas plataformas, pelo momento, é para a verificação e inspeção de postes e seus elementos, pois permitem atingir locais de difícil acesso, como é descrito em Sa et al.(2016).

A detecção e classificação de postes é um tema mais frequente em artigos que descrevem o processamento e análise de nuvens de pontos obtidas por Lidar. Os métodos de detecção de postes têm muita similaridade com os métodos de detecção de árvores, elementos verticais da paisagem. Alguns trabalhos, como Yu et al.(2015) ou Yokohama et al. (2013) são exemplos de processamento de nuvens de pontos para a detecção de postes com dados de Lidar terrestre móvel.

Os trabalhos que usam nuvens de pontos de Lidar para a detecção de postes geralmente iniciam com a filtragem do terreno para assim restringir a análise aos objetos acima do terreno. Para isto, um modelo digital do terreno é derivado da nuvem de pontos como estimativa da topografia sem a presença dos objetos acima do terreno, como árvores, construções ou postes. Esta representação é então reduzida do modelo inicial (modelo de superfície) para produzir um modelo digital com apenas os elementos acima do terreno (modelo normalizado). Este processo é descrito em Weidner e Förstner (1995).

A partir da separação dos objetos, as técnicas de detecção variam. Entre as mais conhecidas está a técnica de fatiamento e as técnicas de

detecção de cilindros, como descrito em Huang e You (2005). O método de fatiamento consiste em definir uma superfície paralela à superfície descrita pelo modelo do terreno, a uma altura especificada pelo usuário. Este método, descrito em Luo e Wang (2005), assume que os postes são estruturas verticais e, por crescerem perpendiculares ao terreno, aparecem em planos acima do terreno em várias alturas. Assim, vários cortes são efetuados a diferentes alturas para identificar estruturas verticais.

Assumindo que os postes sejam cilindros, o resultado da etapa de fatiamento pode ser usado para detectar melhor os postes usando algoritmos de detecção de cilindros. Por exemplo, Press e Austin (2004) propõem agrupar os pontos que pertencem a um poste aplicando a transformada de Hough. O problema é que nem sempre a seção de postes é uma circunferência e que a quantidade de pontos para descrever corretamente um poste deve ser alta. Outra forma de aproximar a seção dos postes seria aplicando o método RANSAC para a detecção de estruturas circulares, conforme descrito em Bolles e Fischler (1981).

Técnicas similares podem ser encontradas na literatura. Por exemplo, Yongtao et al. (2015) apresentam uma revisão de métodos para detecção de árvores e postes. Os trabalhos encontrados na literatura se concentram no uso de nuvens de pontos obtidas com Lidar terrestre e muito pouco é encontrado usando dados derivados de fotogrametria com VANTS.

Nuvens de pontos são hoje vastamente derivadas de fotografias obtidas com VANT aplicando o método structure from motion – SfM. Este método é utilizado para reconstruir tridimensionalmente uma cena ou objeto, assim como a posição da câmera no momento da tomada da fotografia, a partir de múltiplas imagens, sem precisar de informações de correspondência das mesmas.

Diferente da fotogrametria convencional, onde primeiro são inseridos os pontos de apoio e depois são resolvidas as equações de colinearidade, o fluxo de trabalho com SfM inicia-se com as equações de colinearidade sempre resolvidas antes da introdução das coordenadas dos pontos de apoio (Fonstad et al., 2012). Com a implementação do algoritmo SIFT (Lowe, 2004) no método de SfM, o resultado é um grande número de pontos homólogos, identificados durante a fase de

correspondência automatizada de imagens, resolvendo as equações de colinearidade em um sistema de referência arbitrário. Devido ao grande número de pontos homólogos em todas as imagens, o método permite realizar uma completa calibração de câmera, de forma automática.

Dentro do fluxo de trabalho do SFM, o próximo passo é o registro da nuvem de pontos X, Y e Z gerada no referencial arbitrário para um referencial terrestre ou local. Nesta etapa, deverão ser introduzidas as coordenadas dos pontos de apoio e/ou as posições de câmera para transformar e registrar a nuvem de pontos no referencial desejado. A transformação utilizada é a de similaridade, que possui sete parâmetros sendo um parâmetro de escala, três parâmetros de translação e três parâmetros de rotação. Esta transformação produz uma nuvem de pontos adequada para aplicações de mapeamento, por ser uma transformação linear e rígida (Fonstad et al., 2012).

3. MATERIAL E MÉTODO

A seguir são descritos, suscintamente, a área de estudo e os principais materiais utilizados para a coleta de coordenadas pontos no terreno, voo fotogramétrico e processamento dos dados.

3.1 ÁREA DE ESTUDO

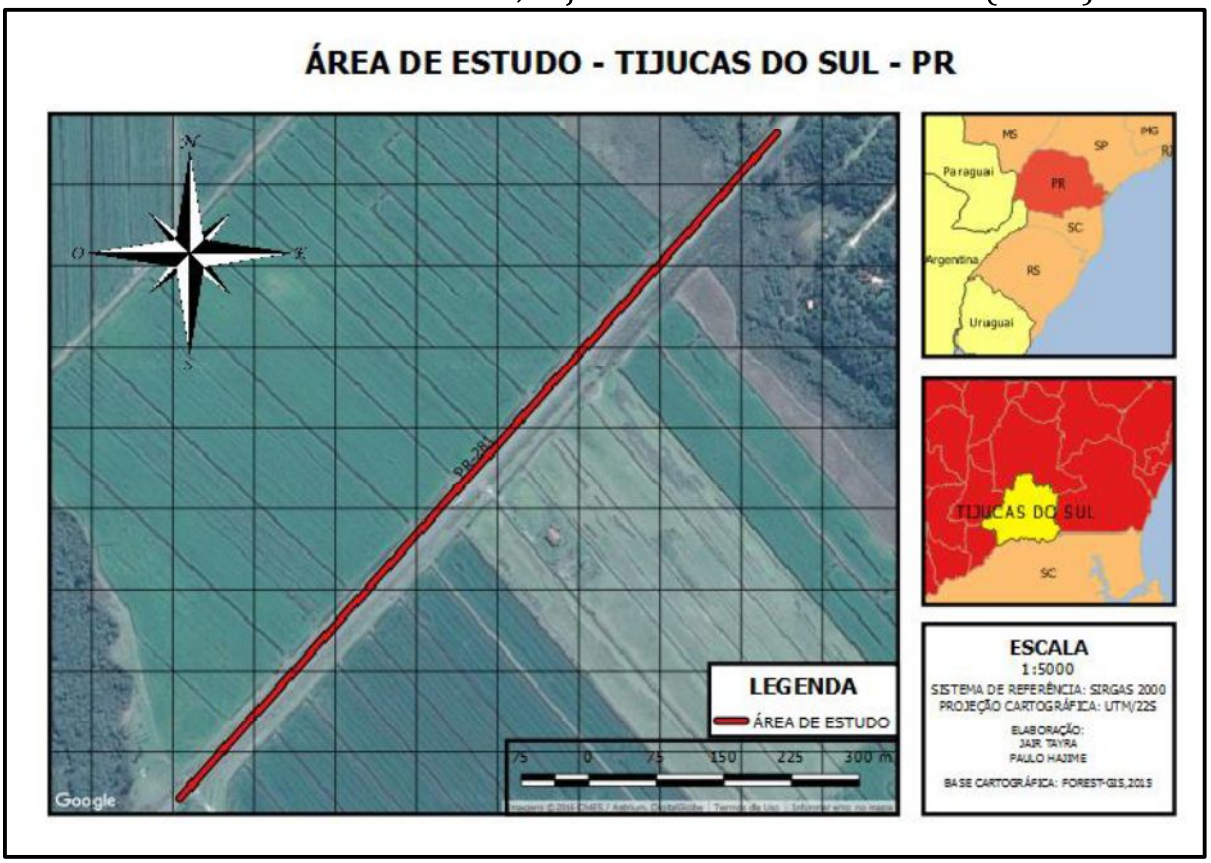
A área de estudo encontra-se localizada no município de Tijucas do Sul – Paraná, mais precisamente em um trecho da rodovia PR-281 (Figura 1). Trata-se de uma região Rural, área ideal para a realização do presente estudo, visto que ainda são necessários estudos sobre segurança para a integração de VANT ao espaço aéreo.

3.2 MATERIAL UTILIZADO

Para o desenvolvimento da metodologia proposta foi utilizado um par de receptores GNSS (**TOPCON GPS HIPER LITE – RTK**). Para levantamentos estáticos e estático-rápido a precisão horizontal é de 5 mm ± 5 ppm e vertical de 5 mm ± 1 ppm. Para levantamentos cinemáticos

e RTK a precisão horizontal é de 10 mm ± 1 ppm e vertical de 20 mm ± 1 ppm.

FIGURA 1. Área de estudo, Tijucas do Sul. Fonte: Autor (2017).



Também foram usadas uma câmara e um VANT, descritos a seguir. A plataforma VANT utilizada no voo fotogramétrico do presente trabalho é de propriedade do Instituto Tecnológico SIMEPAR. Esta plataforma foi montada a partir de um aeromodelo comercial, do modelo asa VANT (Figura 2) produzido pela empresa Air Design Modelismo. Esta aeronave tem as seguintes características: envergadura de 1,5 m; peso de 2,0 kg; autonomia de 20 minutos e velocidade de cruzeiro de 65,0 km/h.

A câmera digital usada é de pequeno formato, Canon PowerShot SX260 HS, com distância focal de 4,5mm, e quadro de 4000x3000pixels. O tamanho do pixel no sensor CMOS é de 1,54 µm.

Fez-se uso dos softwares IBGE-PPP, Topcon-Tools, MissionPlanner, Pix4d e MatLab. O primeiro e o segundo softwares se encarregaram pela determinação das coordenadas utilizadas para a orientação da faixa

fotogramétrica; o terceiro software foi utilizado para o planejamento de voo; o quarto software foi utilizado para a reconstrução tridimensional das múltiplas imagens; o último dispõe de ferramentas paraprocessamento dos dados e desenvolvimento de algoritmos.

FIGURA 2. VANT tipo asa. Fonte: Air Design Modelismo (2016).



3.3 MÉTODO

A seguir, são descritos os passos e etapas da metodologia do projeto. Eles incluem: O estabelecimento de uma base para o projeto; a coleta de pontos de apoio; o voo fotogramétrico e a detecção e classificação dos postes. Posteriormente foi efetuada a avaliação da qualidade do produto.

3.3.1 Base do Projeto e Pontos de Apoio

Não foram encontrados no local nenhuma RN (Referência de Nível) ou marcos geodésicos. Portanto, foi executada a implantação de um ponto geodésico (sem homologação), sendo este a base do projeto, próximo a rodovia PR-281, situando-se dentro da propriedade Grameira Gramapar.

Um total de 10 pontos de apoio aerofotogramétrico pré-sinalizados foi distribuído no terreno. Estes são chapas de madeira com uma dimensão de 40 cm x 40 cm, representado em forma de tabuleiro (preto e branco), podendo assim, ser identificados nas fotografias.

3.3.2 Plano de Voo

Partindo-se de que o diâmetro do topo de um poste é de aproximadamente 14 (quatorze) centímetros, que este é o menor elemento a ser representado na imagem e que foi definido que este seja representado por 4 (quatro) pixels, foi possível realizar o cálculo do GSD (*Ground Sample Distance*).

$$\text{Tamanho do pixel} = \frac{\text{dimensão do sensor}}{\text{total de pixels}} \qquad (1)$$

$$\text{Tamanho do GSD} = \frac{\text{diâmetro do poste}}{\text{representação em pixels}} \qquad (2)$$

Considerando que o tamanho do pixel do sensor é de 1,5495*E-06m, o valor encontrado para o tamanho do GSD é de 3,5cm.

Com o valor do GSD, e sabendo a distância focal da câmera e o tamanho do pixel, tornou-se possível estimar a altura de voo para o projeto.

$$\text{Altura de voo} = \frac{\text{Distância Focal}}{\text{Tamanho do Pixel}} * \text{GSD} \qquad (3)$$

O vaor encontrado para a altura de voo foi 101,65m, o que pode ser aproximado para 100m.

Todo o planejamento foi realizado considerando um recobrimento com sobreposição longitudinal de 90%. Para a sobreposição lateral foi adotada uma cobertura de 70%. Tendo em vista que a plataforma VANT é muito instável em situações de rajadas de ventos, esta foi aumentada em 30% em relação aos recobrimentos adotados para a utilização de aeronaves convencionais.

3.3.3 Geração da Nuvem de Pontos

Para a geração da nuvem de pontos, foi utilizado o software de fotogrametria Pix4D. Inicialmente foram importadas para o software 167 imagens, todas obtidas pelo voo aerofotogramétrico. Como o voo não foi

apoiado, ou seja, as observações da posição e a atitude da câmera a cada tomada de foto durante o levantamento aerofotogramétrico não foram determinadas, assim, nenhuma imagem possui parâmetros de orientação exterior.

TABELA 1. Parâmetros de calibração da câmera

	Valores iniciais	**Valores otimizados**
Distância focal	4,500 mm	4,625 mm
Ponto principal (x)	3,099 mm	3,094 mm
Ponto principal (y)	2,324 mm	2,326 mm
R1	-0,013	-0,022
R2	0,005	0,002
R3	-0,002	0,005
T1	0,006	0,000
T2	-0,003	-0,001

No Pix4D a orientação exterior dessas imagens, primeiramente, é calculada através da solução das equações de colinearidade utilizando um referencial arbitrário, e parâmetros de orientação interior aproximados, obtidos através de uma pré-calibração da câmera realizada pelo próprio software. Essa calibração inicial (Tabela 1) utiliza os diversos pontos de ligação, obtida de forma automática pelo algoritmo SIFT, uma opção do Pix4D, para aperfeiçoar a calibração inicial da câmera. Ainda utilizando os parâmetros de orientação provisórios, o software adensa a nuvem de pontos.

A seguinte etapa é a orientação absoluta da nuvem de pontos usando a transformação de similaridade 3D.

3.3.4 Extração dos Postes

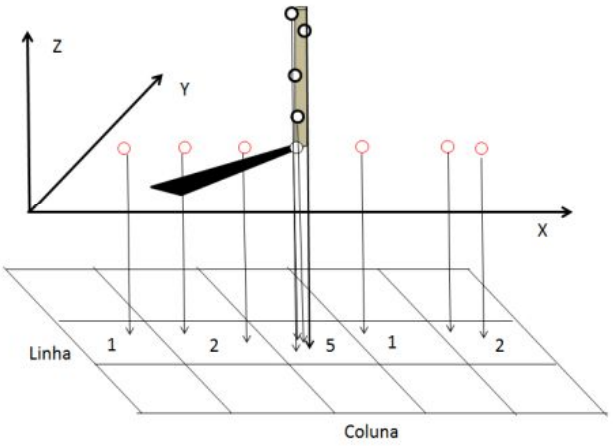
Esta etapa pode ser dividida em três passos, para sua melhor compreensão. A detecção de postes; o cálculo das coordenadas dos postes e a classificação dos postes.

3.3.4.1 Detecção

Após a aquisição da nuvem de pontos da área de estudo obtida através do processamento fotogramétrico, e utilizando técnicas aprimoradas de processamento digital de imagens, foi gerado um algoritmo que permite a extração das coordenadas da base dos postes de forma automática.

O resultado do processamento fotogramétrico é uma nuvem de pontos, composta por pontos com coordenadas tridimensionais XYZ e a informação e cor (RGB). A hipótese básica para a detecção dos postes segue o raciocínio de Zhenga et al (2016), originalmente proposto para dados de varredura a Laser. Considerando que o poste é uma estrutura vertical, e que os raios fotogramétricos são geralmente inclinados, devido à baixa altura de voo, é esperado que mais de um ponto do poste fosse identificado no processamento digital da geração de nuvem de pontos, como é mostrado na Figura 3.

FIGURA 3. Projeção da nuvem de pontos no plano para cálculo do acúmulo de pontos por célula. Fonte: Autor (2017).



Se isso ocorre, no caso de um poste, então é esperado que vários pontos da nuvem tenham as mesmas coordenadas planimétricas (XY), com diferentes coordenadas verticais (Z) ao longo do poste. Com base nessa hipótese, optou-se por projetar os pontos em uma grade regular bidimensional que acumula o valor de pontos que coincidem em cada elemento de grade. Os valores das células da grade correspondem ao total

de pontos que se localizam dentro da célula na grade, considerando um plano horizontal, como mostra a Figura 3.

As células com altos valores de acúmulo correspondem a estruturas verticais, postes. Para isto foi definido um limiar de acúmulo e as células com valores inferiores ao limiar foram descartadas (zero) e as com valores iguais ou superiores ao limiar foram consideradas postes, ou partes dos mesmos (valor 255). Isto possibilitou a geração de uma imagem binária onde se encontra pequenos agrupamentos de pixels representando os postes no plano horizontal.

3.3.4.2 Coordenadas dos postes

Os postes não são representados por apenas uma célula com valor alto do acúmulo, mas por pequenos agrupamentos de pixels com alto acúmulo. Na intenção de reduzir estes agrupamentos a apenas a seu centro foi aplicada a morfologia matemática.

Os principais operadores de morfologia matemática são a erosão e a dilatação e serão explicados com ajuda da Figura 4. A figura mostra dois conjuntos de pontos (pretos). O operador de dilatação consiste em aumentar as bordas destes agrupamentos pela operação lógica com um elemento estruturante previamente definido. Seu efeito é aumentar os agrupamentos, como mostra a figura b. Já o outro operador, erosão, consiste em retirar pixels nas bordas dos agrupamentos, reduzindo sua área, conforme a figura c. Uma das aplicações da erosão é eliminar pequenos agrupamentos que podem não ser suficientemente grandes para caracterizar um poste.

FIGURA 4. Operadores de Morfologia matemática (a) original; (b) dilatação de "a"; (c) erosão de "a". Fonte: Autor (2017).



(a) (b) (c)

A combinação da erosão e a dilatação permite criar outros operadores, como o fechamento (dilatação seguida de erosão) e a abertura (erosão seguida de dilatação). No trabalho foi utilizado o elemento estruturante círculo, e aplicou-se a dilatação e consequente erosão (abertura) da imagem para reduzir pequenos agrupamentos e agrupar todos os pixels que representavam um poste.

Para a obtenção das coordenadas da base dos postes, aplicou-se a técnica de componentes conexas. Esta operação permite rotular cada um dos agrupamentos conexos. Assim, todos os pixels de uma região receberam o mesmo rótulo. O seguinte passo foi calcular o centróide de cada agrupamento, que foi adotado como a posição dos postes no terreno depois de realizada a transformações para o referencial no espaço objeto.

3.3.4.3 Classificação

A última etapa do algoritmo trata-se da classificação dos postes pelo valor da altura, esta é calculada através da diferença entre o maior e o menor valor de altitude encontrada na posição de cada poste obtido pelo algoritmo. Essa classificação diferencia os postes quanto a seu uso. Os postes que apresentaram altura inferior a 7 metros foram classificados como de telefonia. Já os postes que apresentaram altura superior a 7 metros foram classificados como de alta tensão.

3.4 CONTROLE DE QUALIDADE GEOMÉTRICA

Um fator muito importante na geração de um produto cartográfico, e que deve ser realizado, é a análise de qualidade geométrica. Nesta análise, é realizada uma comparação entre as coordenadas geradas pelas etapas anteriores com as coordenadas dos postes levantadas em campo.Esta etapa foi realizada para avaliar em qual classe o produto gerado se encaixaria, de acordo com o decreto 89.817 de 1984, que estabelece percentuais de erros cometidos e erros padrões para diferentes classes de cartas dentro de diferentes escalas (PEC), em uma possível geração de um mapa cadastral.

Para a coleta em campo das coordenadas de cada poste, foi utilizado o par de receptores GNSS empregados nas etapas anteriores. Assim como na coleta dos pontos de apoio, o método utilizado foi o posicionamento diferencial RTK. Em campo, foi realizado o levantamento das coordenadas dos 14 (quatorze) postes presentes na área de estudo. Além do posicionamento de cada poste, foram levantadas informações do poste, tais como: material (concreto ou madeira), tipo (iluminação, telefonia ou energia). A seguir, foram calculadas as discrepâncias entre as coordenadas dos postes geradas no projeto com as coordenadas dos postes obtidas em campo com os receptores GNSS de forma direta.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste tópico serão apresentados os resultados e as análises dos processamentos das coordenadas da base do projeto, dos pontos de apoio fotogramétricos, dos pontos levantados em campo e da qualidade do produto final, ou seja, das coordenadas definitivas de cada poste coletado.

4.1 ANÁLISE DA DETECÇÃO E CLASSIFICAÇÃO

Na figura 5 é mostrado o resultado do processamento da nuvem de pontos, sob forma de um modelo tridimensional. Nota-se, no meio da faixa, a presença da estrada, cercada de campos de cultivo. Os postes não são bem visíveis nesta imagem devido ao comprimento do trecho, muito longo.

FIGURA 5. Nuvem de pontos. Fonte: Autor (2017).



Na análise da taxa de sucesso, da classificação do tipo de poste, foi realizada a comparação entre o levantamento de campo e a classificação automática realizada pelo algoritmo desenvolvido pelos autores. A taxa de sucesso para essa análise foi de 100%, como a Tabela 2 demonstra a seguir.

TABELA 2. Classificação do tipo de poste

	CALCULADO			TIPO DO POSTE	
POSTE	**H min. (m)**	**H máx. (m)**	**ALTURA DO POSTE (m)**	**CLASSIFICADO**	**LEVANTADO EM CAMPO**
1	901,24	904,90	3,66	Telefonia	Telefonia
2	901,21	906,75	5,54	Telefonia	Telefonia
3	901,22	910,24	9,03	Alta Tensão	Alta Tensão
4	901,16	905,74	4,57	Telefonia	Telefonia
5	900,87	907,66	6,79	Telefonia	Telefonia
6	900,83	910,24	9,41	Alta Tensão	Alta Tensão
7	900,70	905,66	4,96	Telefonia	Telefonia
8	900,57	912,30	11,74	Alta Tensão	Alta Tensão
9	900,53	905,81	5,28	Telefonia	Telefonia
10	900,17	908,92	8,76	Alta Tensão	Alta Tensão
11	900,04	903,66	3,62	Telefonia	Telefonia
12	899,20	905,39	6,20	Telefonia	Telefonia
13	898,95	909,13	10,17	Alta Tensão	Alta Tensão
14	898,36	904,84	6,48	Telefonia	Telefonia
TAXA DE SUCESSO					**100%**

4.2 ANÁLISE DA QUALIDADE GEOMÉTRICA

Para a análise da qualidade da extração automática dos postes, foram utilizados os 4 pontos de checagem. A Tabela 3 apresenta as discrepâncias planimétricas entre as coordenadas dos postes, extraídas automaticamente da nuvem de pontos e as coordenadas obtidas pelo método de posicionamento diferencial RTK. Nesta análise, 100% das discrepâncias planimétricas são inferiores a 50 centímetros. Segundo o PEC, a geração de um produto cartográfico utilizando esses dados atendem os requisitos da Classe A de uma escala 1:1000.

Na análise das discrepâncias altimétricas e tridimensionais, verificou-se que mais de 90% das discrepâncias altimétricas são inferiores a 30 centímetros e mais de 90% das discrepâncias tridimensionais são inferiores a 35 centímetros.

TABELA 3. Discrepâncias planimétricas - calculadas

POSTE	COORDENADAS RTK		DISCREPÂNCIAS		
	E (m)	N (m)	ΔE (m)	ΔN (m)	ΔEN (m)
1	686949,729	7141134,251	0,029	-0,149	0,152
2	687002,215	7141190,721	0,115	-0,179	0,213
3	687054,758	7141244,832	0,058	-0,068	0,089
4	687082,141	7141273,818	0,141	-0,082	0,163
5	687136,048	7141327,840	0,098	-0,060	0,115
6	687188,189	7141382,140	0,089	0,240	0,256
7	687221,980	7141417,166	-0,020	0,266	0,267
8	687242,687	7141440,894	0,237	-0,006	0,237
9	687271,933	7141471,453	-0,017	0,053	0,056
10	687322,065	7141527,172	0,003	0,040	0,040
12	687423,124	7141640,233	0,024	0,083	0,086
13	687446,373	7141665,643	0,049	0,067	0,083
14	687472,360	7141695,740	0,060	0,090	0,108
		MÉDIA (m)	**0,060**	**0,012**	**0,139**
		DESVIO PADRÃO (m)	**0,075**	**0,134**	**0,081**
		RMS (m)	**0,094**	**0,129**	**0,160**

Como forma de verificar a acuidade dos resultados, foi efetuada a interpretação visual de uma ortofoto produzida com os mesmos dados e digitalizou-se, por inspeção visual, a localização dos postes. Observou-se que no momento da coleta manual não era possível visualizar a base do poste na nuvem de pontos, pois existe uma vegetação rasteira de aproximadamente 40 centímetros nas bases dos postes.

Verificou-se que a média das diferenças planimétricas entre os métodos (automático e visual) ficou em 5,3 centímetros, com desvio padrão de 2,2 centímetros e erro quadrático médio (RMS) de 5,7 centímetros.

5 CONCLUSÕES

A partir dos objetivos propostos e dos resultados obtidos, conclui-se que a utilização de uma nuvem de pontos gerada através de fotografias

aéreas, registradas por um Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT) de pequeno porte, é viável para a realização de um cadastro de postes. Todos os postes presentes no local de estudo foram restituídos na nuvem de pontos.

O desenvolvimento da metodologia mostrou-se eficaz através do controle de qualidade, onde os resultados planimétricos e altimétricos da extração automática de postes, atendem as exigências do Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC) na Classe A, escala 1:1000 (decreto lei N°. 89.817). Com relação à classificação dos tipos de postes segundo sua altura, essa metodologia mostrou-se eficaz, atingindo 100% de sucesso.

Por fim, pode-se concluir que o planejamento de voo, a execução do voo e a técnica de extração dos postes foram satisfatórios para a realização de um levantamento cadastral de postes em áreas rurais.

Em relação à execução do voo, é recomendável que este seja realizado em uma data em que as condições climáticas sejam favoráveis. Como o VANT é um equipamento muito instável, rajadas de ventos podem prejudicar o desenvolvimento do produto final.

A qualidade do produto final depende também da determinação dos pontos de apoio. Os pontos de apoio de campo devem estar contidos no planejamento de voo, onde deverão ser posicionados em regiões onde possa dar maior rigidez geométrica ao modelo. Outra opção é realizar um voo apoiado, ou seja, onde é possível realizar observações que permitam determinar a posição e atitude da câmera a cada tomada de foto, um método mais sofisticado.

REFERÊNCIAS

BOLLES, R.; FISCHLER, M. (1981). A Ransac-Based Approach to Model Fitting and Its Application to Finding Cylinders in Range Data. In **Proceedings of the 7th IJCAI**, Vancouver, Canada, 1981; pp. 637-643.

DECRETO LEI N°. 89.817, **Normas Técnicas da Cartografia Nacional.** Brasília, 20 de Junho de 1984.

FONSTAD, M. A.; DIETRICH, J. T.; COURVILLE, B; C.; JENSEN, J. L.; CARBONNEAU, P. E. (2013). Topographic structure from motion: a new

development in photogrammetric measurement. **Earth Surface Processes and Landforms,** vol. 38(4). pp. 421-430.

HUANG, J.; YOU, S. (2005). Pole-Like Object Detection and Classification from Urban Point Clouds. **IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)**, pp. 1-7.

LOWE, D.G. (2004). Distinctive image features from scale-invariant keypoints. **International journal of computer** vision 60 (2), pp.91-110.

LUO D, WANG Y, (2008), Rapid Extraiting Pillars by Slicing Point Clouds, **International Archives of the Photogrammetry Remote Sensing**, vol.36-8, pp.71-75.

PRESS P.; AUSTIN,D. (2004). Approaches to pole detection using ranged laser data, in **Proceedings of Australasian Conference on Robotics and Automation**, Citeseer.

SA, I.; HRABAR, S.; CORKE, P. (2016). Outdoor Flight Testing of a Pole Inspection UAV. **Incorporating High-Speed Vision**. Volume 105 of the series Springer Tracts in Advanced Robotics pp 107-121.

WEIDNER, U.; FÖRSTNER, W. (1995). Towards automatic building extraction from high resolution digital elevation models, **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, 50: pp.38 – 49.

YOKOYAMA, H.; DATE, H.; KANAI, S.; TAKEDA, H. (2013). Detection and Classification of Pole-like Objects from Mobile Laser Scanning Data of Urban Environments. **International Journal of CAD/CAM** Vol. 13, No. 2, pp. 31-40.

YONGTAO Y.; LI, J.; GUAN, H.;WANG,C.; YU, J.(2015). Semiautomated Extraction of Street Light Poles From Mobile LiDAR Point-Clouds, **IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.**, 53(3), pp. 1374-1386.

YU, Y,; LI, J.; GUAN, H.; WANG, C.; YU, J. (2015). Semiautomated Extraction of Street Light Poles From Mobile LiDAR Point-Clouds. **IEEE Transactions On Geoscience And Remote Sensing**, Vol. 53, No. 3, pp. 1374-1386.

ZHENGA, H.; TANB, F.: WANGA, R. (2016). Pole-like object extraction from mobile LIDAR data. **The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**, Vol. XLI-B1.

ASPECTOS DA SIMBOLOGIA CARTOGRÁFICA 3D EM DISPOSITIVOS MÓVEIS COM REALIDADE AUMENTADA

Marcio Augusto Reolon Schmidt [1]
Edson Angoti Júnior [2]

[1]Universidade Federal de Uberlândia - Campus Santa Mônica
[2]Instituto Federal do Triângulo Mineiro - Campus Uberlândia Centro
{marcio.schmidt@ufu.br ; angoti@iftm.edu.br}

RESUMO

A realidade aumentada (RA) tem ganhado a atenção de pesquisadores e usuários, por permitir que a imagem real seja usada como cenário e combinar objetos virtuais para criar uma visualização composta em que o usuário tem a sensação de que os símbolos e feições sobrepostos estão presentes na cena. Fazer o usuário perceber a cena composta como autêntica é fundamental na representação tridimensional de dados geográficos, para entender as relações espaciais entre feições existentes e as representadas no processo de interpretação e a armazenagem das informações no mapa mental representativo da área. A plataforma de RA deve ser composta por dispositivos capazes de processar a posição e atualizar a simbologia de forma rápida o suficiente para manter a sensação de realidade. Por outro lado, a criação de visualizações 3D apresenta muitas questões abertas à pesquisa como soluções de generalização cartográfica, criação de simbologia, aspectos de interatividade, projeto de interface e as deformações causadas pela projeção cartográfica na vista perspectiva. Por isto este artigo discute algumas mudanças na integração da cartografia 3D e a RA apesentada nas recentes pesquisas relacionadas, com enfoque no processamento de pontos de referência para navegação, e apresenta exemplos do que tem sido apresentado na literatura científica.

Palavras-chave: Cartografia 3D; Realidade Aumentada Móvel; Navegação Pessoal.

AN OVERVIEW OF 3D CARTOGRAPHY IN MOBILE DEVICES

ABSTRACT

Augmented reality (AR) has gathering attention of researchers and users because it allows the image captured by cameras to be used as a scenario background and combines virtual objects to create a composite view where the user has the feeling that overlapping objects exists in the scene. To make the user perceive the composite scene as authentic is fundamental in the three-dimensional representation of geographic data, to understand the spatial relationships between existing features and those represented in the process of interpretation and the storage of information on the representative mental map of the area. The RA platform must be composed of devices capable of processing the position and updating the symbology quickly enough to maintain the sense of reality. On the other hand, the creation of 3D visualizations presents many questions open to research such cartographic generalization solutions, symbology creation, interactivity issues, interface design and the deformations caused by the cartographic projection in perspective view. For those reasons, this paper discuss some changes in 3D cartography when related to AR as present in related researches, focusing in landmarks selections on navigation, and presents an example of what has been presented in the scientific literature.

Keywords: 3D cartography; Augmented Mobile Reality; Personal Navigation.

1. INTRODUÇÃO

Sistemas móveis de auxílio a navegação e guiagem tem se popularizado nos últimos anos através de plataformas mobile e on-line como google maps, maplink e outros. Sistemas de navegação móveis para pedestres são desenvolvidos para guiagem pessoal e geralmente baseiam-se no posicionamento por meio do *Global Navigation Satelite*

System (GNSS), ou outro modo de rastreio contínuo, para prover ao usuário informações de rota em tempo real e *in situ* (HUANG ET AL, 2012). Diferentes mídias podem ser utilizadas para comunicar informações de rotas, como mapas em dispositivos móveis, instruções por voz, representações 3D e imagens.

A realidade aumentada em dispositivos móveis (RA) tem se destacado por permitir a sobreposição de imagens geradas por computador e informações sobre uma imagem real capturada por câmeras. Milgram et al (1994) explicam que a RA usa a imagem capturada pela câmera do dispositivo do usuário como cenário do ambiente e projeta objetos virtuais com diferentes graus de realismo e complexidade de informação, para criar uma visualização composta em que o usuário tem a sensação de que os objetos sobrepostos estão presentes na cena. Trabalhos como Delikostis e Van Elzakker (2003, 2013), Yovcheva (2013), Pagania et al (2016) e Marques et al (2017), usam a RA em representações espaciais.

A RA apresenta como vantagem a mobilidade da ferramenta o que a torna viável de ser usada em laboratórios, obras, automóveis, entre outras aplicações. Além da mobilidade em si, a RA permite representar somente aqueles objetos e feições necessários à suplementação da informação, enquanto que em outras formas de realidade virtual muitas vezes todo o ambiente precisa ser representado. Como resultado da introdução de objetos virtuais na visualização do mundo real, os modelos na RA são utilizados para reduzir o esforço necessário para criar, processar, manipular, gerenciar e atualizar conteúdos virtuais tridimensionais (3D) da cena animada.

No entanto, em uma cena RA a representação simultânea de objetos virtuais em uma imagem capturada em tempo real, apresenta desafios como a determinação precisa de posições e orientações de forma que a sobreposição de imagens seja percebida como autêntica pela mente do usuário (Behzadan e Karmat, 2010). Isto é importante porque o sistema cognitivo humano é perito em perceber pequenas discrepâncias no posicionamento relativo, especialmente através daqueles objetos incorretamente orientados no espaço 3D (Pinker, 2009). Isto requer, entre outras coisas, a distância relativa do utilizador para cada objeto virtual no campo de visão e seus correspondentes no mundo real

(Behzadan et al, 2008), o acompanhamento contínuo da visualização através da atualização da simbologia, da determinação da posição e orientação relativas do usuário.

No contexto da navegação, perceber e entender as relações espaciais entre feições de forma segura exige uma série de processamentos na mente do usuário que fazem a ligação do que é percebido e o que é entendido (Vinson, 1999; Lobben, 2004; Issmael, 2008; Pomerantz e Portillo, 2010; Schmidt e Delazari, 2013). A partir da distribuição de diversos pontos de referência armazenados em um mapa mental representativo da área em diversas escalas, tipos diferentes de conhecimentos e ações são desenvolvidos como a auto-orientação, a autolocalização, a estimativa de distâncias e posições relativas (Goodledge, 1993; Vinson, 1999; Lobben, 2004; Pinker, 2009; Quesnot e Roche, 2015). Estes conhecimentos são construídos a partir da relação estabelecida entre objetos e feições distribuídos no espaço, e que tem características que os distinguem do seu entorno.

Obviamente neste processo, inicialmente, poucas feições são destacadas pelo sistema visual humano e rapidamente processadas em relação às suas características topológicas essenciais para servirem como pontos de referência (*landmarks*) (Maceachren, 1995, Lynch (1960) citado em Klippel (2003), Issmael, 2008; Pomerantz e Portillo, 2010). Neste momento, as pessoas conseguem descrever o seu entorno com relativo grau de acurácia, porém com reduzido grau de detalhamento, mas o suficiente para uma orientação e autolocalização de forma geral (Maceachren,, 1995, Lobben, 2004, Pinker, 2009).

Em ambientes externos o uso da RA enfrenta dificuldades adicionais como a variação nas condições de iluminação, objetos em movimento ou novos objetos na cena, rastreamento dos pontos de referência, entre outros. Outro problema a ser destacado é que, ao contrário de ambientes internos, um usuário em ambiente externo tem um número ilimitado de possíveis feições e objetos para se orientar e se auto localizar. Isto significa que a maioria das técnicas de posicionamento em ambientes controlados, em geral realizados com uso de marcadores no chão e nas paredes, tem a necessidade de se adaptar para acomodar as diferentes situações e contextos de uso possíveis do usuário. Do mesmo modo, a iluminação natural pode tornar difícil o emprego de métodos automáticos

de rastreio por métodos óticos para orientar os sistemas deste tipo (BEHZADAN ET AL, 2008). Portanto, a plataforma de RA projetada para uso em ambientes reais externos deve incluir uma interface de comandos e de vídeo do ambiente do usuário, e uma interface para exibir a visualização composta com as feições e símbolos do usuário, ter um programa de gerenciamento robusto que permita a aquisição e gerenciamento de dados de posição, atitude e orientação da câmera (BEHZADAN ET AL, 2008).

Um novo segmento de mercado tem provocado uma mudança importante através das recentes tecnologias que combinam diferentes sensores em um único dispositivo, como os tabletes. Estes modelos incluem GPS com código C/A, link para dados GSM para envio de correções em tempo real, câmeras de vídeo de alta resolução e sensores de inclinação tridimensionais (acelerômetros).

Estes sensores e sistemas têm sido foco de diversos pesquisadores Behzadan et al. (2008), Hunter (2009), Behzadan e Kamat (2010), entre outros. Porém, o que não se percebe na literatura é o estudo do impacto que a simbologia tem sobre o usuário quando utilizando sistemas com representações de dados espaciais em RA. Em outras palavras, a simbologia dos dados adicionais da visualização é a responsável por transmitir informações de atributos e de orientação da cena ao usuário.

Neste aspecto, uma área emergente da visualização cartográfica, chamada de cartografia tridimensional, tem contribuído no desenvolvimento e pesquisas para a solução de visualizações em vista perspectivas, principalmente em ambientes digitais como as pesquisas de Vinson (1999), Darken e Paterson (2001), Haeberling (1999; 2002; 2004), Tory et al (2004), Davies e Peebles (2006), Haeberling et al (2008), Schmidt e Delazari (2010) e Schmidt e Delazari (2013), que têm apontado diferenças na percepção dos símbolos, e a consequente adaptações na comunicação cartográfica quando a cena é visualizada em perspectiva. A pesquisa de Schmidt e Delazari (2013) e Pereira e Centeno (2016) focaram na estimativa de posições, distâncias e orientações relativas em mapas 3D com uso das técnicas da cartografia temática aplicadas às cartas topográficas, como forma de validar o estudo de aspectos cognitivos na simbologia tridimensional para navegação virtual não imersiva.

Um dos problemas apontados por Schmidt e Delazari (2013) é que as representações virtuais 3D são muitas vezes criadas com a adaptação de critérios e princípios desenvolvidos para mapas em papel aplicados a visualização cartográfica em meio digital com vista perspectiva, sem se avaliar como as diferenças deste novo meio influenciam a eficiência e eficácia na comunicação cartográfica.

Neste contexto, a criação de visualizações 3D apresenta muitas questões abertas à pesquisa como o nível de detalhe, soluções de generalização cartográfica, simbologia, interatividade, projeto de interface e as deformações causadas pela projeção cartográfica na vista perspectiva, o resultado pode ser uma representação inconsistente e de difícil entendimento (Schmidt, 2012; Schmidt e Delazari, 2013). Este efeito negativo pode ser agravado devido a mudanças de escala e a constante alteração do ponto de vista causada pela movimentação na cena interativa (Darken e Peterson, 2001; Schmidt e Delazari, 2013). Por essas razões, o desenvolvimento de representações de dados espaciais utilizando a RA devem considerar aspectos técnicos do dispositivo e do programa de gerenciamento da representação e aspectos cognitivos no estabelecimento da simbologia de representações 3D.

2. REQUISITOS DOS SISTEMAS RA PARA CARTOGRAFIA

O sistema de RA projeta informações temáticas, pictóricas ou textuais, adicionais sobre a imagem coletada do dispositivo em um contexto específico de uso da representação. Além disso, de forma dinâmica, as expectativas do usuário e novas indagações decorrentes da aquisição de informação ao interagir com a representação podem influenciar a percepção da representação temática e do contexto físico real.

Um sistema de RA móvel difere necessariamente de aplicações móveis em geral principalmente em relação aos seus requisitos elencado por Veas et al (2013):

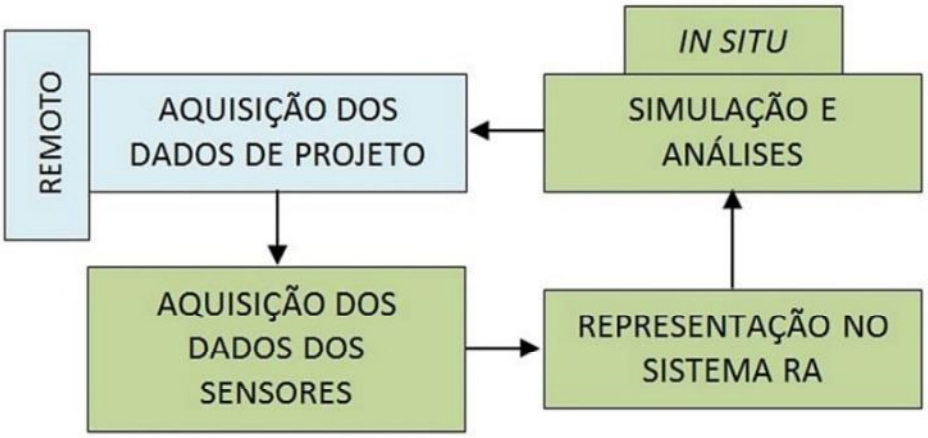
a) Dados georreferenciados em tempo real;
b) Modelo digital 3D;
c) Acesso à rede de dados;
d) Posicionamento preciso;
e) Interação;

f) Sistema móvel robusto.

OS *tablets* e *smartphones* incluem GPS com código C/A, link para dados GSM para envio de correções em tempo real, câmeras de vídeo de alta resolução e sensores de inclinação tridimensionais (acelerômetros). Estes dispositivos são portáteis, acessíveis (Paay e Kjeldskov, 2007), possuem equipamentos GPS (AGPS) embutidos que permitem determinar sua posição, clinômetros e acelerômetros que identificam a atitude do aparelho e, através da rede de celular, fazem a conexão a bancos de dados e recuperam informações (Delikostidis e Van Elzakker, 2009). Um projeto de RA móvel para uso de dados geoespaciais deve seguir quatro grandes etapas, como apresenta a Figura 1.

A primeira etapa é a aquisição dos dados de projeto. Esta etapa é considerada remota em relação ao ponto de execução da simulação, mas em realidade trata-se de uma etapa anterior à simulação. Trata-se do esforço de obter os dados a serem representados, georreferenciá-los em relação a um sistema de coordenadas e construir de forma geral os símbolos que serão utilizados. Nesta etapa são definidas as áreas de testes para avaliação das feições passíveis de serem usadas como referências pelos usuários.

FIGURA 1. Esquema do fluxo de informações na construção do sistema de RA.
Fonte: Autor (2017).

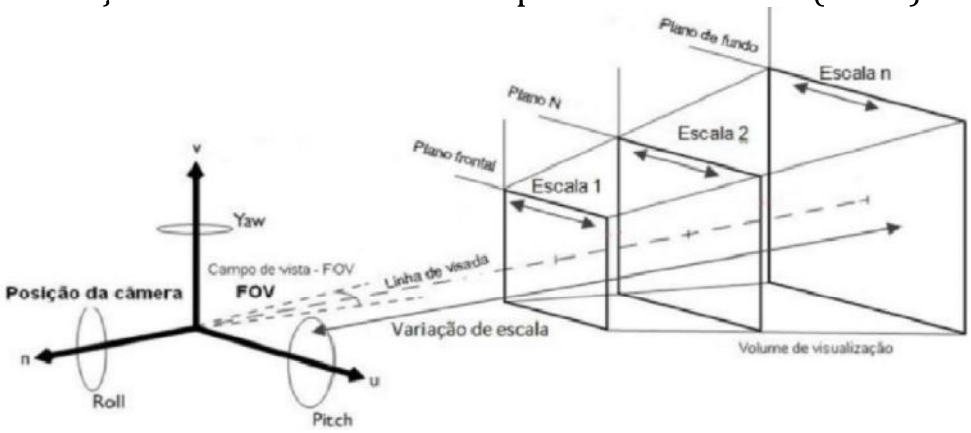


As etapas seguintes são consideradas *in situ*, pois o seu desenvolvimento ocorre no dispositivo em funcionamento. O sistema tenta resolver a ambiguidade dos sinais GPS através da coleta simultânea

de, no mínimo, quatro satélites. Esta condição é exigida para resolver o sistema de equações a quatro variáveis (X, Y, Z e T) de forma unívoca. Entretanto, apesar da constante atualização das coordenadas, a precisão média é baixa com variação na ordem de metros. Uma alternativa a ser implementada é o refinamento através da triangulação dos sinais captados dos roteadores wi-fi, ou com correções em tempo real como RTK, RTX ou mesmo pela rede de dados por canais de telefonia (GSM) e a combinação com os acelerômetros. Este refinamento permite aumentar a precisão do posicionamento para a ordem de cm, ainda que durante o deslocamento do dispositivo exista certo atraso na atualização da posição. Neste caso, a velocidade da rede é um fator importante na manutenção da posição e orientação geral do sistema.

Os sinais dos demais sensores (acelerômetro e magnetômetro) dos dispositivos são captados e associados à câmera de vídeo. Essas informações são necessárias para orientação e escala entre a imagem do vídeo e os símbolos projetados sobre a imagem. A partir da lista de coordenadas indicando a posição de cada símbolo projetado, a simbologia é virtualizada sobre a imagem do vídeo em sua posição específica para cada elemento. Dessa forma, todas as vezes que a câmera do dispositivo é apontada para uma posição especifica os elementos representados são corretamente sobrepostos a imagem capturada em vídeo (Figura 2).

FIGURA 2. Esquema do fluxo de informações do sistema de RA proposto em relação ao usuário. Fonte: adaptado de Sumoela (2003)



Estas correções incluem alterações da escala a partir do ponto de vista do usuário, a escala do plano ortogonal à linha de visada, o contraste relativo de tons e luminosidade. Para o usuário interagir de forma natural

com o sistema a taxa de atualização é da ordem de trinta quadros por segundo de atualização.

Para gerir o grande conjunto de dados é necessária a utilização de sistema RA. Existem diferentes opções com destaque para ARToolKit *Wikitude, MetaioMetaio, Layar, Vuforia*. Estes SDKs apresentam um ambiente de programação estruturada em bibliotecas que combinam diferentes linguagens como *Java* e *JavaScript* para interação entre os diversos aspectos de uma aplicação computacional dessa natureza, sendo que a maioria pode ser trabalhada em programas de desenvolvimento gratuitos como o *Android Studio SDK*.

2.1 ASPECTOS A SEREM CONSIDERADOS NA SIMBOLOGIA

Uma abordagem na busca de uma simbologia adequada às representações tridimensionais perspectivas consiste em construí-la de forma semelhante ao projeto cartográfico temático. Esta abordagem foi adotada nas pesquisas de Haeberling (1999, 2002), Schmidt e Delazari (2013), Souza el al (2016), Pereira e Centeno (2016), e representa uma abordagem interessante pois explora a inclusão da vista perspectiva e seu impacto na percepção das variáveis visuais mais utilizadas. Contudo, o uso da vista perspectiva nas representações de dados espaciais alguns problemas como a dificuldade do usuário em diferenciar símbolos que se apresentem parcialmente encobertos a partir de um ponto de vista, a alteração da escala ao longo da linha de visada, ou ainda gerar situações em que um mesmo símbolo pode se apresentar contra diferentes fundos e gerar percepções de tom e luminosidades diferentes.

Uma representação 3D tem sua utilidade determinada pela capacidade do usuário em se locomover e interagir com as informações contidas nesta representação (Tan et al, 2001). Nestes ambientes, os problemas de uso e interpretação das representações parecem ser mais graves do que quando utilizado um mapa 2D, pois a visão do espaço é limitada pelo tamanho das telas e ângulo de abertura das lentes dos dispositivos. A partir de um único ponto de vista apenas uma porção limitada da representação pode ser observada. Por isso, em aplicações 3D, os usuários têm que navegar dentro do ambiente a fim de obter diferentes visões da mesma cena. Neste processo, a quantidade de

detalhes presentes no ambiente pode prejudicar a seleção de algumas feições como ponto de referência. Como exemplo, cita-se a maior dificuldade de um viajante em uma cidade desconhecida que deve selecionar uma feição em um ambiente urbano para sr usada como ponto de referência.

Uma forma de explorar a seleção visual de objetos na cena é o conceito de pop-out (Looije et al., 2007), que trata da detecção instantânea de feições e símbolos presentes na cena. O conceito pop-out trata de destacar a representação de certas feições no mapa como forma de tornar um símbolo específico mais provável de ser armazenado na memória de curto-prazo. Dessa forma, os símbolos destacados, e as feições que eles representam, tendem a ser adotadas como pontos de referência. Este efeito pop-out favorece outro fenômeno chamado de atenção seletiva. Alguns autores, como Reimer (2011), destacam que a atenção seletiva se relaciona às operações perceptivas responsáveis por separar objetos relevantes e minimizar a interferência entre diferentes operações de identificação de objetos representados. Neste contexto, foram obtidos resultados que apontam que aspectos da Gestalt são mais voltada à formação dos objetos individuais enquanto que as variáveis visuais de Bertin permitem agrupamentos de símbolos visualmente distantes na representação. Outro método possível é a filtragem seletiva, que é ocultação intencional de parte dos elementos presentes na representação independente da escala (Looije et al, 2007), por meio de restrições no programa que controla a representação nos dispositivos RA.

No contexto da RA, o mundo físico é representado em duas componentes, o objeto ou feição física e o contexto em que está inserido, ou seja, as demais feições no seu entorno. A identificação de feições que sejam naturalmente salientes favorecem o armazenamento de pontos de referência (Klipel, 2003; Pinker, 2009; Vinson, 2009; Schmidt e Delazari, 2013; Yovcheva, 2013). Nesse contexto símbolos isolados que tenham destaque visual em relação ao fundo ao qual são percebidos, obedecendo a separação figura-fundo da Gestalt (heterogeneidade, contorno, cercanias, orientação e tamanho relativo). Este destaque se dá, principalmente, pelas componentes forma e os três espaços da cor (tom, valor e saturação). No centro do problema está o fato de que as representações cartográficas são, inevitavelmente, seletivas e

incompletas e, por esta razão, os mapas são construídos para chamar a atenção para um número restrito de características dos dados. Entretanto, os processos e soluções de linguagem cartográfica foram adotados dos mapas para o 3D sem a adequada análise da mudança perceptiva das variáveis que o compõem neste novo ambiente (Schmidt e Delazari, 2013).

No estabelecimento da linguagem cartográfica usando RA em dispositivos móveis, existe a necessidade ainda de separar representação das feições em símbolos de comunicação e aqueles de interação na interface do tablete ou smartphone. Nos dois casos, a combinação de variáveis visuais contribui para destacar o símbolo do seu contexto visual em relação a posição e atitude que o usuário se encontra no momento da visualização. Dessa forma, a separação figura-fundo passa a ser possível. No caso de símbolos de orientação, uma solução prática é o uso de símbolos construídos de forma semelhante ao real. A organização das informações é realizada através a aplicação de esquemas de conhecimento (MacEachren, 1995), pontos de referência, rota e terreno nesta ordem, e são armazenadas no mapa cognitivo em diferentes escalas relacionadas entre si por pontos de referência (Pinker, 2009). Dessa forma, a referência pode ser entendida como tendo as mesmas características, desde uma escala global até referências locais (Schmidt e Delazari, 2013).

3. APLICAÇÕES NA CARTOGRAFIA E OUTRAS ÁREAS

No âmbito educacional, Souza et al (2016), encontraram evidências de que o uso da RA supre a carência da visão espacial de usuários não especialistas, potencializando o ensino de relações topológicas e de camadas de informações em mapas. Os autores elaboraram uma representação aumentada da área do campus da UFPE (Figura 3) e, através de testes com usuários, perceberam que dos aspectos comunicativos da ferramenta são os que melhor se beneficiam do uso da RA.

FIGURA 3. Planta aumentada do campus da UFPE para ensino de cartografia.
Fonte: Souza et al (2016).



Outra pesquisa de relevância no Brasil foi a de Pinto e Centeno (2012) que buscou a visualização de dados estatísticos e cartográficos produzidos e divulgados pelo IBGE para ajudar o usuário a interpretar uma área de estudo. Os autores encontraram alguns dos problemas listados neste capítulo como problemas com a linguagem cartográfica, falta de familiaridade do usuário, problemas com a determinação de posição e atitude de baixa acurácia, entre outros (Figura 4).

FIGURA 4. Planta aumentada do campus da UFPE para ensino de cartografia.
Fonte: Pinto e Centeno (2012)



A pesquisa de Marques et al (2017) concluiu que a integração da modelagem 3D com SIG permite a associação entre a capacidade de percepção humana e visualização (3D) com consulta espacial e análise de

SIG. Segundo os autores, a AR permite a interação entre o ambiente humano / misturado para a maioria dos usuários (Figura 5).

FIGURA 5. Aplicação de reconstrução aumentada de patrimônio cultural. Fonte: Marques et al (2017)



O uso dos princípios da cartografia podem ser associados a outras soluções visuais como o uso da RA em *utlities* e fiscalização de obras. No primeiro contexto Pagania et al (2016) apresentam uma solução baseada no posicionamento usando exclusivamente o sistema Galileo e o sistema complementar geoestacionário Egnos. Com isso, eles criaram um sistema que visa ajudar empreiteiros a identificar o correto posicionamento de infraestrutura de água, esgoto e abastecimento. Estes dados vêm do cadastro de plantas *as-built* das obras e permitem que o mínimo seja desperdiçado em reformas e manutenções públicas (Figura 6a). Outra pesquisa foi inicialmente desenvolvida na UFU, no curso de engenharia civil por Schmidt e Angoti (em preparação), e buscou a criação de uma plataforma de fiscalização de obras utilizando os conceitos de visualização cartográfica (Figura 6b). Apesar da fase inicial, esta pesquisa conseguiu alguns resultados preliminares promissores e vem sendo desenvolvida com intuito de fazer engenheiros e fiscais de obras visualizarem in loco os detalhes de projeto em 3D.

FIGURA 6. Uso de RA para fiscalização de obras civis. Fonte: a) Pagania et al (2016) e b) Autor (2017).



a) b)

4. CONCLUSÃO

O uso de realidade aumentada na criação de visualizações 3D apresenta muitas questões abertas à pesquisa. Os problemas podem ser divididos em questões de localização e projeto cartográfico. As questões de localização referem-se ao desenvolvimento tecnológico na busca de maior estabilidade e resolução dos sensores, maior qualidade na transmissão de dados espaciais e conexão a redes, e maior capacidade de processamento dos dispositivos móveis. As questões de projeto cartográfico referem-se a soluções de generalização cartográfica, criação de simbologia, aspectos de interatividade, projeto de interface e as deformações causadas pela projeção cartográfica na vista perspectiva.

Diversas pesquisas abordam diferentes aspectos, os resultados são ainda preliminares e há conhecimento em construção. Além disso, existe a necessidade de desenvolvimento de testes específicos para avaliação deste tipo de sistemas com usuários especialistas e não especialistas.

Uma característica importante é que a Cartografia 3D não se restringe a comunicação de dados cartográficos, mas tem forte interação com outras áreas como as engenharias em geral, e quaisquer outras áreas de conhecimento que tenha a necessidade de especializar dados. Isto abre um amplo espectro de utilização da Cartografia para o futuro na construção de representações e comunicação em um novo ambiente de usuário.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem aos apoios recebidos do CNPq através do Edital Universal n°04/2012, processo: 475169/2012-3 e Edital Universal n°01/2016.

REFERÊNCIAS

BEHZADAN, A. H., TIMM, B. W. E KAMAT, V. R. General-purpose modular hardware and software framework for mobile outdoor augmented reality applications in engineering. **Advanced Engineering Informatics,** n. 22, pp. 90–105, 2008.

BEHZADAN, A.H., e KAMAT, V.R. Scalable Algorithm for Resolving Incorrect Occlusion in Dynamic Augmented Reality Engineering Environments. **Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering,** n.25, pp 3–19, 2010.

DARKEN, R.P., e PETERSON, B. Spatial Orientation, Wayfinding, and Representation. Handbook of Virtual Environment Technology. Stanney, K. Ed. 2001.

DAVIES, C., e PEEBLES, D. Strategies for orientation: The role of 3D landmark salience and map alignment. In: D. McNamara e G. Trafton (Eds.), **Anais da 29th Annual Conference of the Cognitive Science Society.** Mahwah, NJ: 2006.

DELIKOSTIDIS, I. e VAN ELZAKKER, C.P.J.M. User-centered mobile navigation system interface development for improved personal geo-identification and navigation. **Anais da 24th INTERNATIONAL CARTOGRAPHIC CONFERENCE.** International Cartographic Association. Santiago: 2009.

DELIKOSTIDIS, I., ENGEL, J., RETSIOS, V., VAN ELZAKKER, C.P.J.M., KRAAK, M.J. AND DÖLLNER, J. 2013. Increasing the usability of pedestrian navigation interfaces by means of landmark visibility analysis. In: **Journal of Navigation**, 66(2013)4, pp. 523-537.

HAEBERLING, C. Symbolization in topographic 3D-maps: conceptual aspects for user-oriented design. **Anais da 21th INTERNATIONAL CONGRESS OF CARTOGRAPHY.** International Cartographic Association. Otawa: 1999. V.2.1037–1044.

HAEBERLING, C. 3D-map presentation: A Systematic Evaluation of Important Graphic Aspects. **Anais da ICA MOUNTAIN CARTOGRAPHY WORKSHOP "MOUNT HOOD".** International Cartographic Association.

HAEBERLING, C. Highly focused selected design aspects and graphic variables for 3D mountain maps. International Cartographic Association **Anais da 4th ICA MOUNTAIN CARTOGRAPHY WORKSHOP.** Catalúnia: 2004.

HAEBERLING, C., BÄR,H., HURNI,L. Proposed Cartographic Design Principles for 3D maps: A contribution to an Extended Cartographic Theory. **Cartographica** v. 43. i.3. pp.175-188, 2008. Doi:10.3138/carto.43.3.175.

HUANG,H.; SCHMIDT, M. E GARTNER, G. Spatial Knowledge Acquisition with Mobile Maps, Augmented Reality and Voice in the Context of GPS-based Pedestrian Navigation: Results from a Field Test. **Cartography and Geographic Information Science**, 39(2), pp. 107-116, 2012.

LOOIJE, R.; TE BRAKE, G. M; Neerincx, M.A. Usability Engineering for Mobile Maps. **Anais da MC'07 (MOBILITY'07).** Singapore: 2007, ACM 978-1-59593-819-0

MILGRAM, P., TAKEMURA,H., UTSUMI,A., KISHINO. F. 1994. Augmented Reality: A class of displays on the reality-virtuality continuum. **Anais da SPIE** Vol. 2351, Telemanipulator and Telepresence Technologies (1994). Disponível em: https://pdfs.semanticscholar.org/

PAAY, J. E KJELDSKOV, J. A Gestalt Theoretic Perspective on the User Experience of Location-Based Services. **Anais da OzCHI 2007.** Australia: 2007, 28-30.

PAGANIA, A., HENRIQUES, J. STRICKER, D. Sensors for location-based augmented reality the example of Galileo and Egnos. **Anais do The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and**

Spatial Information Sciences, Praga: V. XLI-B1, 2016. doi:10.5194/isprsarchives-XLI-B1-1173-2016

PEREIRA G. H. A. e CENTENO J. A. S. O Uso De Realidade Aumentada Para A Cartografia: Uma Nova Forma De Interagir Com Mapas E Dados Geográficos. **Revista Brasileira de Cartografia**, Edição Especial Geoinformação e Análise Espacial. n. 68/4, pp 685-694. 2016. ISSN: 1808-0936

PETROVIČ, D., MAŠERA, P. 2004. Analysis of user's response on 3d cartographic presentations. **Anais do 7th meeting of the ICA Commission on Mountain Cartography.** Bohinj, Slovenia. Disponível em; *www.mountaincartography.org/...06/16_Petrovic_Masera.pdf*

PINKER, S. **Como a Mente Funciona.** 2ª ed. Companhia das letras. 2009. ISBN 978-85-7164-846-3

PINTO, F. S. e CENTENO, J. A. S. A Realidade Aumentada em Smartphones na Exploração de Informações Estatísticas e Cartográficas. **Boletim de Ciências Geodésicas**, Curitiba: v. 18, no 2, p. 282-301, 2012.

QUESNOT, T., e ROCHE, S. Quantifying the Significance of Semantic Landmarks in Familiar and Unfamiliar Environments. In S. I. Fabrikant et al. (Eds.), **Spatial Information Theory.** LNCS, vol. 9368, pp. 468-489, 2015. Switzerland: Springer.

REIMER A. Squaring the circle: bivariate color maps and jacques bertin's concept of 'disassociation'. **Anais do 25th INTERNATIONAL CARTOGRAPHIC CONFERENCE.** Paris: 2011. ISBN: 978-1-907075-0-6. Disponível em www.icaci.org/publication

SCHMIDT, M.A.R. e DELAZARI, L.S. Proposta de metodologia para testes qualitativos de mapas 3D. **Boletim de Ciências Geodésicas.** Vol. 16, N. 4, 2010. UFPR.

SCHMIDT, M.A.R. e DELAZARI, L. S. Gestalt aspects for differentiating the representation of landmarks in virtual navigation, **Cartography and Geographic Information Science**, v. 40, issue 3, 2013. DOI:10.1080/15230406.2013.807031

SOUZA, W. O.; ESPINDOLA, G. M. DE; PEREIRA, A. R. A.; SÁ, L. A. C. M. A Realidade Aumentada na Apresentação De Produtos Cartográficos. **Boletim de Ciências Geodésicas**, Curitiba: v. 22, nº4, p.790 - 806, 2016. Doi: dx.doi.org/10.1590/S1982-21702016000400045

SUOMELA, R. ROIMELA, K. e LEHIKOINEN, J. The evolution of perspective view in WalkMap. Springer-Verlag London Limited. **Perspective in Ubiquit Comput** n. 7, pp 249–262, 2003. DOI 10.1007/s00779-003-0244-9.

TAN, D.S., ROBERTSON,G.G., CZERWINSKI, M. Exploring 3D Navigation: Combining Speed-coupled Flying with Orbiting. **Anais da SIGCHI'01.** Seattle: 2001. V. 3, Issue 1 pp 418-425. ISBN:1-58113-327-8 doi:10.1145/365024.365307

TORY,M., MÖLLER, T., ATKINS, M.S., KIRKPATRICK, A.E. Combining 2D and 3D Views for Orientation and Relative Position Tasks. **Anais da CHI 2004.** Austria: 2004. V.6 N.1. Doi ACM:1-58113-702-8/04/0004.

VEAS, E.; GRASSET, R.; FERENCIK, I.; GRÜNEWALD, T.; SCHMALSTIEG, D. 2013. Mobile augmented reality for environmental monitoring. **Perspective in Ubiquit Comput.** n. 17, pp 1515–1531, 2013. DOI 10.1007/s00779-012-0597-z Springer-Verlag London

VINSON, N.G. Design Guidelines for Landmarks to Support Navigation in Virtual Environments. **Anais da CHI '99.** Pittsburgh, USA. pp. 278-285. 1999. Disponível em: http://nparc.cisti-icist.nrc-cnrc.gc.ca/npsi/ctrl?action=rtdocean=9147118 earticle=12

YOVCHEVA, Z. 2013. User-Centred Design of Smartphone Augmented Reality Used in Urban Tourism Destinations. **Anais do IFITT Doctoral Summer School**, Bournemouth University, UK. Disponível em: http://zornitzayovcheva.com/publications/

ANÁLISE SEMIÓTICA SOBRE O PROCESSO DE LEVANTAMENTO DE DADOS DA PAISAGEM REPRESENTADA NA CARTA TOPOGRÁFICA

Estevão Pastori Garbin[1]
Fernando Luiz de Paula Santil[2]

[1] Universidade Estadual de Maringá - Programa de Pós-Graduação em Geografia
[2] Universidade Federal de Uberlândia - Campus Monte Carmelo
{epgarbin@gmail.com, santilflp@gmail.com}

RESUMO

O processo de coleta e processamento de dados da paisagem é a etapa mediadora entre a multiplicidade de informações disponíveis em campo e as informações de interesse tratadas e representadas na carta topográfica. Embora o mapa seja um signo da paisagem, ele o é apenas nos termos definidos pelo processo de levantamento de dados, o que exclui a dinâmica e os traços efêmeros do seu objeto. O propósito deste artigo é discutir as especificidades das informações filtradas da paisagem a partir da matriz visual da linguagem e pensamento, explicitando por meio da semiótica peirceana como esta semiose é processada.

Palavras-chave: Semiótica peirceana; Matriz visual; Visualização da paisagem.

A SEMIOTIC ANALYSIS ABOUT THE DATA COLLECTION PROCESS OF THE LANDSCAPE REPRESENTED IN TOPOGRAPHICAL MAP

ABSTRACT

The process of data collection and processing of the landscape is the step mediator between the multitude of information available in the field and the information processed and represented in topographical map. Although the map is a sign of the landscape, it is just as defined by the data collection process, which excludes the dynamics and the ephemeral traces of your object. The purpose of this article is to discuss the specifics of the information filtered from the landscape from the array of language and thought, explaining through peircean semiotics as this semiosis is processed.

Keywords: Peircean semiotics; Visual matrix; Landscape visualization.

1. INTRODUÇÃO

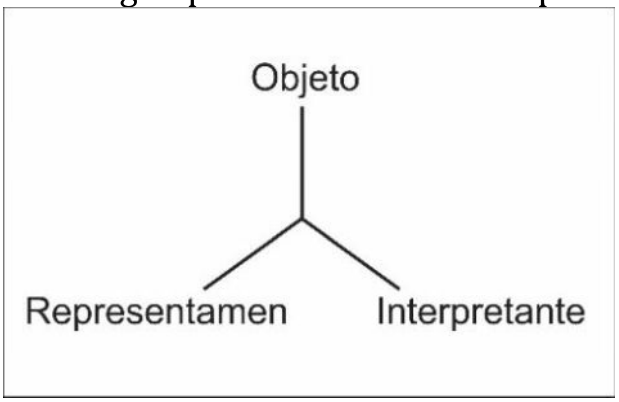
A carta topográfica é um signo utilizado para a visualização da paisagem que estabelece uma relação codificada e artificial com aquilo que representa. Isso significa que os elementos representados são regulados por convenções (DSG, 1998; DSG, 2016) e que o tipo de semelhança estabelecida entre a paisagem e sua marca gráfica são diversificados (GARBIN, 2016, p. 102).

Um dos papeis da ciência dos signos denominada Semiótica é tornar externo os processos que ocorrem internamente na semiose (NETTO, 1983). Por semiose compreende-se o movimento que os signos têm em transformar-se continuamente, gerando significado e permitindo o pensamento e a comunicação, sendo de seu interesse, portanto, analisar o que torna possível que um signo seja reconhecido como representação de um objeto específico. No caso da carta topográfica, uma análise semiótica pode explicitar as particularidades que os componentes do

mapa têm que os tornam aptos para se visualize a paisagem (GARBIN, 2016).

Na perspectiva peirceana, todo signo é constituído por uma relação triádica entre um *representamen*, um *objeto* e um *interpretante*. Para Peirce (2012, p. 46) o *representamen* é aquilo que representa algo (seu *objeto*) para alguém, causando em uma mente um novo signo equivalente ou mais desenvolvido, efeito este denominado *interpretante*, como ilustra a Figura 1. Não só as marcas gráficas presentes em um mapa são signos, mas o efeito causado na mente do usuário, pois o interpretante também se encontra, em certa medida, no lugar de outro objeto. Portanto, é signo tudo aquilo que está, de alguma forma, no lugar de algo para alguém e que possibilita o encadeamento de ideias (PEIRCE, 2012).

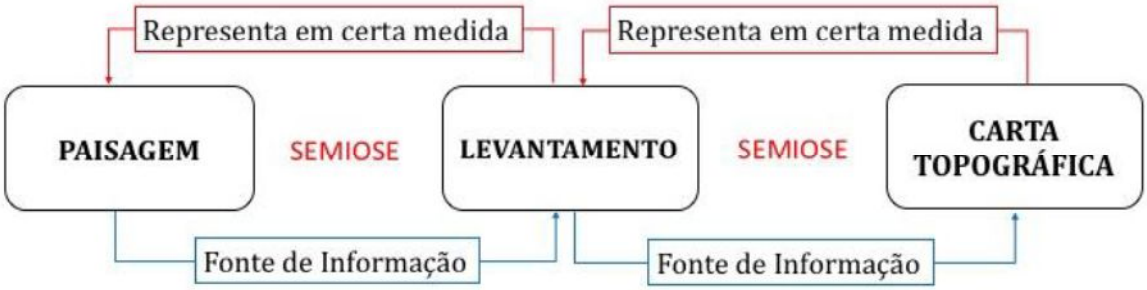
FIGURA 1. Elementos do signo peirceano. Fonte: Adaptado de Merrel (2012).



Este artigo tem como objetivo analisar a predominância fenomenológica e as especificidades dos signos da etapa que media a elaboração da carta topográfica e a paisagem: a coleta e processamento de dados, denominado neste texto como "levantamento". O registro da paisagem nos termos definidos pelo levantamento envolve uma 'espécie de tradução' do percebido na paisagem para outros signos: uma semiose. No caso dos autores deste levantamento, a paisagem é a fonte original das informações representadas (Figura 2), mas são as convenções técnicas que definem os elementos a serem representados na carta topográfica, funcionando como filtros que geram signos que só estão, em certa medida, representando a paisagem, como são os casos do Manual Técnico T-34 700 (DSG, 1998 e 2000) e da Especificação Técnica para Aquisição

de Dados Geoespaciais Vetoriais de Defesa da Força Terrestre (DSG, 2016).

FIGURA 2. Relação entre a paisagem, o levantamento e a carta topográfica.
Fonte: Adaptado de Garbin (2016).



A visualização desta relação é fundamental nesta discussão porque torna explícito que os dados representados na carta topográfica não são diretamente relacionados à paisagem propriamente dita, mas à parcela da paisagem captada pelo levantamento (GARBIN, 2016). Analisar em quais aspectos a paisagem é registrada para sua posterior representação cartográfica a partir da Semiótica peirceana pode revelar os tipos de relações que estes signos mantem entre si, sendo este o objetivo central deste trabalho. Para tanto, esta discussão é organizada em três principais momentos.

Na seção dois é apresentado uma síntese dos pontos primordiais das categorias fenomenológicas peirceanas, cujo fundamento teórico possibilita reconhecer quais dimensões da paisagem são efetivamente filtradas pelo levantamento. De acordo com Peirce (1980), os fenômenos que se apresentam à mente – no caso, a mente dos profissionais que realizam o levantamento da paisagem -, apresentam três dinâmicas singulares, expressas pela categoria da primeiridade, secundidade e terceiridade.

Na seção três analisa-se efetivamente como o objeto do levantamento é assimilado a partir de cada uma das categorias fenomenológicas. Para tanto, buscou-se em Bertrand (1972), Bertrand e Bertrand (2009), Gomes (2013) e Besse (2014) as características predominantes do conceito de paisagem.

Identificada esta predominância, os procedimentos envolvidos no levantamento dos dados das cartas topográficas impressas foram observados e discutidos à luz da semiótica peirceana na seção quatro, balizadas pelas discussões apresentadas por Merlin (1965), Espartel (1987), Keates (1989), Loch e Cordini (1995), IBGE (1998) e Imhof (2007). O objetivo desta seção foi verificar em quais aspectos o objeto do levantamento representa as informações presentes na carta topográfica.

2. PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS DA FENOMENOLOGIA E DA SEMIÓTICA PEIRCEANA

Charles Sanders Peirce (1839 – 1914) foi um lógico, matemático e filósofo norte-americano que investigou o que torna os seres humanos capazes de gerarem conhecimento em sua busca pela verdade por meio da ciência. De acordo com Netto (1983), o desenvolvimento da Semiótica foi resultado do entendimento que todo pensamento ocorre por meio dos signos, fazendo-se necessário o estudo das leis gerais destes para compreender sua transformação em conhecimento.

Por ser um ramo da Filosofia, a Semiótica tem como objetivo investigar quais são os tipos de signos existentes, como se conjugam e qual a potencialidade comunicativa de cada um deles no processo de investigação científica (PEIRCE, 1998). O rigor dos princípios da Semiótica é derivado da Matemática, mas com uma diferença substancial: enquanto esta é uma ciência de objetos hipotéticos, ou seja, que não são captados pelos órgãos sensoriais, mas apenas suas representações, a Semiótica aplica o rigor do raciocínio matemático na investigação da experiência cotidiana, classificando tudo aquilo que se apresenta à mente por meio de um ramo da Filosofia denominado Fenomenologia (PEIRCE, 1998).

Segundo Peirce (1980, p. 17), a tarefa da Fenomenologia é "traçar um catálogo de categorias, provar sua eficiência, afastar uma possível redundância, compor as características de cada uma e mostrar as relações entre elas". Estas categorias expressam as características predominantes dos fenômenos, o que influencia os tipos de efeitos potencialmente causados pelos signos.

Por ter o propósito de permitir 'enxergar' os fenômenos respeitando sua dinâmica sígnia singular, a Fenomenologia se vale do desenvolvimento de categorias universais (PEIRCE, 1998). Ao contrário das categorias particulares, que formam uma série ou um conjunto de séries presentes em apenas um fenômeno de cada vez, as categorias universais devem ser entendidas como pertencentes a qualquer fenômeno, embora seja mais predominante que outra num aspecto analisado (PEIRCE, 1980).

A primeira versão das categorias fenomenológicas de Peirce foi apresentada em um artigo denominado *On a new list of Categories* (PEIRCE, 1868), cujo resultado foi a proposta de três categorias irredutíveis, designadas inicialmente de qualidade, relação e representação (PEIRCE, 1868), mais tarde denominadas *primeiridade*, *secundidade* e *terceiridade*, respectivamente. Embora as características delineadas por Peirce sobre suas categorias apresentem alterações ao longo de sua produção intelectual, alguns atributos das categorias fenomenológicas mantiveram-se constantes. No caso da *primeiridade*, há a predominância de todos os fenômenos que apresentam liberdade, potencialidade, frescor, vida, sem uma relação com outra coisa que a determina (PEIRCE, 1980). No seu aspecto mais puro, a primeiridade não se relaciona com qualquer outra coisa, não permite a diferenciação entre dois elementos, apenas sugere uma qualidade.

A degeneração da primeiridade ao se relacionar com algo existente confunde-se com os aspectos da categoria da *secundidade*. Como lembra Peirce (2012, p. 28), no aspecto obsistencial (isto é, que apresente resistência, existência, relação etc), a primeiridade apresenta-se como qualidade de algo, sendo este algo externo de nossa consciência. Por exemplo: ao percorrer uma paisagem muito alterada pela ação antrópica, os aspectos da primeiridade podem ser sugestionados a partir dos odores dos combustíveis utilizados pelos automóveis, da sonoridade das buzinas e dos tons das luzes emanadas dos faróis. Deve-se pontuar que a primeiridade é vislumbrada a partir de toda esta multiplicidade de qualidades que só poderiam ser acessadas em um estado anterior ao reconhecimento "do carro, da avenida e da cidade", ou seja, do choque dos estímulos contra os indivíduos. Em outras palavras: todos os elementos que são percebidos pelos seres humanos são fenômenos da categoria da

secundidade. Isto é, são existentes porque colidem contra sua percepção, forçando-os a aceitar sua existência. A dificuldade de acesso às características da primeiridade é um desafio do estudante de fenomenologia: é necessário enxergar as qualidades das coisas e, além disso, respeitar a dinâmica criativa e espontânea destes elementos.

A terceira categoria fenomenológica denominada *terceiridade* engloba os fenômenos com propósito, generalidade, lei, continuidade e representação. Como recorda Peirce (2012, p. 94), o pensamento é impossível quando reduzido às qualidades do puro presente (primeiridade) ou uma reação do passado (secundidade) porque necessita conceder uma qualidade às reações em um futuro: esta inteligibilidade é uma marca das terceiridade.

A predominância fenomenológica de um signo é um indício do tipo de interpretante que ele pode gerar em uma mente. A depender desta predominância, as relações estabelecidas entre os três componentes do signo assumem características diferenciadas, como ilustra o Quadro 1.

QUADRO 1 – Três principais tricotomias do signo peirceano. Fonte: Garbin (2016)

TRICOTOMIA CATEGORIA	**REPRESENTAMEN**	**OBJETO**	**INTERPRETANTE**
Primeiridade	Quali-signo	Ícone	Rema
Secundidade	Sin-signo	Índice	Dicente
Terceiridade	Legi-signo	Símbolo	Argumento

Há três tipos de fundamentos que tornam o signo capaz de funcionar. O primeiro é denominado *quali-signo*, cujo fundamento é baseado na qualidade, que torna qualquer coisa *possível* de ser signo. O segundo fundamento é baseado na existência singular e concreta do fenômeno, denominado *sin-signo*. O terceiro fundamento é seu caráter de lei, em uma "abstração operativa", ou seja, tudo o que *deve ser* signo, denominado *legi-signo* (SANTAELLA, 2010: 13).

De acordo com Santaella (2010: 14), "dependendo do fundamento, ou seja, da propriedade do signo que está sendo considerada, será diferente a maneira como ele pode representar seu objeto". Fenômenos com predominância na categoria da primeiridade, por exemplo, sugerem uma relação de similaridade entre o *representamen* e seu *objeto*, relação esta

característica dos *ícones*. Toda qualidade presente no tempo e no espaço, possível de ser comunicada ou apreendida, é um *sin-signo*, um existente. Como lembra Santaella (1995), um ícone puro é, então, apenas um possível, sendo suas presentificações realizadas por *sin-signos icônicos*, denominados *hipoícones*.

Os *hipoícones* apresentam três subclasses, baseadas na forma de seu modo de primeiridade, quais sejam: as *imagens*, os *diagramas* e as *metáforas*. As *imagens* são hipoícones que se reduzem ao nível da aparência, por meio "da forma, cor, textura, volume, movimento [...] que entram em relação de similaridade e comparação" (SANTAELLA, 1995, p.156, grifo nosso); os *diagramas* se estabelecem, por sua vez, por meio da "similaridade nas relações internas entre signo e objeto" (SANTAELLA, 1995, p.157, grifo nosso) e as *metáforas* operam por meio de paralelismos entre um caráter do signo e algo diverso.

O *interpretante* causado pelo *ícone* é denominado *rema* quando for signo de uma possibilidade qualitativa, ou seja, "o rema não vai além de uma conjectura, de uma hipótese interpretativa" (SANTAELLA, 2010: 26).

É denominado de *índice* os signos que assumem uma relação à nível de secundidade entre o representamen e o objeto, *indicando* a existência deste. Segundo Peirce, o índice é:

> um signo ou representação que se refere ao seu Objeto não tanto em virtude de uma similaridade ou analogia qualquer com ele, nem pelo fato de estar associado a caracteres gerais que esse objeto acontece ter, mas sim por estar numa conexão dinâmica (espacial, inclusive) com o objeto individual, por um lado, quanto, por outro lado, com os sentidos ou a memória da pessoa a quem serve de signo (PEIRCE, 2012, p. 74).

O *interpretante* de um signo locado predominantemente na secundidade é denominado *dicente* ou *dici-signo*. De acordo com Peirce, são objetos da "experiência direta na medida em que é um signo e, como tal, propicia informação a respeito de seu Objeto", como um cata-vento (PEIRCE, 2012, p.55).

Peirce (2012) denomina de *símbolo* toda relação estabelecida entre o *representamen* e o *objeto* do signo por força de uma lei. Por exemplo, uma linha azul seccionada representa um curso d`água temporário apenas

pela força de uma lei, de uma convenção expressa pela legenda. O efeito de um *legi-signo* em uma mente é denominado *argumento*, um *interpretante* lógico, controlável pelo raciocínio.

3. ASPECTOS FENOMENOLÓGICOS DA PAISAGEM

A identificação da predominância fenomenológica do conceito de *paisagem* é um aspecto de interesse desta discussão por três principais motivos. O primeiro é o papel de fonte de informação que a *paisagem* tem no que se refere ao levantamento, como discutido e ilustrado na introdução deste trabalho. O segundo motivo é que o *interpretante* do conceito de *paisagem* está relacionado com sua predominância fenomênica, o que influencia na natureza da informação captada pelo processo de levantamento. O terceiro motivo é o fato de que existe uma diversidade considerável de significados para o termo *paisagem*, mas a *paisagem* representada em cartas topográficas se limita a apenas uma parcela destas características. Uma revisão literária que aborde os vários aspectos compreendidos sobre o conceito de *paisagem* pode fornecer algumas pistas de qual dimensão fenomenológica o significado deste conceito é mais diretamente contemplado na carta topográfica.

A *paisagem* é um dos conceitos centrais da Geografia e a variabilidade de sua abordagem está intimamente ligada à história do pensamento geográfico (CLAVAL, 2011). Mesmo com diversidade de suas características, é possível identificarmos alguns caracteres fenomênicos compartilhados que estão intimamente ligados à sua gênese histórica e em seus conceitos.

Em primeiro lugar, é importante destacarmos que a *paisagem* não é um objeto exclusivo da ciência geográfica. Como afirmam Bertrand e Bertrand (2009) e Besse (2014), urbanistas, engenheiros, agentes públicos e diversos profissionais intervêm na paisagem, mas "nada garante que essas diversas disciplinas, quando confrontadas à questão da paisagem, pensem na mesma coisa e mobilizem as mesmas referências intelectuais" (BESSE, 2014, p. 11).

De acordo com Suertegaray (2001), em uma perspectiva clássica, a *paisagem* para os geógrafos é considerada "uma expressão do homem com a natureza num espaço circunscrito. Para muitos, o limite da

paisagem atrelava-se à possibilidade visual" (SUERTEGARAY, 2001, s.p., grifo nosso). A esse respeito, Besse (2014) e Gomes (2013) discutem o fato de que o conceito de *paisagem* é uma invenção histórica, intimamente relacionada ao desenvolvimento e aplicação da perspectiva pelos pintores e arquitetos renascentistas.

De acordo com Gomes (2013, p. 116), "a figuração das paisagens é o sinal de que aqueles elementos representados se tornaram assuntos que se oferecem nossa reflexão", cuja forma moderna tem sido tema de estudo desde o século XVI. Inicialmente restritas às vistas por janelas nos quadros desse período, a *paisagem* aos poucos se mostrou um tema de maior importância e figurou como central nas representações artísticas (GOMES, 2013).

Complementando esta visão, Besse (2014) afirma que:

> a invenção histórica da paisagem foi relacionada com a invenção do quadro em pintura, no Renascimento, mas também, no próprio quadro, com a invenção da "janela": a paisagem seria, portanto, o mundo tal como é visto desde uma janela, seja essa janela apenas parte do quadro, ou confundida com o próprio quadro como um todo (BESSE, 2014, p. 15, grifo nosso).

É válido frisar, como recorda Suertegaray (2001), que a *paisagem* não está reduzida à sua dimensão visível. Bertrand (1972) considera a *paisagem* uma entidade global, com elementos que a constituem de forma interconectada e participante de uma dinâmica evolutiva. Para o autor, a *paisagem* não é a simples adição de elementos geográficos disparatados. É, numa determinada porção do espaço, o resultado da combinação dinâmica, portanto instável, de elementos físicos, biológicos e antrópicos que, reagindo dialeticamente uns sobre os outros, fazem da paisagem um conjunto único e indissociável, em perpétua evolução (BERTRAND, 1972, p. 2).

Para Besse (2014):

> uma paisagem é, antes de tudo, uma totalidade dinâmica, evolutiva, atravessada por fluxos de natureza, intensidade e direções bastante variáveis e,

> por isso, lhe é atribuída uma temporalidade própria (BESSE, 2014, p. 43).

Essa perspectiva dinâmica da *paisagem* é potencializada pelo desenvolvimento da Teoria Geral dos Sistemas a partir da década de 1940, cujo objetivo foi o desenvolvimento de modelos de conjuntos de elementos em interação (CAPDEVILA, 1991). De acordo com Vale (2012, p. 91), esta teoria define sistema "como complexo de componentes em interação, conceitos característicos das totalidades organizadas tais como interação, soma, mecanização, centralização, competição, etc., e aplica-o a fenômenos concretos". Para a Geografia, significa estudar a *paisagem* considerando a dinâmica de seus subsistemas bióticos, abióticos e humanos, bem como as energias que movimentam esse sistema, como a solar e a gravitacional (CAPDEVILA, 1991, p. 37).

Por meio desta síntese, verifica-se que os conceitos de *paisagem* estão diretamente relacionados – embora não reduzidos – a uma realidade externa, perceptível ao ser humano. A prática do geógrafo, segundo Claval (2011), evidencia com justeza esta condição:

> A geografia é uma ciência da observação. Aquele que a pratica ama andar, olhar ao redor, cheirar os odores e sentir a atmosfera; é também um homem de contato, sempre pronto a interrogar as pessoas e a escutá-la. Os objetos que retêm a atenção do pesquisador são diretamente perceptíveis [...] (CLAVAL, 2011, p. 62-63, grifo nosso).

Em outras palavras, a *paisagem* oferece ao ser humano um 'conflito': força-se contra a percepção humana, existe independente da vontade de seu observador. É corporificada e afeta nossos sentidos e está presente nos odores dos vegetais, nas formas rochosas e nos sons das atividades humanas. Estes são caracteres típicos dos fenômenos localizados na categoria da secundidade (PEIRCE, 1980, p. 18).

Todavia, a *paisagem* não pode ser considerada, como observa Bertrand (1972), Capdevila (1991), Vale (2012) e Besse (2014), um conjunto de existentes estáticos. A Teoria Geral dos Sistemas contribuiu à Geografia na problematização da natureza evolutiva da paisagem, incluindo a identificação das forças que garantem sua dinamicidade.

Neste aspecto, o geógrafo deve ler a paisagem a partir de suas formas visíveis e buscar os processos invisíveis que afetam suas configurações exploradas pelos seus sentidos. Em outros termos, o domínio conceitual das leis naturais, das teorias econômicas e da história permite que os elementos disponíveis na *paisagem* se transformem em *índices* regulados por processos que legislam parte de sua existência, trazendo à *paisagem* os caracteres da terceiridade.

4. A SEMIÓTICA DO LEVANTAMENTO DE DADOS DA PAISAGEM

A realização do levantamento da *paisagem* necessita que os caracteres assinalados anteriormente sobre este conceito sejam traduzidos para os caracteres típicos de seu processo codificador. Esta transformação permite que a paisagem seja reconstruída mentalmente pelo profissional o qual reconhece a relação existencial entre os elementos codificados e a informação disponível em campo.

A etapa de levantamento de dados tem o pressuposto de que existem diferenças entre duas ou mais porções do espaço e que, sobretudo, esta diferença se constitui em uma informação de relevância para o ser humano e as atividades por ele realizadas (GARBIN, 2016). Mas antes de serem desenhadas ou medidas, as diferenças espaciais são vividas e percebidas, fazem parte da experiência humana desde seu nascimento (TUAN, 2013). Este é um ponto particularmente importante que demonstra a especificidade da natureza da informação presente em uma carta topográfica e sinaliza quais aspectos da *paisagem* são demarcados.

Assinalou-se há pouco que a paisagem é "o atestado de um 'fora', de um 'outro'" (BESSE, 2014, p. 45), caracteres estes tipicamente pertencentes à categoria da secundidade. Mas,

> como referir-se a essa realidade, a essa exterioridade da paisagem? Duas vias são possíveis: a ciência [...] e a experiência. A ciência não é a única maneira de se referir à paisagem, nem mesmo talvez a primeira: a paisagem é primeiramente sensível, uma abertura às qualidades sensíveis do mundo (BESSE, 2014, p. 45).

Um morro, uma ladeira ou uma área plana afetam diretamente os seres humanos que nela se encontram. Despertam reações diversas, como cansaço e fadiga. São empecilhos ou facilitadores no transporte de pedras ou na construção de uma usina hidrelétrica. Uma montanha pode suscitar sentimentos de insignificância ou medo, pode motivar representações de cunho religioso, pode ser um atrativo turístico. Essa dimensão sensível da paisagem, que desperta emoções e afetividades, foi inicialmente descartada pela ciência moderna. Trata-se de uma verdadeira desobjetivação da experiência com o meio (BESSE, 2014, p. 46).

O que essas reações têm em comum é o fato de serem motivadas por um dado real – que habita "fora de nós"; concreto, como o suporte para nossas atividades; perceptível, que afeta nossos órgãos sensoriais e não dependem da assimilação de convenções para serem acessadas. Exercem uma resistência à nossa mente e continuam ali, dinâmica esta própria da categoria da secundidade. Este objeto comum, físico, presente, percebido pela diferença espacial é o fundamento fenomênico do objeto de análise no levantamento da paisagem, como acontece, por exemplo, nos casos da topografia e aerofotogrametria.

O conjunto de procedimentos realizados na topografia é denominado levantamento topográfico. Espartel (1987, p. 3, grifo nosso) considera que "a topografia tem por finalidade determinar o contorno, dimensão e posição relativa de uma porção limitada da superfície terrestre". Loch e Cordini (1995), por sua vez, a definem como sendo:

> [...] baseada na geometria e na trigonometria plana, que utiliza medidas de distâncias horizontais, de diferença de nível, de ângulos e de orientação, com o fim de obter a representação, em projeção ortogonal sobre um plano de referência, dos pontos que definem a forma, as dimensões e a posição relativa de uma porção limitada do terreno, sem considerar a curvatura da Terra (LOCH e CORDINI, 1995, p. 18, grifo nosso).

De acordo com Espartel (1987), a topografia pode ser dividida em topometria, que trata das medidas lineares e angulares em planos horizontais (planimetria) e das medidas verticais (altimetria), princípios

estes baseados na Geometria Descritiva; a topologia, que trará das leis que regem o modelado do terreno e o desenho topográfico, que trata da elaboração de cartas que representem graficamente os dados coletados (ESPARTEL, 1987, p. 433). Ainda segundo o autor, a topologia deve preceder as outras duas [topometria e desenho topográfico], pelo auxílio valioso que prestará ao operador na execução mais rápida e precisa do levantamento no terreno, e, também, no desenho posterior da planta (ESPARTEL, 1987, p. 433).

De acordo com Merlin (1965, p. 8), as técnicas de levantamento topográfico nasceram juntamente com a propriedade privada. As informações existentes na carta topográfica são fundamentais para o planejamento de atividades econômicas, de políticas públicas, para o estudo do espaço geográfico, para a engenharia e o urbanismo. Esse panorama revela a necessidade em se desenvolver estas representações quantificadoras em uma demanda histórica e social, tendo a ciência um papel determinante na organização destes dados brutos no reconhecimento e desenvolvimento de teorias que busquem ordenar a realidade.

Do ponto de vista semiótico, a etapa de obtenção e processamento de dados assume um papel de filtro da paisagem, excluindo todos os dados relativos à experiência emocional do meio, isto é, de primeiridade, e valorizando os caracteres obtidos a partir da aplicação de técnicas baseadas em sua dimensão visível, ou seja, de secundidade. A valorização na obtenção do contorno das feições da superfície do terreno assinalada por Espartel (1987) e da forma e suas dimensões por Loch e Cordini (1995), tanto da topografia quanto da aerofotogrametria, está diretamente relacionada ao eixo formal das matrizes de linguagem e pensamento assinalado por Santaella (2013), isto é, típicas da secundidade. Por exemplo, a possibilidade de se verificar a extensão de um determinado fenômeno é:

> antes de tudo, a prevalência da secundidade sin-sígnica no visual já nasce do efeito do próprio sentido da visão. Não são poucos os teóricos que têm apontado para o coeficiente da facticidade com que o sentido da vista se apresenta. A visão é direcional, visa um objetivo. O olhar é guiado para o objeto

> da atenção. O campo visual define um contorno, para além do qual tudo se apaga (SANTAELLA, 2013, p. 196).

Esta passagem é sintetizada por Paschoale (1990) da seguinte maneira:

> o relevo como experiência sensorial visual é substituído por uma formalização matemática produzida através de medidas. A experiência sensorial não é mais apenas visual, mas "táctil" e racional, se entendermos os instrumentos colocados à disposição do cartógrafo como extensões de seus sentidos e cérebro. O próprio relevo passa a ser representado por gradações de cores, sugerindo uma tridimensionalidade por efeito da relação figura e fundo, porém controlada e padronizada (PASCHOALE, 1990, p. 146, grifo do autor).

Embora o levantamento tenha seu objeto de análise alocado na categoria da secundidade, a topologia o aproxima de uma nebulosidade categorial semelhante à paisagem. A relevância da topologia está fundamentada na não-arbitrariedade da superfície terrestre, que obedece leis naturais, muitas das quais conhecidas pelos profissionais que realizam o levantamento (ESPARTEL, 1987). O conhecimento dessas leis permite aos profissionais facilitar o reconhecimento de padrões no modelado topográfico. Em termos semióticos, permite realizar uma semiose que transforma os *sinsignos* da *paisagem* em produtos de *legissignos*, que lhe atribuem parte de suas características.

Os procedimentos envolvidos no levantamento topográfico e aerofotogramétrico, portanto, estabelecem uma série de registros orientados por uma convenção, pois os dados coletados da paisagem guardam uma relação existencial com sua representação tendo em vista as relações internas de seu objeto. As convenções estão relacionadas a todas as padronizações de medidas e procedimentos envolvidos no levantamento, mas também no domínio das leis naturais relativas ao ramo da topologia que modelam a superfície terrestre e interferem diretamente nos registros das feições da paisagem. Sobre o papel e a

interferência da topologia na semiose envolvida no levantamento, pode-se afirmar que:

> sua aplicação principal é na representação cartográfica do relevo pelas curvas de nível [...]. Na interpretação das referidas curvas, obtidas diretamente ou por interpolação, podem-se verificar as correções na implantação de pontos, quando erradamente assinalados na planta (ESPARTEL, 1987, p. 7).

Embora os processos naturais não sejam propriamente registrados pelo levantamento, os mesmos ordenam certas características destes registros, que buscam uma coerência balizada pelas leis da natureza (ESPARTEL, 1987). Os caracteres destas leis permanecem virtualmente acessíveis pelos usuários desses produtos na reconstrução mental da paisagem codificada.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As reflexões presentes neste trabalho, embora não afetem diretamente a prática do levantamento em campo, permitem uma problematização de um conjunto de procedimentos que é comumente visto apenas como uma tarefa técnica, descolada da natureza do conhecimento produzido para a visualização da paisagem.

Como se ressaltou ao longo do texto, o objeto dinâmico do levantamento apresenta características muito diversificadas, respondendo de forma claramente distinta quando analisado a partir das categorias fenomenológicas de Peirce (1980). A coleta e processamento de dados da paisagem por meio da topografia e aerofotogrametria prioriza apenas o aspecto de secundidade, característica esta explicitada tanto pela natureza técnica dos equipamentos utilizados quanto por sua dependência com a matriz visual da linguagem e pensamento (GARBIN, 2016).

Para a Geografia, o conceito de paisagem tem apresentado uma dinamicidade crescente a partir da noção sistêmica (BERTRAND, 1972; CAPDEVILA, 1991; VALE, 2012), que traz ao conceito os caracteres da

categoria da terceiridade. O objeto ao qual a coleta e o processamento de dados da paisagem se reportam é predominantemente visual, mas a semiose envolvida no entendimento de suas formas pela topologia está no domínio da terceiridade. Nesse sentido, os elementos observados na paisagem e a partir do levantamento, quando analisados como resultantes de processos regulados por leis, são considerados índices.

REFERÊNCIAS

BERTRAND, C.; BERTRAND, G. **Uma geografia transversal e de travessias**: o meio ambiente através dos territórios e das temporalidades. Maringá: Massoni, 2009.

BERTRAND, G. Paisagem e Geografia Física Global: esboço metodológico. *In:* **Caderno de Ciências da Terra.** IGEOG-USP, São Paulo, n.13, 27p. 1972.

BESSE, J. M. **O gosto do mundo**: exercícios de paisagem. Rio de Janeiro: Editora UERJ, 2014.

CAPDEVILA, M. B. I. **Manual de ciencia del paisaje**: teorıa , métodos y aplicaciones. Barcelona: Masson, 1991.

CLAVAL, P. **Epistemologia da Geografia.** Florianópolis: Editora UFSC, 2011.

DIRETORIA DE SERVIÇOS GEOGRÁFICOS. **Manual Técnico de Convenções Cartográficas T-34 700** (Primeira Parte), 2 ed., 1998.

DIRETORIA DE SERVIÇOS GEOGRÁFICOS. **Manual Técnico de Convenções Cartográficas T-34 700** (Segunda Parte), 2 ed.,2000.

DIRETORIA DE SERVIÇOS GEOGRÁFICOS. **Norma da especificação técnica para estruturação de dados geoespaciais vetoriais de defesa da força terrestre** (Primeira parte). 2 ed., 2016.

ESPARTEL, L. **Curso de Topografia.** 9. ed. Rio de Janeiro: Globo, 1987.

GARBIN, E. P. **Contribuições da semiótica peirceana para a caracterização da semiose da carta topográfica.** 2016. 141p.

Dissertação (Mestrado em Geografia) – Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2016.

GOMES, P.C. DA C. **O lugar do olhar.** Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2013.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). N**oções Básicas de Cartografia.** Rio de Janeiro: IBGE, 1998.

IMHOF, E. **Cartographic relief presentation.** Redlands: ESRI Press, 2007.

KEATES, J. S. **Cartographic design and production.** New York: Longman Scientific & Technical, 2a. ed., 1989.

LOCH, C.; CORDINI, J. **Topografia contemporânea:** planimetria. Florianópolis: Editora UFSC, 1995.

MERLIN, P.**A Topografia.** São Paulo: Difusão Européia do Livro, 1965.

MERREL, F. **A Semiótica de Charles S. Peirce Hoje.** Ijuí: Editora Unijui, 2012.

NETTO, J. T. C. **Semiótica, Informação e Comunicação.** São Paulo: Editora perspectiva, 1983.

PASCHOALE, C. **Entre a imaginação e a descrição**: um estudo semiótico do mapa na Geologia. S.d. Tese não defendida (Doutorado em Comunicação e Semiótica) Departamento de Comunicação e Semiótica, PUC - SP, 1990 (póstumo).

PEIRCE, C. S. On a new list of categories. In: **Proceedings of the American Academy of Arts and Sciences**, n. 7, p.287-298, 1868.

PEIRCE, C. S. Escritos Coligidos. In: **Os Pensadores.** 2. ed. São Paulo : Abril Cultural, 1980.

PEIRCE, C. S. **The Essential Peirce.** Bloomington: Indiana University Press, vol. 2. 1998.

PEIRCE, C. S. **Semiótica.** 4. ed. São Paulo: Perspectiva, 2012.

SANTAELLA, L. **A teoria geral dos signos:** semiose e autogeração. São Paulo: Ática, 1995.

SANTAELLA, L. **Semiótica aplicada.** São Paulo: Cengage Learning, 2010.

SANTAELLA, L. **Matrizes da linguagem e pensamento:** sonora, visual, verbal. 3. ed. São Paulo: Iluminuras e FAPESP, 2013.

SUERTEGARAY, D. M. A. Espaço geográfico uno e múltiplo in **Scripta Nova -** Revista Electrónica de Geografia y Ciencias Sociales, Barcelona, n.93, julho, 2001.

TUAN, Y. **Espaço e Lugar.** Londrina: Eduel, 2013.

VALE, C. C. do. Teoria Geral do Sistema: histórico e correlações com a geografia e com o estudo da paisagem in **Revista Entre-Lugar**, Dourados, MS, ano 3, n.6, p 85- 108, 2. semestre de 2012.

USO DA ESTIMATIVA DE DENSIDADE KERNEL NA ESPACIALIZAÇÃO DOS EVENTOS DE FURTO NO PERÍMETRO URBANO DE MONTE CARMELO - MG

Arthur Almeida Morais
Tatiane Assis Vilela Meireles
Claudionor Ribeiro da Silva

Universidade Federal de Uberlândia - Campus Monte Carmelo
{arthuralmeidamorais@hotmail.com, tatiane_meireles@ufu.br, crs@ufu.br}

RESUMO

O avanço computacional tem promovido a difusão das diversas técnicas de mapeamento, uma dessas ferramentas refere-se ao Sistema de Informações Geográficas (SIG) empregado por exemplo, na segurança pública de cidades onde é necessário conhecer os focos de criminalidade. O mapeamento da criminalidade é usado com base na análise espacial e quando combinado com um mapa temático, constitui uma poderosa alternativa para a instrumentalização de políticas públicas de combate à criminalidade urbana. Através da espacialização do número de ocorrências prestadas pela Polícia Militar é possível identificar quais áreas sofreram um aumento na criminalidade e quais sofreram diminuição de forma mais compreensível. Neste contexto, mapeou-se o número de ocorrências de furto em Monte Carmelo nos anos de 2011 a 2014, com base no banco de dados da Polícia Militar. Para este fim, efetuou-se a análise espacial e densificação dos eventos pela Estimativa de Densidade Kernel, utilizando o software livre QuantumGIS versão 2.4. Os resultados gerados comprovaram diminuição no número de casos de furto entre os anos de 2011 a 2014.

Palavras-chave: Estimativa Kernel; Sistemas de Informações Geográficas; Criminalidade.

USE OF KERNEL DENSITY ESTIMATION IN THE SPATIALIZATION OF FURTO EVENTS IN THE URBAN PERIMETER OF MONTE CARMELO – MG

ABSTRACT

The computational advancement has promoted the diffusion of the various mapping techniques, one of these tools refers to the Geographic Information System (GIS) used for example in the public safety of cities where it is necessary to know the sources of crime. Crime mapping is used based on spatial analysis and, when combined with a thematic map, is a powerful alternative for the implementation of public policies to combat urban crime. Through the spatialisation of the number of occurrences provided by the Military Police it is possible to identify which areas have suffered an increase in crime and which have suffered decrease in a more understandable way. In this context, the number of occurrences of theft in Monte Carmelo in the years 2011 to 2014, based on the database of the Military Police, was mapped. For this purpose, the spatial analysis and densification of the events were performed by the Kernel density estimation using the free software QuantumGIS version 2.4. The results generated showed a decrease in the number of cases of theft between the years 2011 and 2014.

Keywords: Kernel density estimation, Geographic Information System; Crime.

1. INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, o emprego das geotecnologias vem ocupando um vasto campo no que se refere ao tratamento de informações espaciais. Com esse recurso, é possível realizar a espacialização, análise, atualização, armazenamento e representação dos dados referentes à diversas áreas, incluindo a criminalidade.

Em inúmeras atividades de âmbito policial é necessário controlar a informação a ser utilizada e atualizá-la mediante os dados disponíveis.

A espacialização de um determinado evento criminal pode beneficiar a tomada de decisão no combate à criminalidade urbana, apresentando-se como importante alternativa para a instrumentalização de políticas públicas.

Na atualidade, diversas entidades ligadas aos interesses sociais no estado de Minas Gerais, como a Polícia Civil e a Polícia Militar, já possuem um banco de dados referente às ocorrências criminais. Entretanto, ainda há uma carência em estudos que espacializem, georreferenciem e relacionem eventos criminais a fatores socioeconômicos (NOGUEIRA, 2010).

Nesse contexto, este trabalho buscou mapear eventos relacionados à criminalidade, evidenciando os crimes de furto no município de Monte Carmelo, com o objetivo de beneficiar a interpretação e a análise da expansão ou diminuição desse fenômeno por meio da identificação dos locais de maior ocorrência, tendo como base o banco de dados da 157ª Cia. da Polícia Militar, situada no município.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 VIOLÊNCIA

Segundo Nogueira (2010), a violência não é um fato contemporâneo na humanidade. Ela sempre ocorreu, mas, com o passar do tempo histórico, assume formas específicas. Nos dias atuais, a violência está entre os argumentos mais discutidos na sociedade, uma vez que se trata de um fenômeno presente no dia a dia dos habitantes, principalmente nas grandes metrópoles.

De acordo com Brutti (2006), em países em desenvolvimento, onde é notável a diferença entre as classes sociais, o aumento dos índices relacionados aos crimes é considerável. Isso se deve à priorização governamental dada à questão produtiva em detrimento das relações que norteiam aspectos culturais.

O artigo 155 da Lei 2.848/40 do Código Penal define alguns desses delitos, sendo de interesse desta pesquisa os eventos de furto. Assim, a definição explanada por esse artigo concernente ao furto é a de que se refere à subtração para si de um objeto ou coisa alheia. A pena para esse

crime é prisão, de um a quatro anos, e multa, dependendo do tipo de furto notificado (BRASIL, 1940). É caracterizado furto consumado, quando se conclui a ação do ato de consumação, ou seja, após ser subtraído da esfera de disponibilidade da vítima algum objeto, que fica de posse do indivíduo que o subtraiu (GRECO, 2009), caso contrário, o delito se enquadra como tentado.

2.2 SIG NA SEGURANÇA PÚBLICA

Durante alguns anos, o SIG foi empregado nas unidades policiais somente através de mapas analógicos, em que as áreas afetadas pelo crime eram representadas por alfinetes fixados na imagem. Esse método simples tinha como objetivo georreferenciar o fenômeno da criminalidade e distribuir o policiamento de acordo com a demanda das áreas, proporcionando um melhor rendimento no âmbito policial (SANTO, 2012).

A partir do avanço tecnológico ocorrido nas últimas décadas, o mapeamento e o tratamento de informações espaciais tornaram-se mais eficientes. Diversas organizações públicas e privadas utilizam essas tecnologias como consequência desse avanço. Por meio da análise espacial de dados, as autoridades policiais começaram a utilizar as geotecnologias associadas a um banco de dados no combate à criminalidade, e o SIG tornou-se uma ferramenta importante para políticas de segurança pública.

Segundo Danna (2011), o SIG constitui um poderoso mecanismo para coleta, armazenamento, recuperação e exibição de dados do mundo real para determinados propósitos afirmando ainda que, o mapeamento da criminalidade vem sendo utilizado pelas autoridades policiais há algumas décadas e apresentando resultados satisfatórios, principalmente quando aplicado em áreas grandes e com alto número de delitos ou eventos (DANNA, 2011).

Câmara e Carvalho (2004) definem evento, como qualquer fenômeno que esteja localizado em um determinado espaço, em que, se considerada a escala de investigação, torna-se uma feição pontual.

A espacialização dos delitos em uma área, associada a uma análise temporal, evidencia a distribuição da informação de forma coerente e

intuitiva, auxiliando assim, no estudo de avanços das ocorrências de crime que atingem a população.

Com o advento da tecnologia, o uso do SIG foi intensificado em diversas áreas, incluindo a segurança pública. A facilidade de processamento, representação, análise e atualização de dados dessa ferramenta conferiram praticidade aos procedimentos operacionais das instituições policiais, sejam elas militar, civil ou científica.

Segundo Máximo (2004), com o auxílio do SIG, é possível correlacionar dados de criminalidade com variáveis que possam contribuir com esse tipo de evento, por exemplo, ausência de segurança, carência de infraestrutura, ocupação desordenada de áreas, etc. Essa ferramenta – já utilizada em diversos países, também contribui para a análise de rede, pois cruza informações para auxiliar no monitoramento de ações de delinquência. Em alguns estados brasileiros, modelos de mapeamento que se adaptem as realidades e as necessidades das cidades estão sendo propostos, visando promover maior eficácia nas ações de segurança pública.

2.3 MAPEAMENTO DA CRIMINALIDADE

O mapeamento e o monitoramento da criminalidade beneficiam a visualização, a análise e a tomada de decisão para supostas situações que comprometam a segurança do cidadão, constituindo um conjunto de mecanismos para o planejamento estratégico (MAXIMO, 2004).

Danna (2011) afirma que a tática direcionada ao mapeamento digital exerce um papel fundamental no processo de investigação, pois possui uma ampla capacidade de gerar informações, as quais, muitas vezes, podem ser acompanhadas praticamente em tempo real. Todavia, a confecção do mapa deve ser feita de forma eficiente por parte dos responsáveis, pois a inclusão das informações e o georreferenciamento constroem a referência espacial dos locais mais afetados pelo crime.

O mapa é usado para criar ideias e hipóteses de um determinado caso a ser estudado, ou investigado. Realizando uma análise minuciosa neste produto cartográfico, é possível observar que as características do evento, moldadas por um conjunto de fatores, poderá apresentar

correlação quando é reconhecida as conexões entre fenômenos distintos (HARRIES,1999).

2.4 GEOCODIFICAÇÃO

A Geocodificação refere-se ao método pelo qual se consegue associar endereços de uma base de dados a uma determinada coordenada geográfica de interesse (PINA; SANTOS; CARVALHO, 2000). O processo de geocodificação é muito utilizado em diversos segmentos da cartografia, pois consegue otimizar o processo de pontuação de um determinado evento a ser estudado.

Segundo Gonçalves (2002), a geocodificação é vital para o mapeamento da criminalidade, uma vez que é a maneira mais difundida de introduzir dados sobre o crime em um SIG. Na maioria das vezes, o registro dos crimes é obtido por meio do endereço ou de outro atributo que possa identificar a localização do ato e é essa informação que estabelece a conexão entre o banco de dados e o mapa, exercendo um papel fundamental no mapeamento de crimes.

2.5 ESTIMATIVA DE KERNEL

A Estimativa de Densidade Kernel é um método de estudo de padrões espaciais de determinados eventos pontuais, bastante eficaz na análise de densificação de crimes, por proporcionar a espacialização do evento bem como, a delimitação das áreas mais vulneráveis em torno do crime registrado (GUIRRA; SOUZA; MOREAU, 2011).

Silva (2004), afirma que a ESTIMATIVA DE DENSIDADE KERNEL é uma técnica estatística, de inferência espacial, não paramétrica, em que uma distribuição de pontos ou eventos é convertida em uma "superfície contínua de risco".

Segundo Santos et al. (2012), ao analisar feições pontuais distribuídas em um determinado espaço, é possível estimar o número aproximado de eventos por unidade de área, e realizar uma densificação, que pode ser obtida através da Estimativa de Densidade Kernel. Tal estimativa também é considerada uma técnica de suavização, adicionalmente, pode-se gerar um mapa de contorno de intensidade com uma superfície contínua ou um

mapa da proporção de eventos, e identificar qual a tendência desta suavização.

De acordo com Silva (2004), a Estimativa de Densidade Kernel, foi criada para se obter uma superfície suavizada de uma probabilidade univariada ou multivariada a partir da amostra de uma observação. Esta técnica assemelha-se da estimativa de probabilidade de densidade bivariada. Para haver uma aplicabilidade em tal estimativa, são necessárias duas variáveis básicas: o raio de influência (τ), que define a dependência espacial do ponto, ou vizinhança, o qual controla o contorno da superfície gerada e uma função de estimação k (Kernel) com propriedades para suavizar o fenômeno de interesse. A função quártica de Kernel, ou de quarta ordem é a mais utilizada.

Sabendo que *s* representa uma localização em na região R e s_1,... s_n são as localizações das *n* observações então a intensidade, $\widehat{\lambda_\tau}(s)$ em *s* é estimado pela Equação (1):

$$\widehat{\lambda_\tau}(S) = \sum_i^n \frac{1}{\tau^2}\, k\, \left(\frac{S-S_i}{\tau}\right) \qquad (1)$$

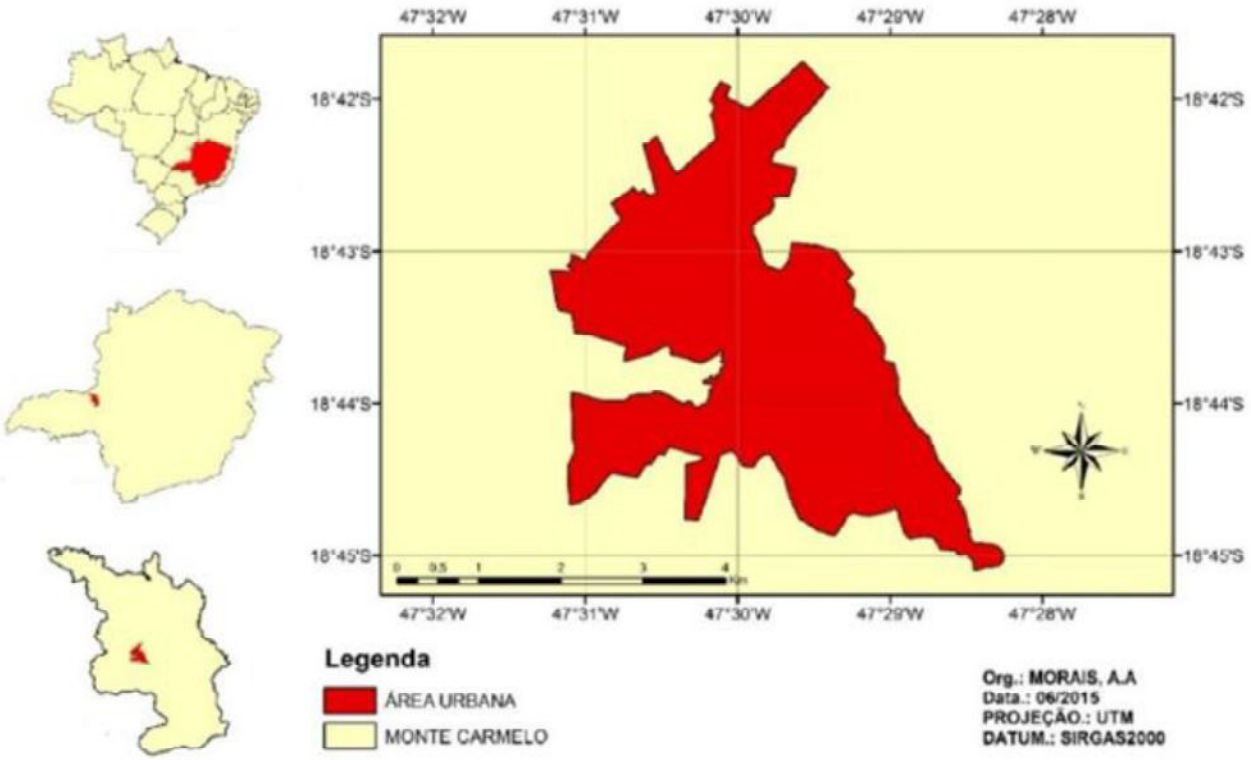
Onde:
K - função de densidade bivariada, ou de estimação.
τ - raio de influência;
s - centro da área;
si - local do evento;
n - número total de eventos;
$\widehat{\lambda_\tau}(S)$ - valor estimado.

3. MATERIAL E MÉTODO

3.1 ÁREA DE ESTUDO

O município de Monte Carmelo está localizado no interior do estado de Minas Gerais (FIGURA 1), entre as coordenadas 18°43' e 18°45' de latitude sul e 47°28' e 47°31' de longitude leste, na região do Alto Paranaíba.

FIGURA 1. Mapa de localização do perímetro urbano de Monte Carmelo. Fonte: Autor (2016).



O município possui uma área total de 1.343,035 km^2. A população total, segundo o Censo 2010 (IBGE, s.d.), era de 45.770 habitantes, havendo 15.125 domicílios em Monte Carmelo. Em 2014, a população chegou a 47.770 habitantes.

A principal atividade econômica da cidade é a produção de telhas, tijolos e artefatos cerâmicos, mas também se destaca a produção de curtume e de embalagens. Além disso, o café do cerrado carmelitano é produzido a partir de grãos de alta qualidade servindo todo o Brasil (IBGE, s.d.).

3.2 MATERIAL UTILIZADO

Para a coleta dos pontos de controle foram utilizados dois receptores GNSS (Global Navigation Satellite System), do Laboratório de Topografia e Geodésia (LTGEO) do curso de Engenharia de Agrimensura e Cartográfica, da Universidade Federal de Uberlândia, sendo um Pro Mark

500 L1/L2 (dupla frequência), com precisão horizontal de 5mm + 0,5ppm e um Pro Mark 200 L1/L2 (dupla frequência), de precisão horizontal (5mm + 1ppm).

No processamento dos dados foi utilizado o software livre QuantumGis (QGis) 2.4 e a plataforma GNSS Solution.

3.3 MÉTODO

3.3.1 Geração da Malha Viária e Delimitação dos Bairros de Monte Carmelo

Para a elaboração da malha viária do município de Monte Carmelo – MG, foi utilizado o software Quantum GIS (QGIS) versão (2.4) e a ferramenta OpenLayersPlugin que permite realizar o acesso a imagens do Google Earth em alta resolução dentro da própria interface do software, facilitando assim a tomada de decisão.

Visto que o Google Earth apresenta como Sistema de Referência de Coordenadas o PseudoMercator (EPSG: 3857), houve a necessidade de realizar uma conversão para o sistema World Geodetic System (WGS) 1984 após a vetorização da malha.

A delimitação dos bairros foi gerada a partir do uso da malha viária estabelecida anteriormente e através de um mapa base impresso. Esta metodologia foi empregada uma vez que, não existe na área em estudo, lei municipal que institua os limites desses bairros.

3.3.2 Geocodificação das Ocorrências e Interpolação de Densidade com Base na Estimativa de Densidade Kernel

Dois procedimentos foram utilizados para que a análise espacial dos dados relativos às ocorrências fosse executada, a geocodificação dos endereços e a interpolação com base na Estimativa de densidade Kernel.

A geocodificação dos dados disponibilizados pela 157ª Cia. Esp. PM Monte Carmelo, foi realizada através do plugin MMQGIS, do software QuantumGIS (QGIS) 2.4. Segundo Santos (2013), esse plugin é baseado em um algoritmo que encaminha os endereços para uma base de

informações do Google e devolve para o usuário, um arquivo em formato shapefile, contendo as coordenadas geográficas de interesse.

Para que o processo de geocodificação pontuasse as ocorrências, foi necessário que a planilha de dados estivesse na codificação UTF-8, e em um arquivo com separador por vírgula, também conhecido como CSV. O plugin MMQGIS reconhece a planilha eletrônica no formato referido se a mesma contiver colunas com informações sobre tipos de logradouro, nome do logradouro, cidade, estado, país e uma contendo o endereço completo.

Posteriormente ao processo de importação dos dados com a codificação correta, o software pontuou as ocorrências referente aos eventos de furto tentado e furto consumado, dos anos de 2011 a 2014, gerando um arquivo shapefile com os dados de interesse.

De posse desses arquivos, foram importadas para o QGIS 2.4 as camadas de pontos referentes aos delitos, usando a ferramenta mapa de calor. Para realizar o processo de densificacão, ou geração dos mapas de calor, foi empregado para este trabalho a função quártica de Kernel.

Após o tratamento dos dados, buscou-se definir através de experimentos o raio de influência que melhor se adaptasse a este estudo. Para isso foram realizadas simulações visando definir qual dimensão promoveria uma melhor visualização da densidade das ocorrências.

Os testes foram baseados em valores que variaram de 300m a 1000m. A partir das simulações verificou-se que o uso de um raio de influência de 500 m para a geração da superfície de Kernel, seria o mais adequado, uma vez que este valor permitiu uma visualização mais suave e melhor definição das áreas quentes promovendo uma associação entre os eventos e a sua localização.

Após a definição dos parâmetros, foi possível identificar a tendência em conjunto com a visualização da densificação das ocorrências dos delitos por meio do uso do software QGIS 2.4.

A partir da geração da Estimativa de Densidade Kernel dos eventos estudados, foi definido um layout padrão para todos os mapas e uma paleta de cores. Harries (1999) afirma em seus trabalhos, que em sua maioria, cores mais escuras ou quentes, estão relacionadas a um maior número de problemas enquanto tons mais claros, representam menor intensidade do evento estudado.

Cabe salientar, que o resultado do processo de geocodificação realizado com MMQGIS, apresenta margem de erro relativamente baixa, causada possivelmente pela utilização do parâmetro de localização do Google Maps, que não estabelece o padrão dos endereços na base cadastral da cidade e sim de sua base disponível. Em virtude disto, deve-se considerar que a qualidade do resultado pode ser influenciada pela qualidade da base de dados de referência (SILVA, 2015).

A classificação da densificação foi realizada com base nos estudos realizados na cidade de São Paulo, sobre a violência urbana (SÃO PAULO, 2008) e nos trabalhos realizados por Ferreira e Sano (2013), em que são identificadas as seguintes classes de densificação dos eventos: muito baixa, baixa, média, alta e muito alta.

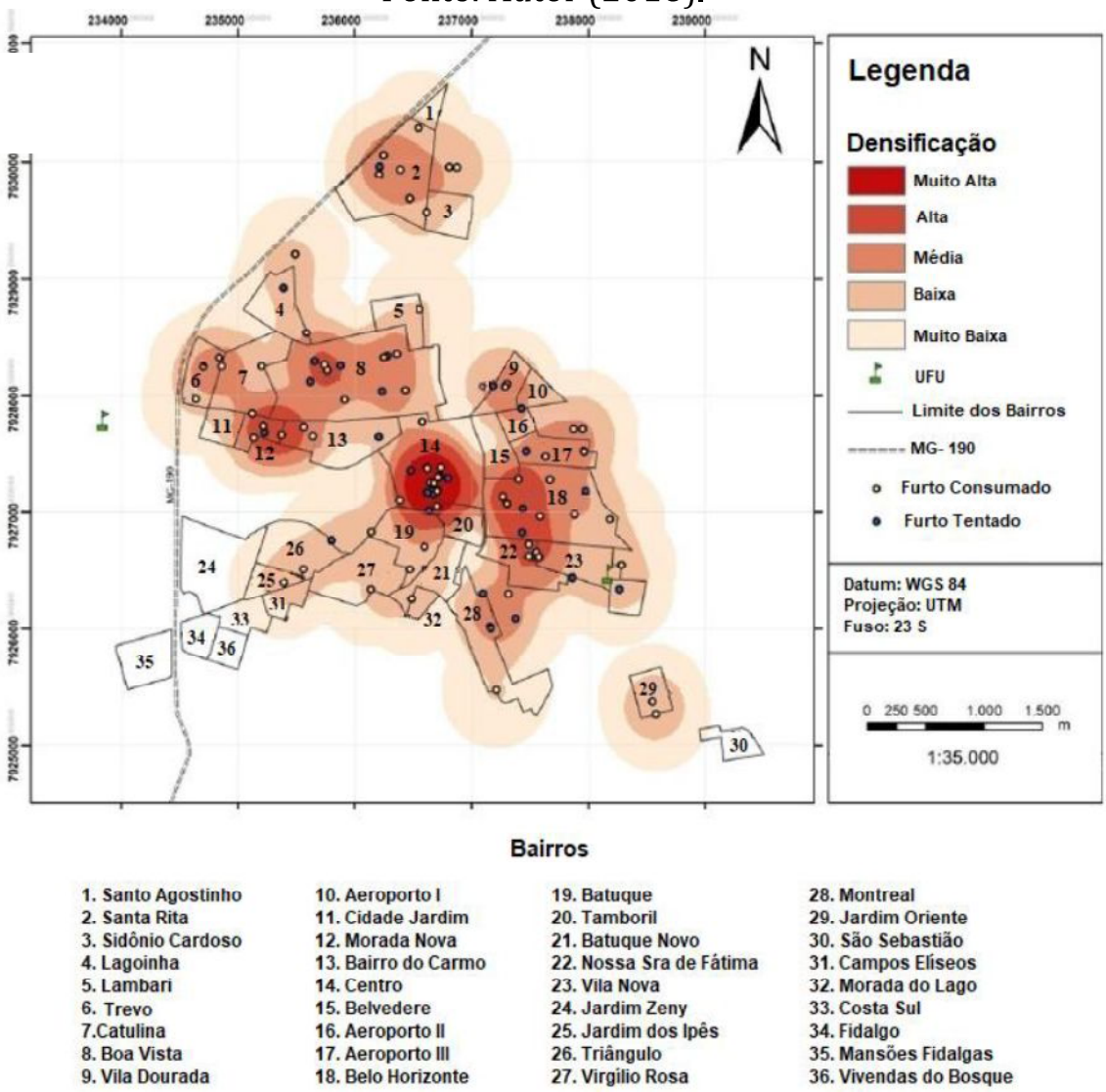
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 COMPORTAMENTO ESPACIAL DAS OCORRÊNCIAS DE FURTOS

Primeiramente, para que um crime faça parte do banco de dados da polícia tornando-se um dado com parâmetros estatísticos, faz-se necessário a detecção do evento, a informação sobre o ocorrido, a presença das autoridades policiais e o registro de um boletim de ocorrências. Sendo assim, crimes não notificados não foram inclusos no banco de dados e consequentemente não contemplados nesse estudo.

A partir da análise da variabilidade espacial das ocorrências de furtos nos anos de 2011 a 2014, baseada nos mapas de superfície de Kernel, identificou-se na FIGURA 2, a presença da classe de densificação muito alta na região central. Tal evidência pode ser facilmente compreendida uma vez que, o comércio pertencente ao Município de Monte Carmelo, em sua maioria, encontra-se localizado nessa região. Também é possível observar que os bairros Boa Vista, do Carmo, Morada Nova e Belo Horizonte, apresentaram manchas pertencentes a classe de densificação alta. Acredita-se que tal fato esteja relacionado à proximidade destes bairros a região central da cidade.

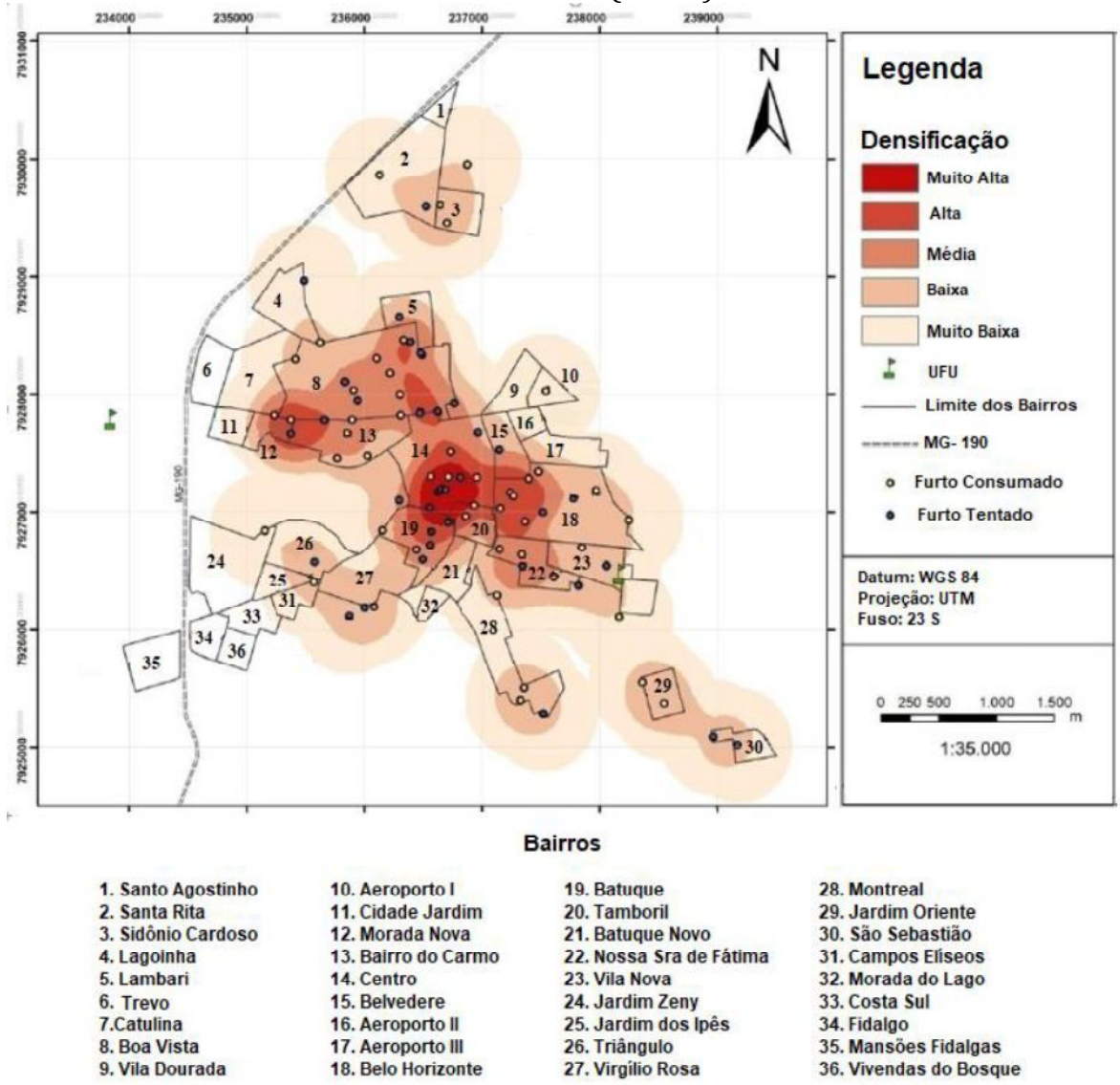
FIGURA 2. Furtos ocorridos no ano de 2011 no município de Monte Carmelo. Fonte: Autor (2016).



Observando a FIGURA 3 é possível notar que novamente a mancha classificada como “muito alta” se concentrou na região central, as feições pontuais detectadas em maior número nesta região foram furto tentado. Assim como em 2011, o bairro Belo Horizonte, apresentou densificação alta, contudo, foi notado uma considerável suavização no bairro Boa Vista que, apontou em sua maioria, densidade média de delitos e uma pequena porção de densificação alta.

Os bairros Catulina, Trevo, Mansões Fidalgas, Costa Sul e Fidalgo, não apresentaram nenhum delito de furto. O bairro Jardim Zeny apresentou apenas um evento.

FIGURA 3. Furtos ocorridos no ano de 2012 no município de Monte Carmelo. Fonte: Autor (2016).

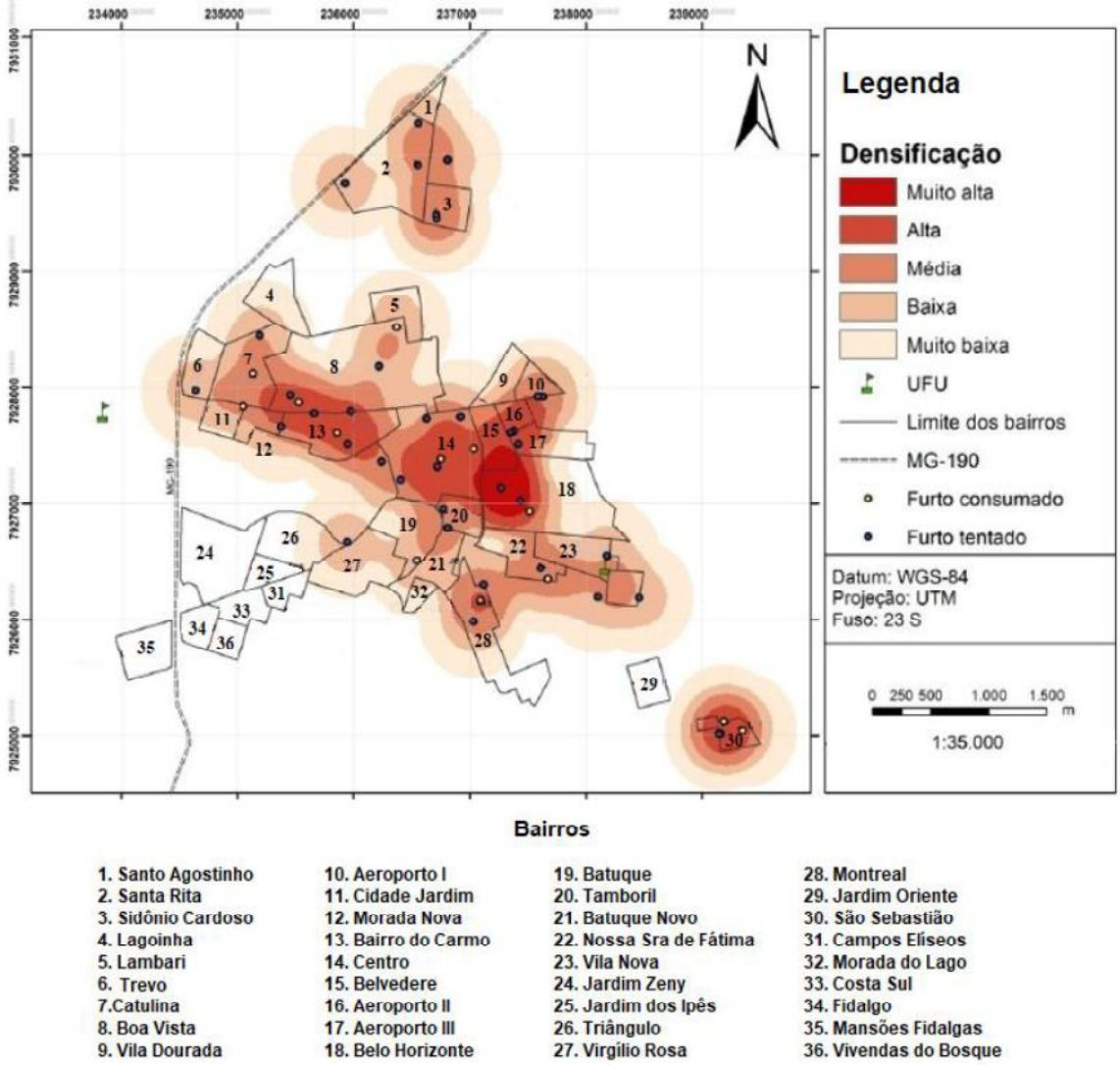


A partir da análise da FIGURA 4 observa-se que a região central apresentou densificação alta dos índices de furtos na cidade, diferente dos anos anteriores, havendo uma migração da mancha classificada como muito alta, para o bairro Belo Horizonte. Diante disto, nota-se que a tendência de furto mudou e também o número de ocorrências espacializadas. Essa modificação direcional pode estar relacionada tanto a proximidade deste bairro ao centro, quanto a maior ocupação, por parte

dos alunos, devido a instalação do campus da Universidade Federal de Uberlândia no bairro confrontante ao Belo Horizonte.

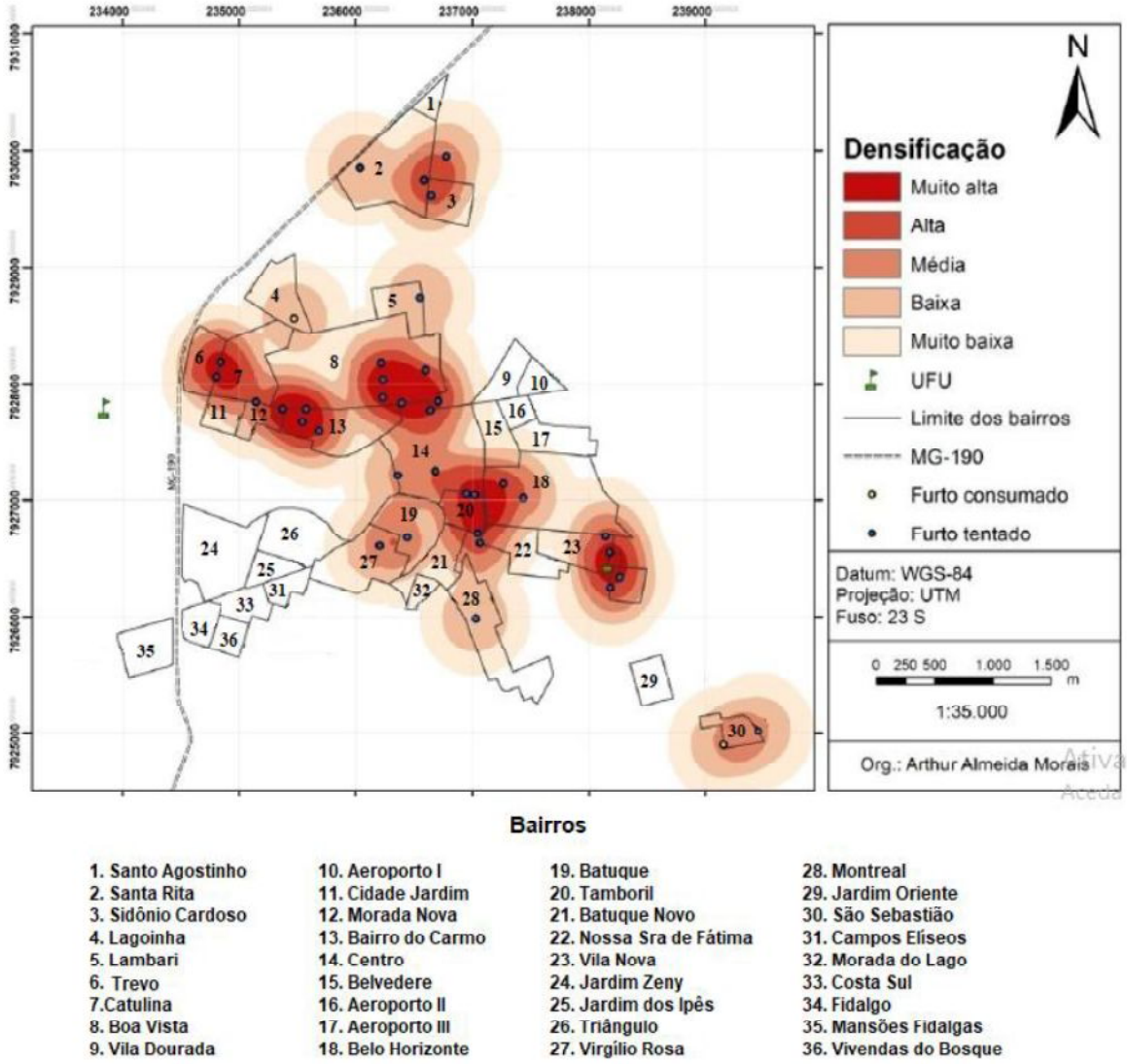
No ano de 2013 não foram registradas ocorrências de furtos nos bairros da região Oeste de Monte Carmelo, proximidades MG-190. Bairros Mansões Fidalgas, Costa Sul, Jardim Zeny, Vivendas do Bosque, Campos Elíseos e Triângulo.

FIGURA 4. Furtos ocorridos no ano de 2013 no município de Monte Carmelo.
Fonte: Autor (2016).



Observando a FIGURA 5, nota-se que o delito furto consumado, foi geocodificado apenas nos bairros Lagoinha e São Sebastião, regiões mais periféricas do município de Monte Carmelo. Enquanto que o delito furto tentado aparece em maior distribuição espacial.

FIGURA 5. Furtos ocorridos no ano de 2014 no município de Monte Carmelo.
Fonte: Autor (2016).



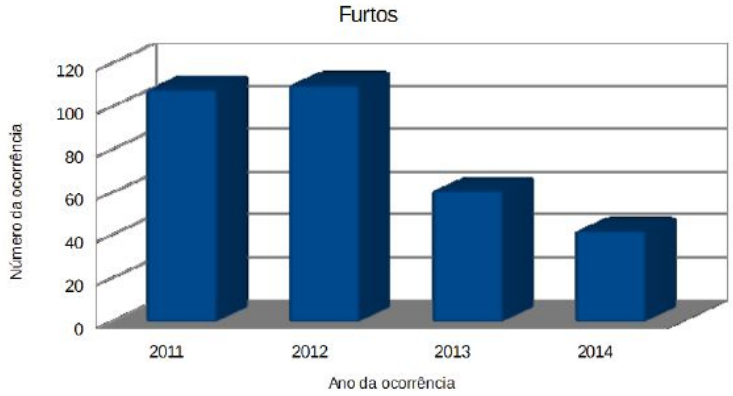
4.2 COMPORTAMENTO TEMPORAL DAS OCORRÊNCIAS DE FURTOS GEOCODIFICADAS

A partir da FIGURA 6 é possível notar que dentre as ocorrências de furtos geocodificadas para este trabalho, houve diminuição no número destes eventos durante o período em estudo, sendo o ano de 2012 o que apresentou maior número de ocorrências no perímetro urbano de Monte Carmelo.

Foram efetuadas consultas junto a 157ª Cia. Esp. PM Monte Carmelo, de forma a identificar alguma medida que justificasse a redução

considerável de casos de furto durante os anos de 2011 a 2014, porém, nenhuma atividade preventiva, aumento no policiamento urbano ou mesmo mudança na ação policial ocorreram durante esse período, não podendo, portanto, ser apontado nenhuma justificativa provável para este fato.

FIGURA 6. Número de eventos nos anos de 2011 a 2014 em Monte Carmelo.
Fonte: Autor (2016).



5. CONCLUSÃO

Conclui-se que o Sistema de Informações Geográficas é eficaz no processo de espacialização de dados geocriminais uma vez que, possibilita a espacialização das ocorrências de forma otimizada. Além de, permitir a geração de produtos cartográficos que poderão contribuir para as futuras tomadas de decisão por parte dos usuários desta temática.

A partir da distribuição espacial dos delitos estudados, foi possível identificar as áreas mais afetadas pelas ocorrências de furto dado que, os mapas produzidos por meio da Estimativa de Densidade Kernel determinaram as áreas mais afetadas e indicaram tendência dos eventos.

Diante dos resultados alcançados, foi possível observar que o número de eventos de furto, durante o período de estudo, sofreu redução considerável, fato este que não pode ser explicado, uma vez que, nenhuma modificação nas ações realizadas pela polícia e tampouco ações preventivas ou mesmo alteração no número de policiamento ocorreram.

Perante a realização deste estudo, observou-se que a metodologia baseada na geocodificação e análise espacial dos dados sobre criminalidade, por meio do uso de softwares livres, pode ser empregada

como ferramenta auxiliar na gestão de segurança pública, pois o uso de tais softwares se torna economicamente viável por não apresentar custo aos usuários envolvidos na temática da criminalidade além de, embasarem ações policiais mais direcionadas e consequentemente beneficiar a tomada de decisão no combate à criminalidade urbana.

REFERÊNCIAS

BRASIL. Decreto-lei no 2.848, de 7 de dezembro de 1940. **Código Penal.** Rio de Janeiro, 1940.

BRUTTI, R. S. A sociologia da violência. **Âmbito Jurídico**, Rio Grande, v. 9, n. 35, dez. 2006. Disponível em: <http://www.ambito-juridico.com.br/site/index.php?n_link=revista_artigos_leitura&artigo_id=1464>. Acesso em: 20 jun. 2015.

CÂMARA, G.; CARVALHO, M. S. **Análise espacial de eventos**. In: DRUCK, S. et al. Análise Espacial de Dados Geográficos. Brasília: Embrapa, 2004. Cap. 2. p. 2-15. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/analise/cap2-eventos.pdf>. Acesso em: 5 nov. 2015.

DANNA, L. F. F. **Proposta de aplicação do geoprocessamento na segurança pública**: mapeamento geocriminial em Arapongas – Paraná. 2011. 60 f. TCC (Graduação em Geografia) – Departamento de Geociências, Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2011. Disponível em: <http://www.uel.br/cce/geo/tcc/105_propostadeaplicacaodogeoprocessamentonasegurancapublicamapeamentogeocriminalemarapongaspr_2011.pdf>. Acesso em: 9 abr. 2015.

FERREIRA, G. P; SANO, E. E. Mapa de densidade de Kernel como indicador de desmatamento futuro na Amazônia Legal. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 16., 2013, Foz do Iguaçu. **Anais...** . Foz do Iguaçu: Inpe, 2013. p. 4404 - 4410. Disponível em: <http://www.dsr.inpe.br/sbsr2013/files/p0933.pdf>. Acesso em: 24 nov. 2015.

GONÇALVES, A. E. **Geocodificação e análise do mapeamento da criminalidade na cidade de Ipatinga**. 2002. 51 f. Monografia (Especialização em Geoprocessamento) – Departamento de Cartografia,

Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2002. Disponível em:<http://www.csr.ufmg.br/geoprocessamento/publicacoes/ALISSON EUSTAQUIO GONCALVES.PDF>. Acesso em: 8 abr. 2015.

GRECO, R. **Curso de Direito Penal:** Parte especial. 6. ed. Belo Horizonte: Impetus, 2009. 3 v.

GUIRRA, G. C. S; SOUZA, L. E; MOREAU, M. S. Análise da distribuição espacial de homicídios na zona urbana de Ilhéus-BA. In: ENCONTRO BAIANO DE GEOGRAFIA, 8., 2011, Vitória da Conquista. **Anais...** Vitória da Conquista: Uesb,2011. Disponível em: <http://www.uesb.br/eventos/ebg/anais/2i.pdf>. Acesso em: 3 nov. 2015.

HARRIES, K. **Mapping crime**: principle and practice.Washington, DC: US Department of Justice, 1999. Disponível em: <http://www.ncjrs.org/html/nij/mapping/>. Acesso em: 8 abr. 2015.

MÁXIMO, A. A.**A importância do mapeamento da criminalidade utilizando-se tecnologia de sistema de informação geográfica para auxiliar a segurança pública no combate à violência.** 2004. 97f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) –Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.

NOGUEIRA, J. M. **Avaliação da relação espacial entre homicídios e aspectos socioeconômicos utilizando técnicas e ferramentas de geoprocessamento.** 2010. 55 f. Monografia (Especialização em Geoprocessamento) – Departamento de Cartografia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2010. Disponível em: <http://www.csr.ufmg.br/geoprocessamento/publicacoes/JAQUELINE.pdf>. Acesso em: 9 abr. 2015.

PINA, M. F; SANTOS, S. M; CARVALHO, M. S. **Conceitos Básicos de Sistemas de Informação Geográfica e Cartografia aplicados a saúde.** Brasília: Fiocruz, 2000. 122 p. Departamento de Informações em saúde. Disponível em: <http://www.bvsde.paho.org/cursode/fulltext/Livro_cartog_SIG_saude.pdf>. Acesso em: 3 nov. 2015.

SANTOS, B. S. et al. Análise da distribuição espacial de homicídios na zona urbana de Ilhéus-BA. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS

GEODÉSICAS E TECNOLOGIAS DA GEOINFORMAÇÃO, 4., 2012, Recife. **Anais...** Recife: ISBN, 2012. p. 001 - 009. Disponível em: <https://www.ufpe.br/cgtg/SIMGEOIV/CD/artigos/SIG/149_5.pdf>. Acesso em: 4 nov. 2015.

SANTOS, J. **QGIS 2.0: Geocodificação de endereços através do Google via plugin mmqgis:** Geocodificação através do Google. 2013. Processamento Digital - Geotecnologias e Software livre. Disponível em: <http://www.processamentodigital.com.br/2013/10/26/qgis-2-0-geocodificacao-de-enderecos-atraves-google-via-plugin-mmqgis/>. Acesso em: 3 nov. 2015.

SILVA, S. A. **Utilização de técnicas de análise espacial como ferramenta para vigilância de pneumonias radiologicamente definidas na infância em Goiânia.** 2004. 107 f. Tese (Doutorado) - Curso de Epidemiologia, Instituto de Patologia Tropical e Saúde Pública, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2004. Disponível em: <https://posstrictosensu.iptsp.ufg.br/up/59/o/SimonneSilva-2004.pdf>. Acesso em: 3 nov. 2015.

SILVA, V. C. B. **Geocodificação no QuantumGIS – Plugins MMQGIS e GEOCODE.** 2015. Disponível em: <http://andersonmedeiros.com/PDF/Tutorial_ Geocodificacao_no_Quantum_GIS_QGIS.pdf>. Acesso em: 1 nov. 2015.

ESTRATÉGIAS DE PROCESSAMENTO DE DADOS GNSS NO CONTEXTO DO GEORREFERENCIAMENTO DE IMÓVEIS RURAIS

Camila Barboza de Almeida
Vinicius Francisco Rofatto
Gabriel do Nascimento Guimarães

Universidade Federal de Uberlândia - Campus Monte Carmelo
{camila_almeida25@hotmail.com, vinicius.rofatto@ufu.br, gabriel@ufu.br}

RESUMO

A posse de terra sempre foi e ainda é um tema bastante discutido no Brasil. A Lei 10.267, de 28 de agosto de 2001, trouxe grandes avanços para a questão agrária brasileira, pois altera o Sistema Público de Registro de Terras e cria o Cadastro Nacional de Imóveis Rurais (CNIR). Desde então, as coordenadas dos vértices do limite dos imóveis rurais devem estar georreferenciadas ao Sistema Geodésico Brasileiro (SGB) e com precisão posicional estabelecida pelo INCRA (Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária). Para a determinação inequívoca e precisa das coordenadas dos vértices definidores dos limites dos imóveis são utilizados métodos de posicionamento por satélites e convencionais. Com relação aos métodos de posicionamento geodésicos utilizando os sistemas GNSS (*Global Navigation Satellite System*), têm-se basicamente três métodos de processamento, o método absoluto, relativo e o diferencial. Este trabalho buscou avaliar o desempenho do método absoluto preciso, denominado PPP (Posicionamento Preciso por Ponto) com diversos tempos de coleta de dados e o impacto da integração GPS/GLONASS no processamento para a determinação dos vértices de apoio. Para os pontos limítrofes da área do imóvel, o método relativo estático foi utilizado considerando as seguintes estratégias de processamento: emprego de cada ponto de apoio independentemente, emprego dos dois pontos de apoio simultaneamente e emprego da frequência L1 e L1/L2 com diversos tempos de coleta de dados.

Palavras-chave: Georreferenciamento; Imóveis rurais; GNSS.

GNSS DATA PROCESSING STRATEGIES IN THE CONTEXT OF GEOREFERENCING OF RURAL PROPERTIES

ABSTRACT

Land tenure has been an important issue in Brazil. Law 10.267 of August 28th, 2001, has brought important steps forward for the Brazilian agrarian issue as it changes the Public System of Land Registry and creates the National Registry of Rural Property. Since then, coordinates of the vertices from rural properties should be georeferenced to the Brazilian Geodetic System (SGB) and the positional accuracy established by INCRA (National Institute of Colonization and Agrarian Reform). Positioning methods used by satellites as well as conventional methods are used in order to gain accurate coordinates of the vertices. Regarding the geodetic positioning methods using the GNSS (Global Navigation Satellite System), the PPP method (Precise Point Positioning) and the Relative method have been applied. This project has evaluated the PPP performance according to different data collection times, and the impact of integration on GPS / GLONASS in determining support vertices. The static relative survey was applied in order to establish the boundary points of the area, and some processing strategies were taken: use of each control point independently at a time in data processing; use of two control points simultaneously in the data processing; finally, use of L1 and L1/L2 frequencies according to different gathering of survey data.

Keywords: Geo-referencing; Rural Properties; GNSS.

1. INTRODUÇÃO

O GNSS (*Global Navigation Satellite System*) é um conjunto de sistemas baseados em satélites que proporcionam diversas possibilidades em navegação e posicionamento. O GNSS é constituído pela integração entre o GPS (*Global Positioning System*), sistema norte americano; o GLONASS (*GLObalnaya NAvigatsionnaya Sputnikovaya Sistema*), de propriedade da Rússia, o europeu Galileo e o sistema chinês

Beidou/COMPASS. Além desses, fazem parte ainda o sistema GBAS (*Ground-based Augmentation System*) e SBAS (*Satellite-based augmentation systems*) (ROFATTO, 2014).

Dentro desse contexto, o georreferenciamento de imóveis rurais tem, nos últimos anos, acarretado um aumento significativo na demanda por trabalhos que envolvem o posicionamento pelo GNSS no Brasil. Isso se deve substancialmente à publicação, em 28 de agosto de 2001, da Lei nº 10.267/01. É um requisito indispensável à certificação do imóvel e condição *sine qua non* a realização de qualquer ato de compra e venda, cessão, doação, desmembramento, remembramento ou inventário. Analisar as peças técnicas de um georreferenciamento é atualmente uma obrigação compartilhada entre o INCRA e os cartórios (INCRA, 2015).

Aqui, consideramos que a determinação inequívoca e precisa das coordenadas dos vértices definidores dos limites dos imóveis rurais são obtidas por meio dos métodos de posicionamento por satélites, tais como o método PPP (Posicionamento por Ponto Preciso), diferencial e o Relativo. Com o objetivo de avaliar os efeitos da combinação dos dados GPS/GLONASS e das frequências L1/L2 foram realizados processamentos com diferentes configurações de sistemas de satélites e tempo de coleta, visando à determinação das coordenadas dos pontos de apoio básico e dos pontos limítrofes.

2. ASPECTOS TÉCNICOS DO GEORREFERENCIAMENTO DE IMÓVEIS RURAIS

O Georreferenciamento é uma exigência legal trazida pela Lei n° 10.267/2001 e consiste na descrição do limite do imóvel por meio de coordenadas georreferenciadas ao Sistema Geodésico Brasileiro (SGB). A Norma Técnica para Georreferenciamento de Imóveis Rurais (NTGIR) padroniza todos os levantamentos realizados para certificação no INCRA.

A 2ª edição da NTGIR, por exemplo, expandiu e atualizou os métodos de levantamento, possibilitando maior celeridade no trabalho de campo e definiu diferentes precisões no levantamento de acordo com as condições *in loco.* A 2ª edição trouxe ainda novidades como, por exemplo, novas classes de vértices, novos tipos de vértices (Tabela 1) e autorização para medição de vértices inacessíveis.

TABELA 1. Classificação de tipos de vértice quanto à materialização

Tipo	Materialização
M	Vértice materializado, medido e codificado em campo.
P	Vértice medido e não materializado.
V	Vértice determinado indiretamente e não materializado
O	Vértice paralelo a eixo medido e não materializado

A atual NTGIR (3ª edição) traz como novidade dois Manuais Técnicos: Manual Técnico de Limites e Confrontações e o Manual Técnico de Posicionamento. O primeiro especifica como e o que deve ser levantado na propriedade, já o segundo explica quais os métodos de posicionamento GNSS podem ser utilizados ao levantar uma propriedade.

Dentre as principais mudanças entre a 2ª e a 3ª edição da Norma Técnica, destaca-se a precisão para limites naturais que passam para 3 m e os vértices inacessíveis podem ter vértices virtuais com precisão de 7,5 m. A utilização de pontos obtidos por sensoriamento remoto é uma novidade da nova edição da NTGIR. Torna-se possível a utilização de imagem de satélite georreferenciada para obtenção de coordenadas de vértices do tipo V. Agora, o georreferenciamento pode ser realizado referente a cada matrícula do imóvel, enquanto que na segunda norma se o imóvel era composto por mais de uma matrícula, era necessário realizar a unificação dessas matrículas e georreferenciar o imóvel rural todo.

E por último, a principal mudança da NTGIR é a utilização do Sistema de Gestão Fundiária (SIGEF). O SIGEF trouxe diversas vantagens para o processo de certificação, além da praticidade e eficiência, o sistema eliminou uma série de documentos que antes eram exigidos e atualmente foram dispensados para a certificação, como por exemplo, a planilha de dados cartográficos, a planilha técnica resumida, lista de pontos no formato *ascii*, dados brutos dos receptores GNSS e da estação total e dados em rinex do levantamento GNSS, relatório de processamento dos dados, relatório técnico, planta do perímetro no formato *dxf*, memorial descritivo do perímetro, cópias de matrículas do imóvel, cópias de documentos pessoais do proprietário, cópia de CCIR, requerimento para certificação e CD com todos os arquivos do projeto. Todos os arquivos do projeto são de total responsabilidade do profissional responsável pela execução do georreferenciamento.

No SIGEF, basta preencher uma planilha no formato ods, com os dados de cada matricula e do georreferenciamento e submeter juntamente com a ART (Anotação de Responsabilidade Técnica) ao sistema.

O processo de certificação dos imóveis rurais está previsto no § 1° do art. 9° do decreto 4.449/2002:

> "Caberá ao INCRA certificar que a poligonal objeto do memorial descritivo não se sobrepõe a nenhuma outra constante de seu cadastro georreferenciado e que o memorial atende às exigências técnicas, conforme ato normativo próprio".

3. MÉTODOS DE LEVANTAMENTO APLICADOS AO GEORREFERENCIAMENTO DE IMÓVEIS RURAIS

O Manual Técnico de Posicionamento, apresentado na 3ª edição da NTGIR, traz as diferentes técnicas e método de posicionamento via os sistemas GNSS que podem ser aplicados no georreferenciamento de imóveis. É permitido ainda posicionamentos por topografia (poligonação, triangulação, trilateração, triangulateração, irradiação, interseção linear e angular, alinhamento), posicionamento por geometria analítica (paralela e interseção de retas), sensoriamento remoto e base cartográfica. Entre os métodos citados, nesse trabalho utilizamos os métodos baseados nos sistemas GNSS, em especial o GPS e GLONASS.

3.1 POSICIONAMENTO POR PONTO PRECISO

Um dos métodos atuais mais precisos para posicionamento é o uso de receptores GNSS, nos quais a posição é determinada por meio do rastreio de sinais de satélites artificiais (HOFMANN-WELLENHOF et al., 2001). Dentre as diversas técnicas de posicionamento com GNSS, o Posicionamento por Ponto Preciso (PPP) usa apenas um receptor, com efemérides precisas e correções dos relógios dos satélites. (MONICO, 2008; ROFATTO, 2014; KLEIN, MATSUOKA E SOUZA, 2010).

Devido aos serviços on-line de processamento, muitos deles disponibilizados de forma gratuita, atualmente o PPP é um método de

posicionamento de amplo uso. Entre os serviços oferecidos, tem-se o IBGE-PPP (IBGE, 2009), do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Para realizar o processamento o usuário envia seus arquivos contendo as observações GNSS (pseudodistância e fase), e o próprio serviço processa os dados (MATOSUOKA *et al*., 2009). A partir de então, as coordenadas são obtidas em um referencial geodésico, bem como outras informações técnicas que propiciam a análise do PPP realizado.

Para receptores de dupla frequência, normalmente emprega-se uma combinação linear livre dos efeitos da Ionosfera (*ion-free*), e, para receptores de simples frequência, deve-se minimizar estes efeitos com emprego de algum modelo da Ionosfera disponível (HOFMANN-WELLENHOF *et al*., 2001). Segundo Leick (2004), o modelo matemático do PPP para receptores de dupla frequência, com uso da observável GPS *ion-free* (para a fase) é dado por:

$$\varphi^s_{r\,IF} = \frac{f_1}{c}\rho^s_r + f_1(dt_r - dt^s) + N_{IF} + T^s_{r_0} + dT_z m(E) + e^s_r \qquad (1)$$

Na Eq. 1, $\varphi^s_{r\,IF}$ é fase obtida da combinação linear *ion-free*; ρ^s_r distancia geométrica entre o centro de fase da antena do satélite e do receptor; dt_r é o erro do relógio do receptor; dt^sé o erro do relógio do satélite; N_{IF} é a ambiguidade da observável *ion-free*; $T^s_{r_0}$ atraso troposférico aproximado dada por algum modelo disponível; dT_z é o atraso zenital troposférico residual a ser estimado no modelo; $m(E)$ é a função de mapeamento em função do angulo de elevação E do satélite; c é a velocidade da luz no vácuo; f_1 frequência da observável *ion-free* (comprimento e onda igual a da portadora L1); e e^s_r são os erros não modelados ou não totalmente eliminados assumidos como de natureza aleatória no modelo.

3.2 POSICIONAMENTO RELATIVO

O posicionamento relativo consiste na utilização de receptores de simples frequência (L1) e/ou dupla frequência (L1/L2), onde dois ou mais receptores rastreiam, simultaneamente, os satélites visíveis. Em locais com linha de base de até 10 km e sem obstrução de sinal, vinte minutos de rastreio são suficientes para solucionar problemas com a

ambiguidade nos receptores de simples frequência. Já no caso de linhas de base maior que 10 km, é necessário a utilização de receptores de dupla frequência (MONICO, 2008). No entanto, isso não é totalmente correto devido os erros ionosféricos sofrerem alterações em função das variações do Conteúdo Total de Elétrons (*TEC – Total Electron Content*), (MATSUOKA, 2007).

O método de posicionamento relativo baseia-se na realização de combinações lineares das observáveis de duas estações. A ideia fundamental é que dois receptores estejam rastreando simultaneamente os mesmos satélites. Assim, diversos tipos de erros são praticamente eliminados, como por exemplo, o erro do relógio do satélite, os erros devido à órbita do satélite, os erros dos relógios dos receptores e os efeitos da ionosfera e troposfera. Os erros não modelados ou não totalmente eliminados são assumidos como de natureza aleatória, fazendo parte do resíduo da observação em questão.

A observável normalmente adotada no posicionamento relativo é a dupla diferença da fase de batimento da onda portadora, podendo também ser utilizado a dupla diferença da pseudodistância ou ambas (MONICO, 2008). A equação da dupla diferença da pseudodistância ($\Delta\nabla PD_{p,k}^{i,j}$) envolvendo i e j satélites para p e k receptores pode ser expressa por (MONICO, 2008):

$$\Delta\nabla PD_{p,k}^{i,j} = \rho_p^i - \rho_k^i - \rho_p^j + \rho_k^j + e_{\Delta\nabla PD_{p,k}^{i,j}} \qquad (2)$$

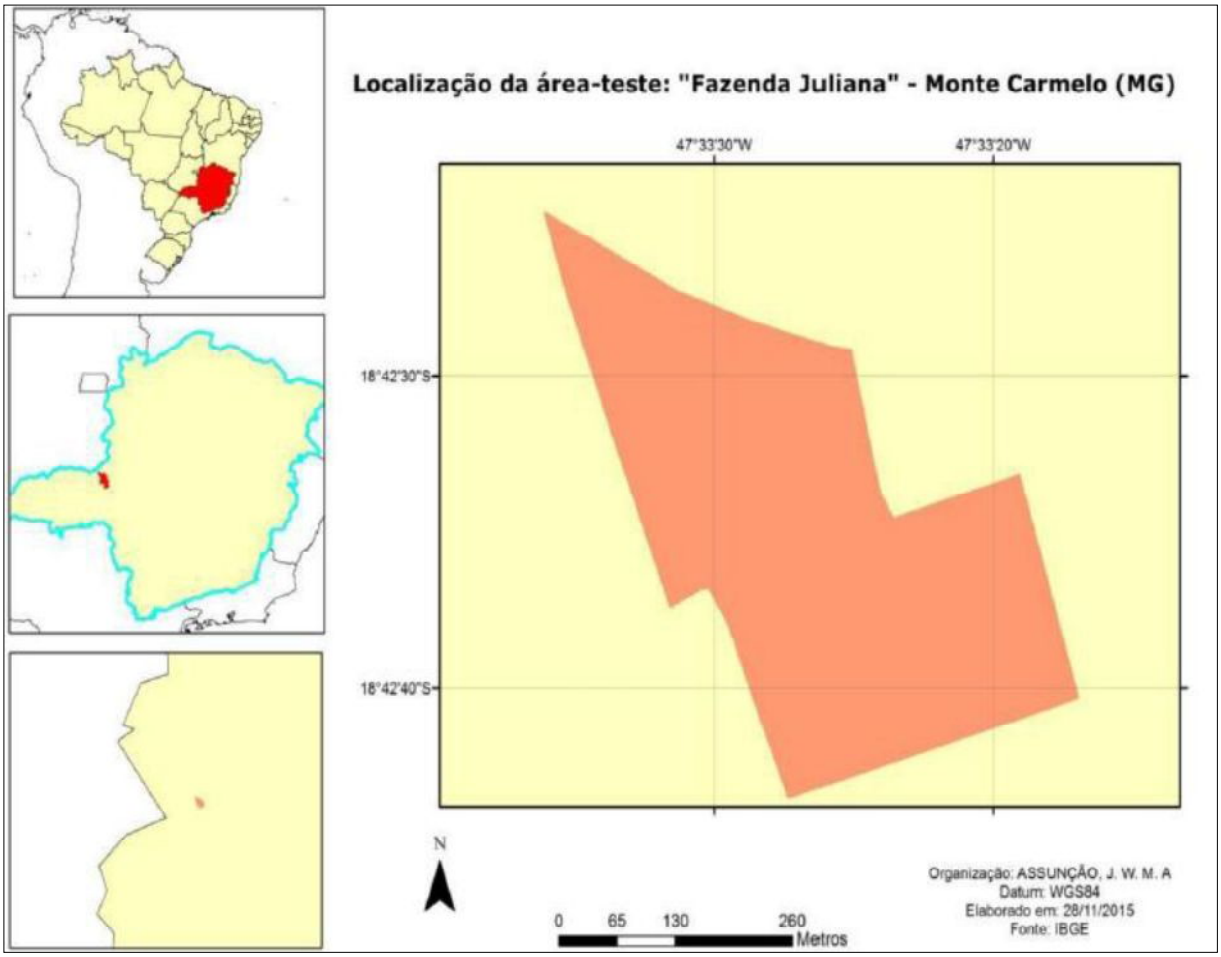
onde $\rho_p^i, \rho_k^i, \rho_p^j \; e \; \rho_k^j$ são as distâncias geométricas entre o centro de fase da antena dos satélites (i e j) e dos receptores (p e k), respectivamente.

Similar ao posicionamento relativo estático, o posicionamento relativo estático rápido se diferencia do anterior somente pela quantidade de tempo de ocupação que deve ser menor que 20 minutos. Utilizado quando se deseja obter alta produtividade e quando o afastamento entre o receptor base e o móvel não ultrapassa 10 km (MONICO, 2008).

4. MATERIAL E MÉTODOS

Este estudo foi realizado em uma área situada no interior da "Fazenda Juliana", no município de Monte Carmelo, (MG), próximo às coordenadas 18°42'28,9"S 47°33'27,0"W (WGS84) (Figura 1).

FIGURA 1. Localização da área de estudo. Fonte: Autor (2017).



A área utilizada possui aproximadamente 14,2 ha, de um total de aproximadamente 390 ha. O imóvel está situado em uma região plana, demarcado por cercas de arame, vegetação densa e vem sendo cultivada com cafeeiro arábica nos últimos anos.

Os dados foram coletados nos dias 21, 22 e 23 de julho de 2015. Para os levantamentos foram utilizados três receptores: 1 Promark 500 com precisão horizontal de ±(5 mm + 0,5 ppm) e precisão vertical de ±(10 mm

+ 0,5 ppm); e 2 Topcon Hipper V com precisão horizontal de ±(3 mm + 0,5 ppm) e vertical de ±(5 mm + 0,5 ppm).

4.1 PLANEJAMENTO E LEVANTAMENTO DE CAMPO

O levantamento dos vértices de limite da área teste ocorreu nos dias 21, 22 e 23 de julho de 2015 (dias do ano: 202, 203 e 204). Os locais mais adequados para a implantação dos pontos de apoio foram escolhidos de forma que ficassem protegidos do manejo realizado na propriedade. Foram implantados dois pontos de apoio, denominados por Apoio 1 e Apoio 2 (ver Figura 2).

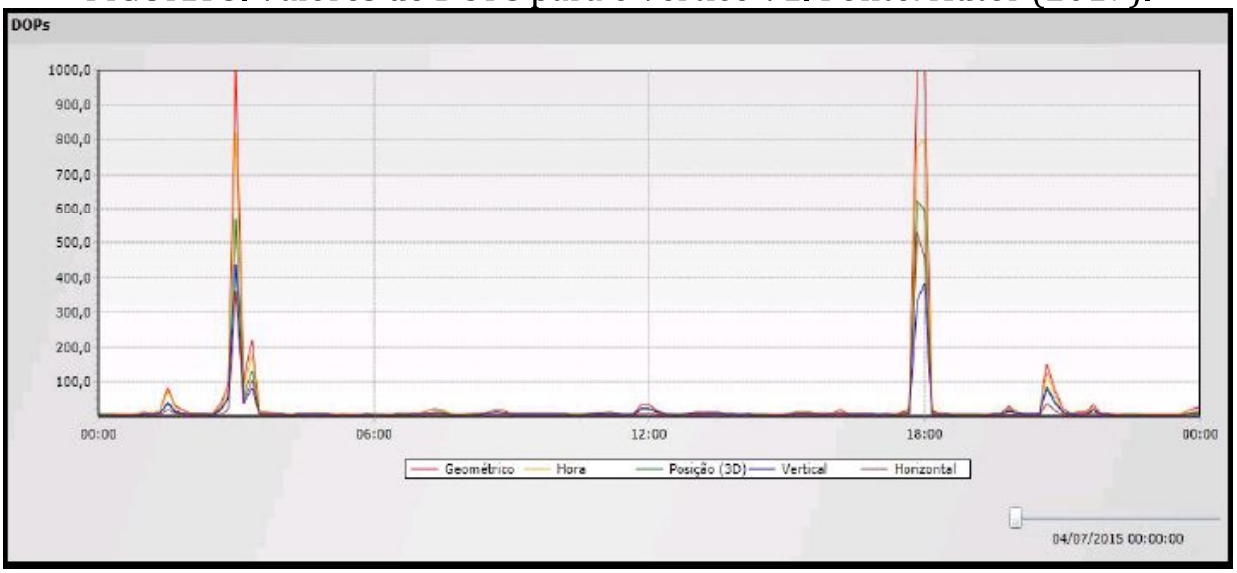
FIGURA 2. Planejamento de distribuição dos vértices. Fonte: Autor (2017).



Depois de efetuar o reconhecimento da área e ter as informações sobre as possíveis obstruções dos sinais GNSS, definiu-se a melhor data e horário para realizar o levantamento com o auxílio do *software GNSS Planning Online*. Escolheu-se o vértice V1 (representado na Figura 3) para ao planejamento, pois este apresentou maior obstrução de sinal e, portanto, o pior cenário entre os vértices. A Figura 3 traz os valores de DOPs (*Dilution of Precision*) para o vértice V1. Um fator que exerce influência importante na qualidade do posicionamento é a geometria dos

satélites, dada pelo fator DOP. Quanto menor o valor do DOP, melhor a precisão esperada no posicionamento. De acordo com a Figura 4, o melhor horário para realizar o levantamento está compreendido entre 09 e 17 horas (local) devido à quantidade de satélites disponíveis. Nota-se também que em dois momentos principais (03 e 18 horas locais) os valores de DOPs são altos, ou seja, dependendo do método de posicionamento empregado (por exemplo, Stop&GO), para esse período não se recomenda realizar o levantamento.

FIGURA 3. Valores de DOPs para o vértice V1. Fonte: Autor (2017).

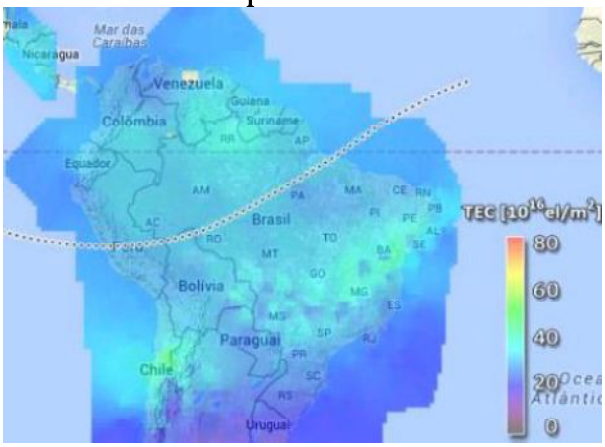


Outro fator importante a ser analisado é o Conteúdo Total de Elétrons (TEC). Ao atravessar a atmosfera terrestre, o sinal sofre desvio devido à refração ionosférica, causado principalmente pelo TEC. O comportamento do TEC depende sobremaneira do horário do dia e das atividades solares. A Figura 4 mostra o comportamento da ionosfera no dia do levantamento, por volta das 15 e 16 horas, horário em que apresentou maior valor de TEC.

Quanto maior o valor do TEC, maior a influência no posicionamento GNSS. Nota-se que o Conteúdo Total de Elétrons é intenso sobre o estado de Minas Gerais, pois o levantamento foi realizado em uma época de alta atividade solar. Portanto, espera-se maior impacto no posicionamento por ponto de usuários de receptores de simples frequência. Nota-se que, apesar do elevado valor de TEC na região de Minas Gerais, a sua

distribuição espacial é homogênea. Portanto, neste caso, espera-se que no posicionamento relativo para receptores de simples frequência o erro ionosférico seja, praticamente, eliminado.

FIGURA 4. Valores de TEC para o Brasil. Fonte: INPE (2015).



O levantamento dos vértices de limite seguiu a trajetória descrita pelos limites da área-teste. Adotou-se todos os vértices como sendo do tipo M (marco), apesar de a norma facultar sua utilização em caso de limites consolidados, algo que acontece ao longo de algumas confrontações da área. Por se tratar de uma simulação, adotou-se como artificial a caracterização de todos os limites.

O marco geodésico utilizado é confeccionado em material sintético, com formato de tronco piramidal e com dimensões de 8 cm na base menor, 12 cm na base maior e comprimento de 60 cm, pesando 6 kg. Á implantação dos marcos sobre os vértices de limite foi realizada com o auxílio de materiais de perfuração. Procurou-se manter um mínimo aproximado de 10 cm do corpo do marco não enterrados.

O tempo de rastreio por vértice foi de 30 minutos, com o receptor operando sempre em modo estático (sendo desligado durante o deslocamento de um vértice a outro). Para rastreio dos vértices, foi utilizado um receptor Ashtech, modelo Promark 500, com antena ASH802129, dupla frequência, precisão horizontal estática de ±(5 mm + 0,5 ppm) no pós-processado. A denominação dos vértices buscou simular ao registro de um profissional junto ao INCRA, e fez a seguinte consideração: o nome do vértice foi dado por CBDA-M-00XX, sendo XX substituído pelo número equivalente ao vértice em questão.

4.2 DETERMINAÇÃO DAS COORDENADAS DOS VÉRTICES DE APOIO

O primeiro experimento consistiu no processamento dos vértices de apoio com observações GPS e GPS/GLONASS para dois métodos de posicionamento: relativo estático e PPP. No relativo utilizou-se as estações MGUB localizada em Uberlândia/MG e a MGRP localizada em Rio Paranaíba/MG, pertencentes à RBMC. Os descritivos dessas estações estão disponíveis no site do IBGE/RBMC.

No segundo experimento, foram realizados processamentos com diferentes tempos de rastreio por meio do PPP e considerando simples e dupla frequência. O PPP foi realizado através do serviço *online* disponibilizado pelo IBGE. A (Tabela 2) mostra as estratégias de processamento.

TABELA 2. Estratégias de processamento dos experimentos 1 e 2

Experimento	Sistema de Posicionamento	Tempo de Coleta	Frequência	Método
Experimento 1	GPS	Tabela 5.	L1/L2	Relativo
	GPS	Tabela 5.	L1/L2	PPP
	GPS/GLONASS	Tabela 5.	L1/L2	Relativo
	GPS/GLONASS	Tabela 5.	L1/L2	PPP
Experimento 2	GPS/GLONASS	10 min	L1/L2 e L1	PPP
	GPS/GLONASS	30 min	L1/L2 e L1	PPP
	GPS/GLONASS	1 hora	L1/L2 e L1	PPP
	GPS/GLONASS	2 horas	L1/L2 e L1	PPP
	GPS/GLONASS	3 horas	L1/L2 e L1	PPP
	GPS/GLONASS	6 horas	L1/L2 e L1	PPP

4.3 DETERMINAÇÃO DOS PONTOS LIMÍTROFES

No processamento dos dados dos pontos limítrofes também foram adotadas diferentes estratégias de processamento. Para essa análise, as coordenadas dos vértices limites também foram obtidas considerando apenas um ponto de controle (injunção mínima). No quarto experimento, foram geradas diferentes sessões de coleta de dados por meio do *software TEQC*, e tais sessões foram processadas levando em consideração receptores de simples frequência e dupla frequência. A Tabela 3 apresenta as estratégias adotadas para os experimentos 3 e 4.

TABELA 3. Estratégias de processamento dos experimentos 3 e 4

Experimento	Sistema de Posicionamento	Tempo de Coleta	Frequência	Método
Experimento 3	GPS/GLONASS	30 min	L1/L2	Relativo
Experimento 4	GPS/GLONASS	5 min	L1/L2 e L1	Relativo
	GPS/GLONASS	10 min	L1/L2 e L1	Relativo
	GPS/GLONASS	20 min	L1/L2 e L1	Relativo
	GPS/GLONASS	30 min	L1/L2 e L1	Relativo

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 EXPERIMENTO 1: ANÁLISE DA INTEGRAÇÃO GPS/GLONASS

Neste primeiro experimento realizou-se o processamento utilizando dados GPS e GPS/GLONASS, tanto para o método de posicionamento relativo estático, quanto para o método PPP. O tempo de coleta para os vértices de apoio é exibido na Tabela 4. É importante ressaltar que os arquivos de processamento de dados não foram unificados, ou seja, para cada dia de levantamento existe um ou dois arquivos RINEX referente a cada vértice.

TABELA 4. Tempo de coleta nos vértices de apoio

VÉRTICE	DATA	DURAÇÃO
BASE 1	21/07/2015	01:32:35
BASE 2	21/07/2015	01:57:35
BASE 1	22/07/2015	03:46:30
BASE 2	22/07/2015	02:21:45
BASE 1	22/07/2015	03:50:55
BASE 2	22/07/2015	05:10:40
BASE 1	23/07/2015	02:10:00
BASE 2	23/07/2015	04:43:45
BASE 1	23/07/2015	02:00:50

A 3ª edição da NTGIR não especifica a precisão posicional que os vértices de apoio devem atingir, isso só é relatado na 2ª edição que não está mais em vigor. Mas, apesar disso, levando em consideração a última exigência feita sobre este assunto pelo INCRA, é possível notar na Tabela

5 que os desvios padrão alcançados estão compatíveis com o que é exigido na 2ª NTGIR.

TABELA 5. Coordenadas planas UTM em SIRGAS2000, MC=-45º, dos vértices de apoio com probabilidade de 2σ

PONTOS DE APOIO	E (m)	N (m)	h (m)	σE (m)	σN (m)	σp (m)	σh (m)
GPS/GLONASS							
RELATIVO ESTÁTICO							
BASE 1	230.164,475	7.929.412,073	876,470	0,009	0,008	0,012	0,047
BASE 2	230.376,920	7.929.374,327	880,875	0,008	0,006	0,010	0,033
PPP							
BASE 1	230.164,470	7.929.412,108	876,590	0,003	0,001	0,003	0,006
BASE 2	230.376,917	7.929.374,360	881,080	0,019	0,013	0,023	0,051
					EMQ	0,028	
GPS							
RELATIVO ESTÁTICO							
BASE 1	230.164,476	7.929.412,070	876,482	0,006	0,006	0,008	0,034
BASE 2	230.376,917	7.929.374,327	880,892	0,007	0,007	0,010	0,040
PPP							
BASE 1	230.164,461	7.929.412,099	876,440	0,012	0,004	0,013	0,015
BASE 2	230.376,908	7.929.374,363	880,940	0,019	0,013	0,023	0,051
					EMQ	0,029	

Segundo a 2ª Norma Técnica, os vértices de apoio devem apresentar precisão posicional menor ou igual a 10 cm. Neste caso, ambas as bases alcançaram tal precisão, tanto nos resultados advindos do método de posicionamento relativo estático quanto no PPP, considerando observações GPS e GPS/GLONASS.

Diante do contexto apresentado, é possível notar que o resultado mais satisfatório para o vértice de apoio BASE 1 foi obtido através do PPP com observações GPS/GLONASS, já para a BASE 2, o posicionamento relativo estático também com observações GPS/GLONASS. Essas coordenadas foram utilizadas no ajustamento dos vértices limítrofes do imóvel.

Outro aspecto que merece atenção é a utilização de dados GPS/GLONASS, os quais fornecem melhor geometria de constelação para estimativa dos parâmetros, além de proporcionar maior redundância para o ajustamento, o que gera maior confiabilidade dos resultados, como pode-se observar pelo EMQ na Tabela 5.

Na Tabela 6 é apresentada a melhoria obtida entre observações GPS e GPS/GLONASS. No método de posicionamento relativo estático as precisões pioraram ao se utilizar observações GLONASS na BASE 1, já na BASE 2 pioraram na coordenada E e melhoraram na coordenada N e h. No PPP houve uma melhoria em todas as coordenadas do vértice BASE 1 utilizando o método combinado. No vértice BASE 2 não houve alterações.

TABELA 6. Melhoria obtida com observações GLONASS

RELATIVO ESTÁTICO				**PPP**			
PONTO DE APOIO	**MELHORIA (%)**			**PONTO DE APOIO**	**MELHORIA (%)**		
	E	**N**	**h**		**E**	**N**	**h**
BASE 1	-33,33	-25,00	27,65	**BASE 1**	66,66	50,00	62,50
BASE 2	-12,50	14,28	17,50	**BASE 2**	0,00	0,00	0,00

A Tabela 7 mostra a discrepância entre as coordenadas encontradas por meio do PPP e do método de posicionamento relativo estático. A componente altimétrica foi quem apresentou diferença maior no processamento com observações GPS na BASE 2, podendo concluir que a geometria dos satélites no dia do levantamento estava desfavorável para a determinação desta coordenada.

TABELA 7. Discrepância das coordenadas

Discrepância (m)					
PONTO DE APOIO	**SISTEMA DE POSICIONAMENTO**	**ΔE**	**ΔN**	**ΔD**	**Δh**
BASE 1	GPS/GLONASS	0,002	0,035	0,035	0,120
	GPS	0,015	0,029	0,033	0,042
BASE 2	GPS/GLONASS	0,009	0,036	0,037	0,048
	GPS	0,003	0,033	0,033	0,205

5.2 EXPERIMENTO 2: ANÁLISE DO PPP COM DIFERENTES TEMPOS DE RASTREIO

Nesta estratégia de processamento, os dados foram enviados ao PPP on-line do IBGE, que processa automaticamente os dados GPS/GLONASS, e os resultados são posteriormente enviados para o e-mail do usuário ou disponibilizados para download. O IBGE-PPP utiliza 2σ (α=0.05) de probabilidade na obtenção das coordenadas.

Foram enviados arquivos de 10 minutos, 30 minutos, 1, 2, 3 e 6 horas de rastreio, com simples e dupla frequência para o sistema on-line do IBGE para processamento no modo PPP. Nos casos em que os arquivos de observação contenham apenas a observável L1, o IBGE-PPP faz uso dos mapas de ionosfera denominados IONEX (final e rápido) ou nos modelos de ionosfera enviados através das órbitas transmitidas (BRDC).

As coordenadas definidas em ITRF, assim como em qualquer outro sistema de referência de concepção global, mudam com o tempo devido ao deslocamento das placas e possivelmente a movimentos intraplaca, e é por esta razão que as coordenadas são referidas a uma época específica de tempo.

Nesta etapa de processamento os dados foram comparados com o melhor resultado encontrado na análise anterior. O resultado mais satisfatório para o vértice BASE 1 foi através do PPP com observações GPS/GLONASS, já para a BASE 2, foi o método relativo estático também com observações GPS/GLONASS. Suas coordenadas planas UTM em SIRGAS2000, MC=-45º e precisões são exibidas na Tabela 8.

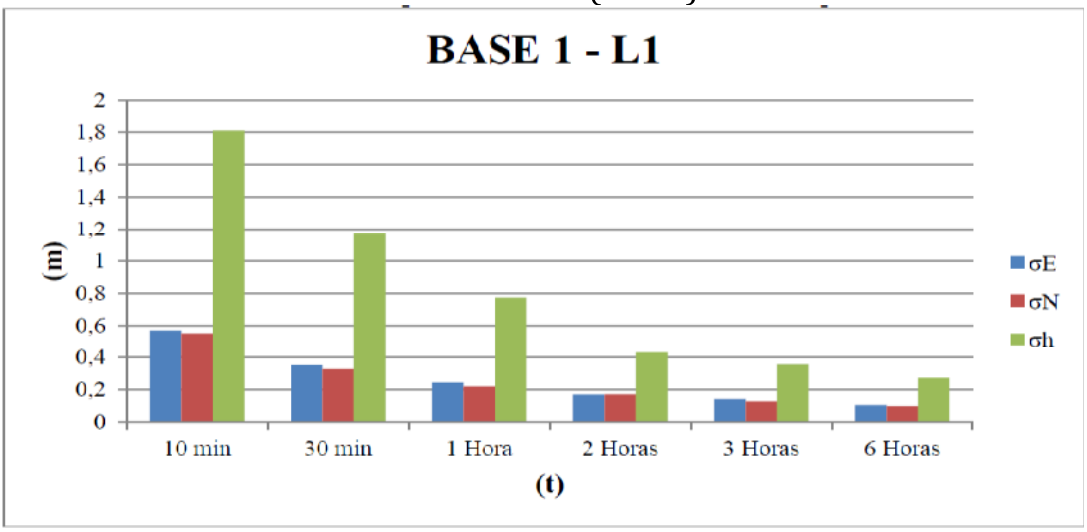
TABELA 8. Melhor resultado da análise anterior

Melhor Resultado - 2σ de probabilidade						
PONTOS DE APOIO	**E (m)**	**N (m)**	**h (m)**	**σE (m)**	**σN (m)**	**σh (m)**
BASE 1	230.164,470	7.929.412,108	876,590	0,002	0,001	0,003
BASE 2	230.376,920	7.929.374,327	880,875	0,008	0,006	0,033

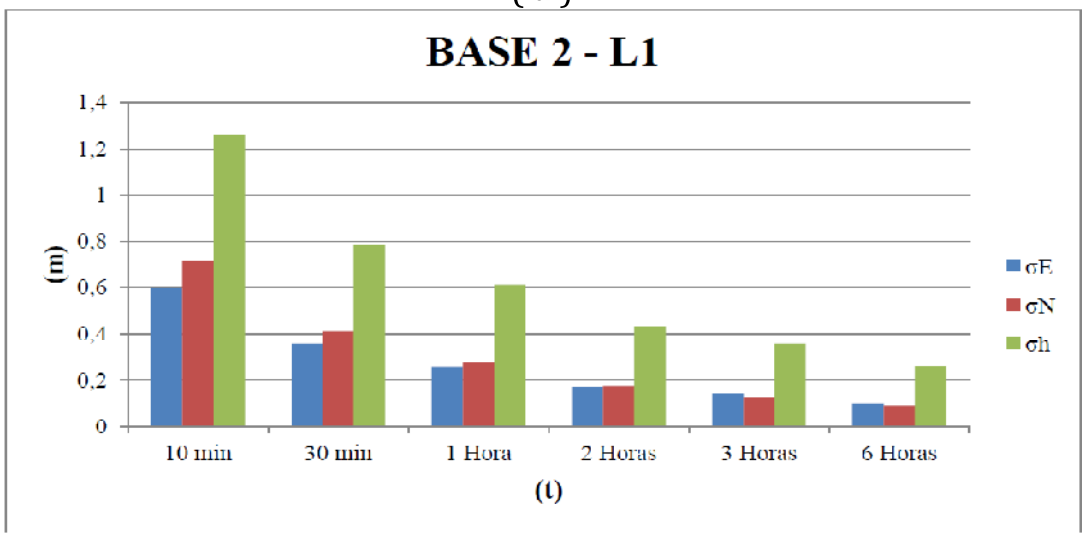
As Figuras 5a e 5b mostram, respectivamente, as precisões encontradas para o vértice BASE 1 e BASE 2 no PPP para diferentes

sessões de observação: 10 minutos, 30 minutos, 1 hora, 2 horas, 3 horas e 6 horas, com observável L1. Nota-se que conforme o tempo de coleta aumenta, o desvio padrão diminui, ou seja, a precisão tende a melhorar. A componente altimétrica apresenta desvio padrão maior em todas as sessões de observação, pois a determinação da altimetria sempre foi um problema, devido à geometria dos satélites que não é favorável para a determinação desta coordenada.

FIGURA 5. Desvio padrão da BASE 1 (a) e BASE 2 (b) no PPP com frequência L1. Fonte: Autor (2017).



(a)



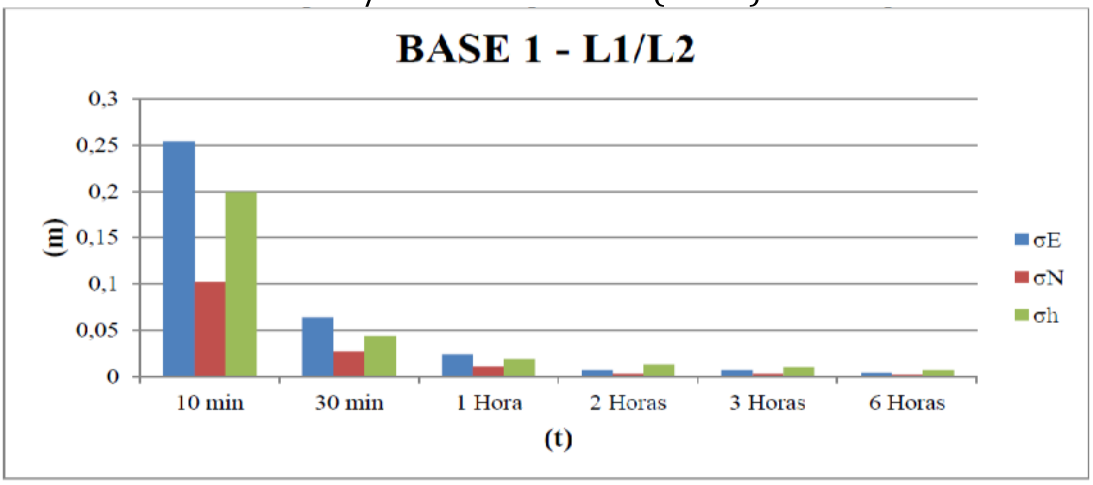
(b)

A 3ª edição da NTGIR não informa a precisão que deve ser alcançada nos vértices de apoio, isso só é relatado na 2ª edição, a qual diz que a

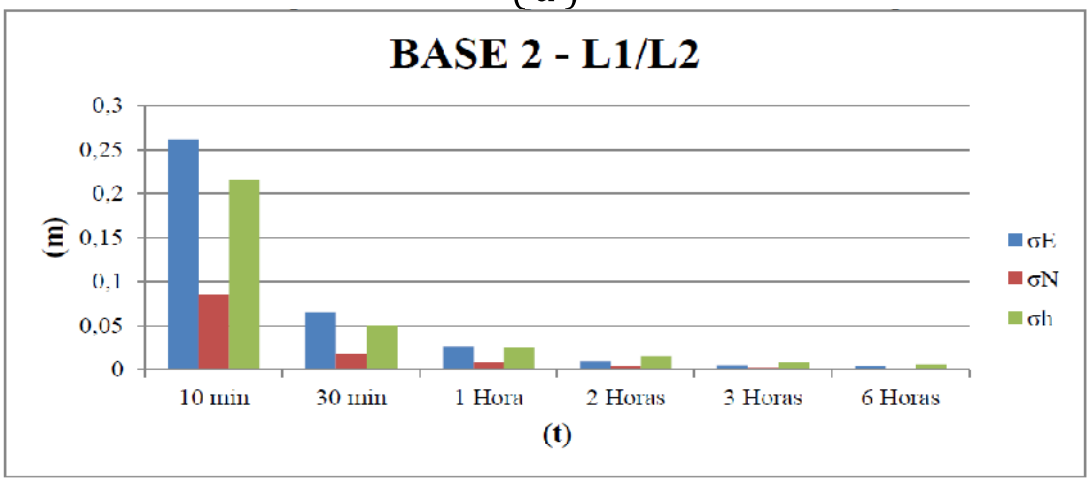
precisão para vértices de apoio deve ser de até 10 cm. Contudo, somente a coordenada planimétrica N com 6 horas de coleta de dados apresentou precisão melhor que 10 centímetros.

As Figuras 6ª e 6b exibem o desvio padrão encontrado para o vértice de apoio BASE 1 e BASE 2, respectivamente, por meio do PPP com frequência L1/L2 com diversos tempos de coleta de dados: 10 minutos, 30 minutos, 1 hora, 2 horas, 3 horas e 6 horas. Pode-se observar que conforme o tempo de coleta aumenta, o desvio padrão diminui, ou seja, a precisão tende a melhorar.

FIGURA 6. Desvio padrão da BASE 1 (a) e BASE 2 (b) no PPP com frequência L1/L2. Fonte: Autor (2017).



(a)



(b)

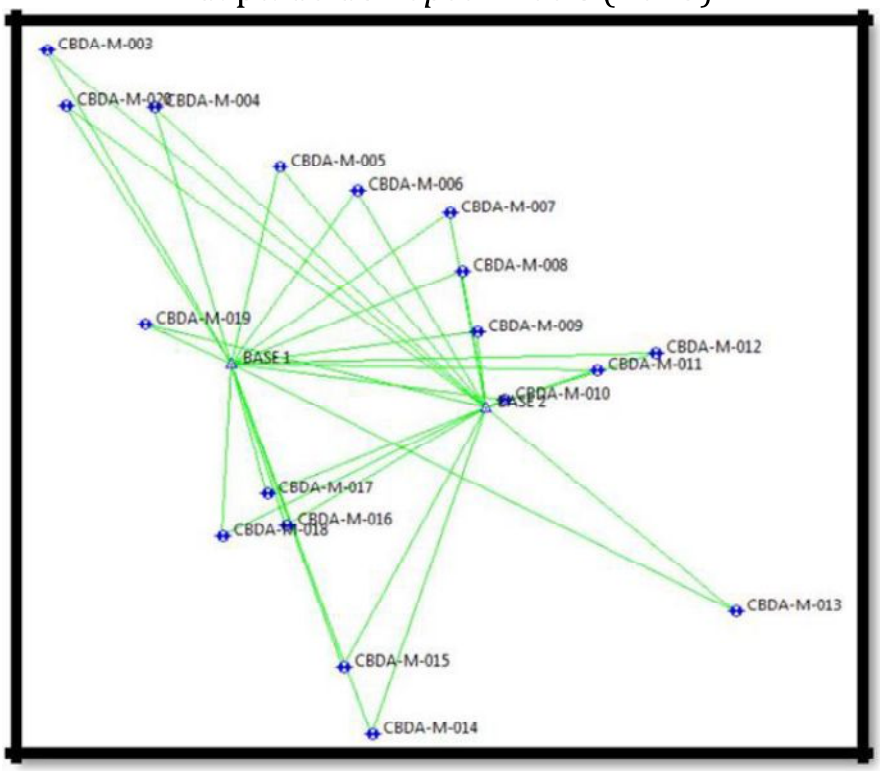
A coordenada E apresentou pior desvio padrão até a coleta de 1 hora. A partir de 2 horas, a componente altimétrica assume a posição de maior desvio padrão. No PPP, o intervalo de tempo requerido para iniciar um

posicionamento com precisão decimétrica é de, geralmente 30 minutos, podendo tornar-se significativamente mais longo, antes da solução convergir para um posicionamento com precisão centimétrica.

5.3 EXPERIMENTO 3: ANÁLISE DAS COORDENADAS DOS PONTOS LIMÍTROFES OBTIDAS A PARTIR DE DOIS VÉRTICES DE APOIO

As coordenadas dos vértices do perímetro foram obtidas levando em consideração os dois vértices de apoio. Primeiramente foram processados em relação ao vértice BASE 1 e posteriormente a BASE 2 (Figura 7). Os vértices limítrofes foram levantados durante os dias 21, 22 e 23 de julho de 2015 com um tempo de coleta de dados de 30 minutos em cada vértice. Todas as coordenadas foram processadas com 2σ de probabilidade.

FIGURA 7. Linhas base processadas em relação a dois vértices de apoio. Fonte: Adaptado de *Topcon Tools* (2015).



A Tabela 9 exibe as coordenadas dos vértices do perímetro e seus respectivos desvios padrão alcançados quando processados em relação aos vértices de apoio BASE 1 e BASE 2.

TABELA 9. Coordenadas planas UTM em SIRGAS2000, MC=-45º, dos vértices de limite a partir dos vértices de apoio BASE 1 e BASE 2.

	BASE 1 E BASE 2 - 2σ de probabilidade						
VÉRTICES LIMÍTROFES	**E (m)**	**N (m)**	**h (m)**	**σE(m)**	**σN(m)**	**σp(m)**	**σh (m)**
CBDA-M-003	230.009,364	7.929.681,879	881,605	0,017	0,027	0,032	0,071
CBDA-M-004	230.099,202	7.929.632,741	883,009	0,003	0,003	0,004	0,007
CBDA-M-005	230.203,784	7.929.580,696	883,197	0,002	0,002	0,003	0,006
CBDA-M-006	230.268,998	7.929.560,490	883,214	0,003	0,002	0,004	0,011
CBDA-M-007	230.346,350	7.929.541,621	883,584	0,004	0,007	0,008	0,014
CBDA-M-008	230.357,162	7.929.491,631	882,536	0,005	0,006	0,008	0,032
CBDA-M-009	230.369,493	7.929.439,083	881,903	0,014	0,016	0,021	0,058
CBDA-M-010	230.392,394	7.929.380,476	881,598	0,003	0,003	0,004	0,010
CBDA-M-011	230.469,420	7.929.406,440	884,206	0,018	0,010	0,021	0,037
CBDA-M-012	230.518,060	7.929.421,275	885,773	0,004	0,003	0,005	0,014
CBDA-M-013	230.585,199	7.929.198,800	883,310	0,005	0,009	0,010	0,020
CBDA-M-014	230.281,926	7.929.093,429	874,051	0,004	0,006	0,007	0,019
CBDA-M-015	230.257,979	7.929.150,970	873,909	0,005	0,005	0,007	0,019
CBDA-M-016	230.209,756	7.929.273,209	874,745	0,018	0,011	0,021	0,170
CBDA-M-017	230.193,782	7.929.300,522	873,547	0,031	0,032	0,045	0,115
CBDA-M-018	230.156,020	7.929.263,625	870,984	0,002	0,002	0,003	0,008
CBDA-M-019	230.092,037	7.929.445,524	876,969	0,002	0,003	0,004	0,009
CBDA-M-020	230.025,263	7.929.633,089	881,279	0,009	0,006	0,011	0,031

Verifica-se que os pontos apresentam desvios padrão da ordem de milímetros e centímetros. De acordo com a 3ª edição da NTGIR, os vértices do limite do imóvel devem apresentar precisão melhor ou igual a 0,5 m, portanto, esta estratégia de processamento de dados está dentro dos padrões exigidos para georreferenciamento de imóveis rurais. Analisando os vértices que apresentaram desvio padrão na ordem de centímetros, sendo eles, CBDA-M-003, CBDA-M-009, CBDA-M-011, CDBA-M-013, CBDA-M-016 e CBDA-M-017, CBDA-M-019 torna-se

importante esclarecer que estes são os vértices que sofreram maior obstrução de sinal. Além disso, tais pontos estão próximos à uma vegetação densa o que pode ser responsável pelo efeito de multicaminho do sinal.

A Tabela 10 aponta as coordenadas dos vértices do perímetro e seus respectivos desvios padrão alcançados quando processados em relação ao vértice de apoio BASE 1. O vértice CBDA-M-016 apresentou maior incerteza se comparado aos demais, pois este vértice sofreu grande obstrução de sinal devido a vegetação densa próxima ao local.

TABELA 10. Coordenadas planas UTM em SIRGAS2000, MC=-45º, dos vértices de limite a partir do vértice de apoio BASE 1

	BASE 1 - 2σ de probabilidade						
VÉRTICES LIMÍTROFES	**E (m)**	**N (m)**	**h (m)**	**σE(m)**	**σN(m)**	**σp(m)**	**σh (m)**
CBDA-M-003	230.009,348	7.929.681,896	881,588	0,028	0,032	0,043	0,099
CBDA-M-004	230.099,199	7.929.632,774	882,964	0,003	0,003	0,004	0,009
CBDA-M-005	230.203,776	7.929.580,725	883,161	0,002	0,002	0,003	0,005
CBDA-M-006	230.268,978	7.929.560,517	883,133	0,008	0,006	0,010	0,031
CBDA-M-007	230.346,338	7.929.541,642	883,488	0,007	0,007	0,010	0,018
CBDA-M-008	230.357,147	7.929.491,656	882,490	0,005	0,005	0,007	0,032
CBDA-M-009	230.369,490	7.929.439,133	881,893	0,014	0,017	0,022	0,071
CBDA-M-010	230.392,385	7.929.380,510	881,514	0,006	0,006	0,008	0,011
CBDA-M-011	230.469,413	7.929.406,460	884,200	0,011	0,008	0,014	0,036
CBDA-M-012	230.518,049	7.929.421,307	885,741	0,003	0,002	0,004	0,008
CBDA-M-013	230.585,190	7.929.198,830	883,288	0,006	0,009	0,011	0,022
CBDA-M-014	230.281,923	7.929.093,453	874,022	0,003	0,005	0,006	0,012
CBDA-M-015	230.258,015	7.929.151,008	873,612	0,025	0,010	0,027	0,047
CBDA-M-016	230.209,368	7.929.273,881	872,196	0,277	0,324	0,426	1,419
CBDA-M-017	230.193,772	7.929.300,534	873,537	0,009	0,009	0,013	0,021
CBDA-M-018	230.156,004	7.929.263,656	870,937	0,003	0,002	0,004	0,014
CBDA-M-019	230.092,020	7.929.445,555	876,938	0,002	0,002	0,003	0,006
CBDA-M-020	230.025,248	7.929.633,111	881,191	0,012	0,008	0,014	0,042

As precisões horizontais alcançadas em todos os vértices são menores que os 0,5m exigidos pelo INCRA.

A Tabela 11 mostra as coordenadas dos vértices do perímetro e as respectivas incertezas (desvios-padrão) obtidas em relação ao vértice de

apoio BASE 2. O vértice CBDA-M-016 novamente apresentou pior precisão devido à possível ocorrência de obstrução de sinal. Mais uma vez a componente altimétrica apresentou pior desvio padrão em relação às coordenadas planimétricas.

TABELA 11. Coordenadas planas UTM em SIRGAS2000, MC=-45º, dos vértices de limite a partir do vértice de apoio BASE 2

	BASE 2 - 2σ de probabilidade						
VÉRTICES LIMÍTROFES	**E (m)**	**N (m)**	**h (m)**	**σE(m)**	**σN(m)**	**σp(m)**	**σh (m)**
CBDA-M-003	230.009,351	7.929.681,860	881,432	0,022	0,027	0,035	0,085
CBDA-M-004	230.099,201	7.929.632,736	882,825	0,008	0,006	0,010	0,033
CBDA-M-005	230.203,780	7.929.580,685	883,015	0,008	0,006	0,010	0,033
CBDA-M-006	230.268,988	7.929.560,482	883,012	0,010	0,007	0,012	0,050
CBDA-M-007	230.346,342	7.929.541,602	883,346	0,010	0,008	0,013	0,035
CBDA-M-008	230.357,120	7.929.491,613	882,154	0,019	0,023	0,030	0,141
CBDA-M-009	230.369,500	7.929.439,103	881,766	0,015	0,016	0,022	0,072
CBDA-M-010	230.392,395	7.929.380,473	881,409	0,009	0,007	0,011	0,034
CBDA-M-011	230.469,423	7.929.406,431	884,068	0,013	0,010	0,016	0,049
CBDA-M-012	230.518,058	7.929.421,274	885,612	0,008	0,006	0,010	0,033
CBDA-M-013	230.585,199	7.929.198,805	883,115	0,008	0,007	0,011	0,034
CBDA-M-014	230.281,924	7.929.093,435	873,844	0,008	0,007	0,011	0,035
CBDA-M-015	230.258,021	7.929.150,978	873,477	0,028	0,013	0,031	0,061
CBDA-M-016	230.210,069	7.929.273,325	874,860	0,121	0,131	0,178	0,372
CBDA-M-017	230.193,401	7.929.300,627	873,204	0,037	0,037	0,052	0,108
CBDA-M-018	230.156,021	7.929.263,620	870,814	0,009	0,006	0,011	0,039
CBDA-M-019	230.092,036	7.929.445,515	876,809	0,008	0,006	0,010	0,033
CBDA-M-020	230.025,247	7.929.633,072	881,050	0,014	0,010	0,017	0,053

5.4 EXPERIMENTO 4: ANÁLISE DAS COORDENADAS DOS VÉRTICES LIMITES OBTIDAS POR DIFERENTES TEMPOS DE RASTREIO PARA RECEPTORES DE SIMPLES E DUPLA FREQUÊNCIA

Os vértices limítrofes foram processados em relação aos dois vértices de apoio (BASE 1 e BASE 2), com tempos de coleta de dados de 5, 10, 20 e 30 minutos e com frequência L1 e L1/L2. Mais uma vez as coordenadas utilizadas como referência para o processamento dos vértices do limite foram as coordenadas obtidas do melhor resultado do processamento

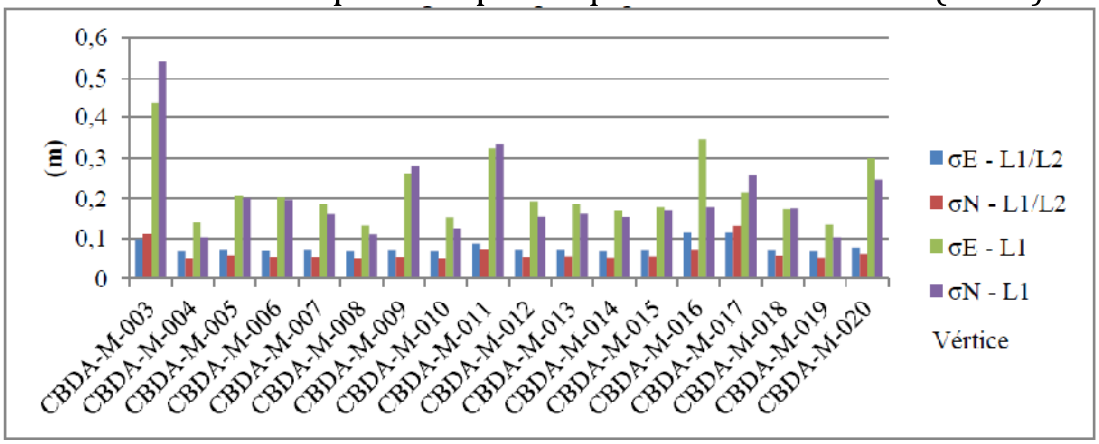
envolvendo os vértices de apoio (Tabela 12). Novamente o desvio padrão encontrado para cada coordenada dos vértices de apoio foi levado em consideração durante o processamento dos vértices limítrofes.

TABELA 12. Coordenadas planas UTM em SIRGAS2000, MC=-45º, dos vértices de limite a partir do vértice de apoio BASE 2

MELHOR RESULTADO - 2σ de probabilidade						
PONTOS DE APOIO	**E (m)**	**N (m)**	**h (m)**	**σE (m)**	**σN (m)**	**σh (m)**
BASE 1	230.164,470	7.929.412,108	876,590	0,002	0,001	0,003
BASE 2	230.376,920	7.929.374,327	880,875	0,008	0,006	0,033

A Figura 8 mostra um comparativo entre os desvios padrão obtido utilizando simples e dupla frequência com cinco minutos de ocupação. A cor verde e roxa representa as coordenadas planimétricas obtidas com simples frequência, já as cores azul e vermelho são referentes às coordenadas planimétricas obtidas com dupla frequência. Nota-se que as coordenadas advindas de dados de simples frequência apresentaram desvio padrão maior se comparadas às coordenadas advindas de dados de dupla frequência.

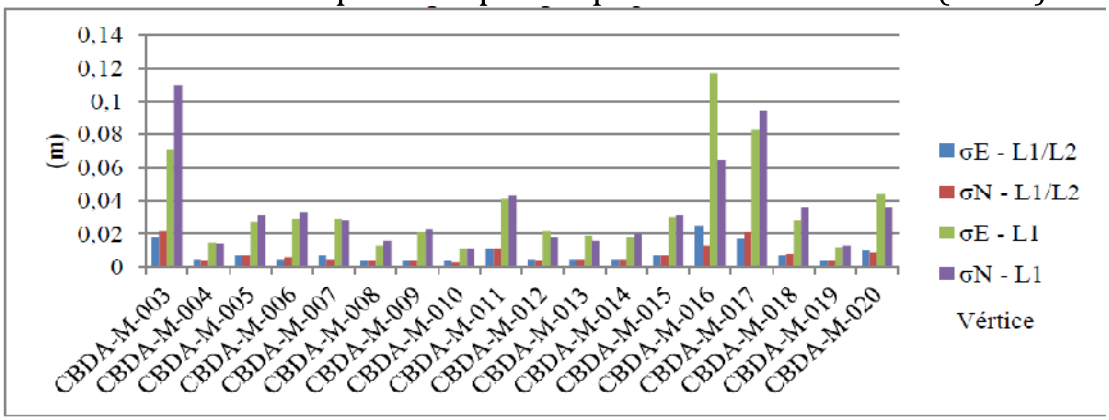
FIGURA 8. Desvio padrão dos vértices de limite com 5 min de rastreio considerando simples e dupla frequência. Fonte: Autor (2017).



A Figura 9 aponta a diferença entre os desvios padrão encontrados utilizando frequência L1 e L1/L2 com dez minutos de ocupação. Coordenadas com observáveis L1/L2 apresentaram melhor precisão e as

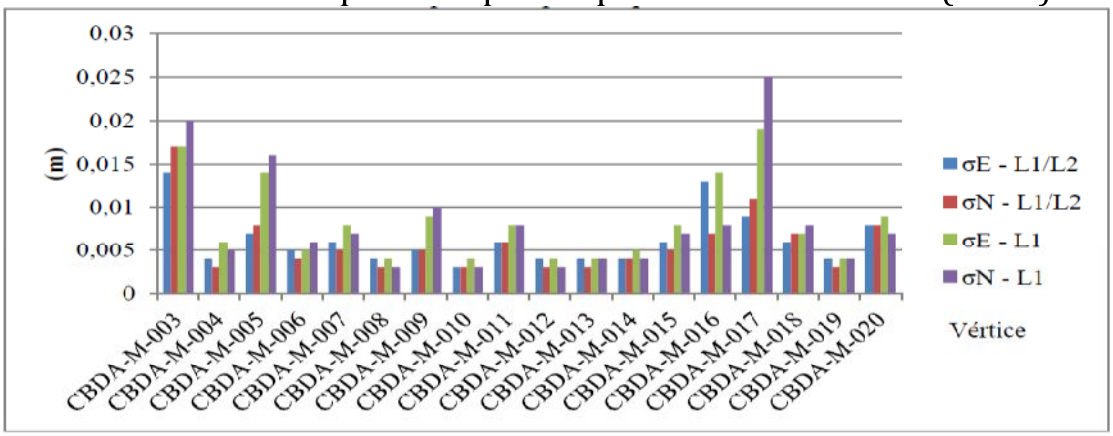
coordenadas dos vértices CBDA-M-003, CBDA-M-016 e CBDA-M-017 novamente apresentaram desvio padrão maior em relação aos demais vértices, pois estes estão localizados em locais de grande obstrução de sinal, e sujeitos ao multicaminho (não é eliminado nas diferenças entre as observações).

FIGURA 9. Desvio padrão dos vértices de limite com 10 min de rastreio considerando simples e dupla frequência. Fonte: Autor (2017).



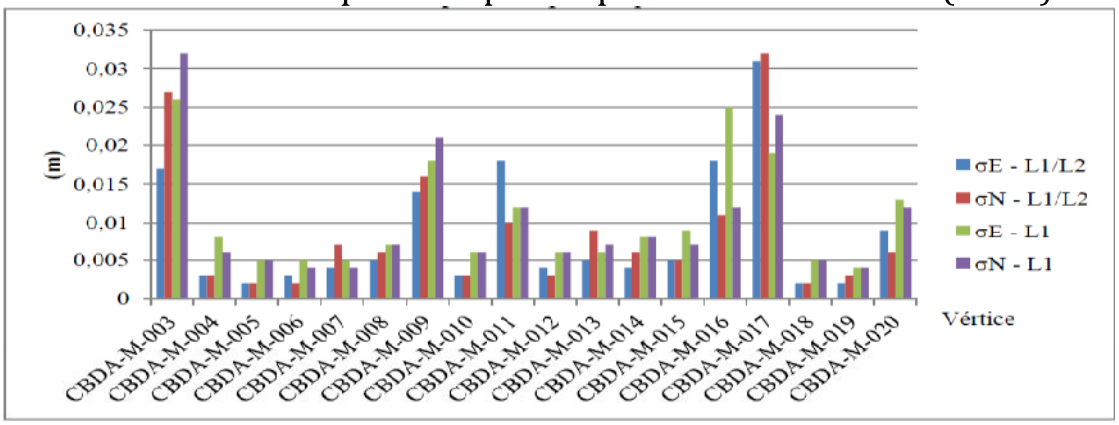
A Figura 10 mostra os desvios padrão obtidos utilizando simples e dupla frequência com vinte minutos de ocupação. As coordenadas obtidas com dados de dupla frequência apresentaram melhor resultado e os vértices CBDA-M-003, CBDA-M-016 e CBDA-M-017 novamente apresentaram precisão pior se comparados aos demais. Em alguns casos as coordenadas com observável L1 apresenta precisão bem próxima das coordenadas com observáveis L1/L2.

FIGURA 10. Desvio padrão dos vértices de limite com 20 min de rastreio considerando simples e dupla frequência. Fonte: Autor (2017).



Prosseguindo com as técnicas de processamento utilizadas neste trabalho, a Figura 11 aponta a diferença entre os desvios padrão encontrados utilizando frequência L1 e L1/L2 com trinta minutos de ocupação. Nota-se que na maioria dos vértices a precisão obtida com dados L1/L2 apresentaram melhor resultado, exceto em alguns pontos como o vértice CBDA-M-017 onde a precisão com simples frequência foi melhor. É importante destacar que este vértice sofreu grande obstrução de sinal.

FIGURA 11. Desvio padrão dos vértices de limite com 30 min de rastreio considerando simples e dupla frequência. Fonte: Autor (2017).



Com as análises realizadas acima, é possível notar que receptores de simples frequência são capazes de proporcionar um posicionamento com precisão aceitável pelo INCRA. Ao analisar os resultados encontrados com dez minutos de ocupação e frequência L1, nota-se que as precisões estão próximas a 0,5 m, valor máximo permitido pela NTGIR. Conforme o tempo de coleta aumenta, as precisões melhoram, tanto para os processamentos com simples frequência, quanto para o processamento com dupla frequência. De todas as sessões de observação, somente a coordenada N obtida com simples frequência com tempo de coleta de cinco minutos não é aceitável pela Norma Técnica, todos os demais vértices nas diferentes estratégias de processamento de dados atendem as prescrições estabelecidas pelo INCRA.

6. CONCLUSÃO

As conclusões do trabalho são apresentadas em tópicos:

- ✓ Observando os resultados obtidos por meio de dados compostos somente com observações GPS e dados compostos com observações GPS/GLONASS, nota-se que os resultados das observações com apenas dados GPS podem proporcionar coordenadas com precisões aceitáveis pela 3ª NTGIR.
- ✓ No PPP as sessões de 10 min para L1 e L1/L2, bem como 30 min, 1 hora, 2 horas e 3 horas para L1 não foram suficientes para obter os 0,10 m de precisão dos pontos de apoio. Com exceção da sessão de 10 min, todas sessões de dados com L1/L2 forneceram desvio padrão menor que 0,10 m;
- ✓ O método PPP de 6 horas com dupla frequência forneceu melhores precisões do que o relativo estático;
- ✓ As coordenadas limítrofes apresentam melhores precisões quando obtidas no ajustamento da rede com dois pontos de controle (dois vértices de coordenadas conhecidas). Isso se deve ao fato do aumento da redundância do sistema de equações.

REFERÊNCIAS

AZEVEDO, J. M. J. **Do Registro de Imóveis.** São Paulo: Saraiva, 1976.

CARVALHO, A. Registro de Imóveis. Rio de Janeiro: Forense, 1976.

CENEVIVA, W. **Lei dos Registros Públicos Comentada.** 16ª ed. São Paulo: Saraiva, 2005. p. 388.

DINIZ, M. H. **Sistemas de Registro de Imóveis.** 7ª ed. São Paulo: Saraiva, 2007.

HOFMANN-WELLENHOF, B.; LICHTENEGGER, H.; WASLE, E. **GNSS – Global Navigation Satellite Systems GPS, GLONASS, Galileo and more.** New York, 2001. 382 p.

INSTITUTO NACIONAL DE COLONIZAÇÃO E REFORMA (Brasil). **Sistema de Gestão Fundiária (SIGEF).** Disponível em https://sigef.incra.gov.br/. Acesso em 1 Ago. 2015.

KLEIN, I.; MATSUOKA, M. T.; SOUZA, S. F. Análise do serviço on-line de PPP(GDGPS - APPS) para Receptores de Dupla Frequência: um estudo envolvendo dados de estações da RBMC. **Gaea - Journal of Geoscience,** vol. 6, n. 2, jul/dez 2010, p. 90-9.

LEICK. A. **GPS satellite surveying.** 3 ed.. Hoboken (NJ), United States of America: Wiley, 2004. 399 p.. Includes index. ISBN 0-471-05930-7

MATSUOKA, M. T. **Influência de diferentes condições da ionosfera no posicionamento por ponto com GPS: avaliação na região brasileira.** Presidente Prudente. 2007. 264 f. Tese (doutorado). Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista "Júlio Mesquita Filho".

MATSUOKA, M.T.; AZAMBUJA, J.L.F.; SOUZA,S.F.; VERONEZ, M. 2009. Potencialidades do serviço on-line de Posicionamento por Ponto Preciso (CSRS-PPP) em aplicações geodésicas. **Gaea - Journal of Geoscience,** 5(1):42-48.

MONICO, J. F. G. **Posicionamento pelo GNSS: descrição, fundamentos e aplicações.** 2 ed.. Brasil: Editora UNESP, 2008. 480 p.. ISBN 9788571397880.

ROFATTO, V. F. **ZTD em tempo quase real via Estações GNSS Terrestres: estratégia de processamento para o GIPSY-OASIS II e combinação das séries temporais.** Presidente Prudente. 2014. 137 f. Dissertação (mestrado). Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista "Júlio Mesquita Filho".

SEEBER, G. **Satellite Geodesy: foundations, methods, and applications.** 2nd.ed., Berlin, New-York: Walter de Gruyter, 2003.