

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS

Instituto de Geociências

Programa de Pós-Graduação em Geografia

Danilo Marques de Magalhães

**USO DE DRONES COMO SUPORTE AO PLANEJAMENTO TERRITORIAL: da coleta
de dados à geovisualização**

Belo Horizonte

2021

Danilo Marques de Magalhães

**USO DE DRONES COMO SUPORTE AO PLANEJAMENTO TERRITORIAL: da coleta
de dados à geovisualização**

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação do Departamento de Geografia da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Geografia.

Área de concentração: Análise Ambiental

Orientadora: Profa. Dra. Ana Clara Mourão Moura

Belo Horizonte

2021

M188u Magalhães, Danilo Marques de.
2021 1. Uso de drones como suporte ao planejamento territorial
[manuscrito] : da coleta de dados à geovisualização / Danilo
Marques de Magalhães. – 2021.
257 f., enc. il. (principalmente color.)

Orientadora: Ana Clara Mourão Moura.
Tese (doutorado) – Universidade Federal de Minas Gerais,
Departamento de Geografia, 2021.
Área de concentração: Análise Ambiental.
Bibliografia: f. 230-242.
Inclui anexos.

1. Planejamento urbano – Teses. 2. Aeronave não tripulada –
Teses. 3. Sistemas de informação geográfica – Teses I. Moura, Ana
Clara Mourão. II. Universidade Federal de Minas Gerais.
Departamento de Geografia. III. Título.

CDU: 711.4



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
COLEGIADO DO CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

FOLHA DE APROVAÇÃO

"USO DE DRONES COMO SUPORTE AO PLANEJAMENTO TERRITORIAL: DA COLETA DE DADOS À GEOVISUALIZAÇÃO"

DANILO MARQUES DE MAGALHÃES

Tese de Doutorado defendida e aprovada, no dia **19 março de 2021**, pela Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal de Minas Gerais constituída pelos seguintes professores:

Paulo Renato Mesquita Pellegrino

USP

Alfio Conti

UFMG

Francisco Henrique de Oliveira

UDESC

Fabrizio Ivan Apollonio

Università Degli Studi di Bologna

Úrsula Ruchkys de Azevedo

IGC/UFMG

Ana Clara Mourão Moura - Orientadora

UFMG

Belo Horizonte, 19 de março de 2021.



Documento assinado eletronicamente por **Paulo Renato Mesquita Pellegrino, Usuário Externo**, em 23/03/2021, às 09:40, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Francisco Henrique de Oliveira, Usuário Externo**, em 23/03/2021, às 20:05, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Ursula Ruchkys de Azevedo, Professora do Magistério Superior**, em 25/03/2021, às 13:24, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Ana Clara Mourão Moura, Professora do Magistério Superior**, em 25/03/2021, às 13:58, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Fabrizio Ivan Apollonio, Usuário Externo**, em 25/03/2021, às 20:30, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Alfio Conti, Professor do Magistério Superior**, em 29/03/2021, às 10:26, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufmg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **0616242** e o código CRC **BD664CAF**.

AGRADECIMENTOS

A todos os brasileiros e brasileiras que, de algum modo e em algum momento da vida, se dedicaram a contribuir para uma educação pública de qualidade. Nesses 11 anos de estudos na UFMG minha vida foi transformada para melhor no sentido intelectual, profissional e pessoal e sou grato a essas pessoas.

À minha avó, Nirelda, e à minha mãe, Eliane, que, mesmo com poucos recursos, fizeram seus esforços para financiar meus estudos pré-vestibular nos idos de 2004-2005. Isso tornou possível meu ingresso na universidade e trilhar este caminho até aqui. Dedico, portanto, a conquista deste doutorado a essas duas grandes mulheres.

À professora Dra. Ana Clara Mourão Moura, pela orientação e apoio nesta pesquisa e por todas as contribuições dadas desde 2008, quando iniciei como estagiário do projeto de extensão.

Aos professores membros da banca examinadora do Exame de Qualificação e da Defesa da Tese, Alfio Conti (EA-UFMG), Braulio Fonseca (IGC-UFMG), Diego Macedo (IGC-UFMG), Fabrizio Apollonio (DA-UNIBO), Francisco H. Oliveira (FAED-UDESC), Paulo Pellegrino (FAU-USP) e Úrsula Ruchkys (IGC-UFMG) pelas valiosas contribuições na construção do presente trabalho.

À professora Valéria Roque que na condução da disciplina “Análise qualitativa e pesquisa em geografia: métodos e técnicas” proporcionou importantes ensinamentos que contribuíram para escrita desta tese e para minha formação como pesquisador.

Aos amigos e colegas de equipe do GEOPRO-EA, em especial Pedro Casagrande, Ítalo Sena, Débora Fernandes, Thaise Sutil e Camila Zyngier pela amizade, companheirismo, pelas conversas enriquecedoras, pelas parcerias em publicações e pelo apoio na realização de alguns estudos de caso presentes nesta pesquisa.

Ao amigo engenheiro agrimensor José Renato Pereira pelos ensinamentos e ajuda com os receptores GNSS e técnicas de coleta de pontos de controle em solo.

Ao amigo matemático Osmar Costa pela rica contribuição na formulação de como mensurar as rugosidades visíveis nos MDS gerados por drone.

Aos moradores da Comunidade Dandara pela receptividade, carinho e apoio na realização dos trabalhos de campo na comunidade, e aos moradores do bairro Conjunto Paulo VI, em especial as crianças participantes da oficina de Geodesign, pela rica experiência quando da aplicação do teste de raciocínio espacial.

Aos funcionários da Escola Municipal Sobral Pinto por ceder o espaço da escola e pelo apoio na realização da oficina de Geodesign.

Aos envolvidos no projeto EPIC e docentes e discentes da disciplina correlata pelo apoio na realização do teste de raciocínio espacial com crianças do bairro Conjunto Paulo VI.

Aos funcionários do UNIBH, Davi e Alvino, pelo apoio na medição do telhado da edificação analisada nesta instituição.

Ao amigo e professor George Dias pelas lições e apoio com o inglês durante o período de doutorado.

Aos professores italianos Simona Tondelli, Elisa Conticelli, Gabriele Bitelli, Simone Garagnani, Maria Fiorella Felloni e Michele Campagna pelas conversas, discussões, apoio e ricas contribuições dadas, mesmo que remotamente, no período de estágio na Universidade de Bolonha. Em especial aos professores Aurelio Muzzarelli e Fabrizio Apollonio pelo aceite nessa universidade, pelo acolhimento e por todo apoio durante o período de estágio sanduíche. Agradecimento especial, também, ao professor Carlo Monti pela riquíssima conversa e contribuição dada no estudo do planejamento da paisagem italiana.

Às amigas italianas Chiara Cocco, Claudia de Luca, Angela Santangelo, Sara Maldina e Fiammetta Sailis pelo acolhimento dado na Itália, pelas contribuições diretas e indiretas no desenvolvimento da pesquisa em solo italiano e pelo suporte na realização de algumas coletas em campo na Emilia-Romagna.

Agradecimento especial aos amigos Tommaso Cascioli, Virgínia Cascioli e Enrica Pento pelo acolhimento em Bolonha, pelas lições de língua e cultura italiana, pela companhia essencial durante o *lockdown* e por se tornarem minha família naquele país.

À Luisa Cunha pelo apoio no dia da defesa da tese e pela companhia perfeita na comemoração em tempos de isolamento social.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) pelo apoio financeiro para realização do estágio sanduíche na Universidade de Bolonha por meio do projeto CAPES-PRINT – Código Financiamento 88887.474274/2020-00.

Ao CNPq e à Fapemig, através dos projetos “Geodesign e Modelagem Paramétrica da Ocupação Territorial: Geoprocessamento para a proposição de um Plano Diretor da Paisagem para a região do Quadrilátero Ferrífero-MG”, Processo 401066/2016-9, Edital Universal 01/2016 e Fapemig PPM-00368-18, projetos principais do Laboratório de Geoprocessamento e para os quais algumas abordagens desta tese representam contribuições.

Glória a todas as lutas inglórias

Que através da nossa história

Não esquecemos jamais

João Bosco e Aldir Blanc

RESUMO

O presente trabalho trata do uso dos drones como suporte ao planejamento territorial participativo levando em conta os processos relativos à produção de dados espaciais e à geovisualização, entendida como a visualização da informação geográfica. A pesquisa foi construída por meio da realização de estudos de caso que atuam nesses dois eixos de investigação: o da técnica, quando são realizados testes do equipamento, dos métodos de coleta e de processamento de dados, visando compreender o nível de qualidade dos produtos gerados e, conseqüentemente, as aplicações plausíveis a partir deles; e o da geovisualização, quando são realizados testes de uso dos produtos gerados, sobretudo os modelos tridimensionais e as fotografias aéreas, visando compreender se há ganhos em geovisualização que podem, conseqüentemente, contribuir para uma melhor condição de participação cidadã em processos de planejamento territorial compartilhado. Ao total são apresentados nove estudos de caso que foram realizados em seis diferentes áreas de estudo, sendo cinco delas localizadas em Belo Horizonte/MG e uma na região *Emilia-Romagna*, na Itália. Os estudos buscaram testar o uso da ferramenta drone para diferentes escalas e com diferentes objetivos, partindo do modelamento 3D de alto detalhe de um edifício, passando pela construção de bases de dados espaciais e modelamento 3D para a escala de bairros, até a representação de grandes paisagens por meio de fotografias aéreas com perspectiva oblíqua. Os resultados mostram a grande flexibilidade de uso da ferramenta para a coleta de dados e para a representação de objetos territoriais nas três escalas testadas e o nível de qualidade dos dados é destacado em função do baixo custo e praticidade empregado na sua produção. No que tange à geovisualização, a utilização de modelos 3D realísticos de navegação dinâmica contribuiu para uma melhor compreensão da informação espacial retratada, favorecendo o diálogo entre os participantes de oficinas de Geodesign. Isso é explicado em função da variação da perspectiva de visualização dos dados que torna mais simples a tarefa de visualização da informação espacial, o que serviu de base, também, para a proposição das representações das Unidades de Paisagem por meio de fotografias aéreas. As experiências apresentadas podem servir como referência para uma grande gama de estudos de geografia e áreas correlatas, sobretudo no que tange à utilização de geotecnologias como meios de representação do espaço para fins de o planejamento territorial.

ABSTRACT

The present work deals with the use of drones to support participatory territorial planning, considering the processes related to the production of spatial data and geovisualization, intended as the visualization of geographic information. The research is built in two lines of investigation: a technical one, where tests are performed on equipment and methods of data collection and processing, in order to understand the level of quality of the products generated and their plausible applications; a geovisualization one, where tests are performed on the use of the generated products, especially three-dimensional models and aerial photographs, in order to understand whether there are gains in geovisualization that can contribute to better participation of the citizen in the territorial planning processes. Nine case studies are presented, which are carried out in six different areas, five are in Belo Horizonte / MG and one in Emilia-Romagna / Italy. These studies aim to test the use of the drone in several cases: from the high-detail 3D modeling of a building, through the construction of spatial databases and 3D modeling for the neighborhood scale, up to the representation of large landscapes through aerial photographs with an oblique perspective. The results show the great flexibility of the tool for data collection and the representation of territorial objects in the three tested scales. The quality of the data is highlighted by the low cost and practicality used in its production. In geovisualization, the use of realistic 3D models of dynamic navigation contributed to a better understanding of the spatial information represented, favoring the dialogue between the participants of Geodesign workshops. The variation in data visualization perspective makes visualizing spatial information simpler, and this is the base for proposing the representations of the Landscape Units through aerial photographs. These studies can serve as a reference base for a wide range of geography insight and related areas, especially regarding the use of geotechnologies as a way of representing space for territorial planning.

RIASSUNTO

Il presente lavoro si occupa dell'utilizzo dei droni come strumento di supporto della pianificazione territoriale partecipativa, tenendo conto dei processi legati alla produzione di dati spaziali e alla geovisualizzazione, intesa come visualizzazione di informazioni geografiche. La ricerca è stata fatta conducendo casi di studio che percorrono due linee di indagine: una tecnica, dove vengono eseguiti i test delle apparecchiature e dei metodi di raccolta ed elaborazione dei dati, al fine di comprendere il livello di qualità dei prodotti generati e, di conseguenza, le possibili applicazioni che ne derivano; la seconda linea è quella della geovisualizzazione, dove si eseguono i test per l'utilizzo dei dati generati, soprattutto dei modelli tridimensionali e delle fotografie aeree, per capire se ci sono dei miglioramenti nella geovisualizzazione tali da contribuire ad un miglior coinvolgimento dei cittadini nei processi di pianificazione. In totale, vengono presentati nove casi di studio realizzati in sei diverse aree, cinque delle quali si trovano a Belo Horizonte / MG e una nella regione Emilia-Romagna / Italia. Gli studi hanno testato lo strumento drone in diversi casi e con ampie finalità: partendo dalla modellazione 3D ad alto dettaglio di un edificio, proseguendo con la costruzione di database spaziali e la modellazione 3D per la scala di quartiere, fino alla rappresentazione di grandi paesaggi attraverso fotografie aeree con prospettiva obliqua. I risultati degli studi tecnici mostrano grande flessibilità di utilizzo dello strumento drone sia per la raccolta dei dati che per la rappresentazione degli oggetti territoriali nelle tre scale testate. La qualità dei dati è supportata anche dal basso costo dell'attrezzatura e dalla praticità del suo utilizzo. Per quanto riguarda la geovisualizzazione, i risultati mostrano come l'utilizzo di modelli 3D realistici, di navigazione dinamica, contribuiscano ad una migliore comprensione delle informazioni spaziali ritratte, che favorisce il dialogo tra i partecipanti ai seminari di Geodesign. Osservando come la variazione nella prospettiva renda più semplice il compito di visualizzare le informazioni spaziali, sono state effettuate anche foto con la prospettiva obliqua come proposta per la rappresentazione delle Unità di Paesaggio attraverso fotografie aeree. Gli studi presentati possono servire come base di riferimento per un'ampia gamma di approfondimenti di geografia e aree affini, soprattutto per quanto riguarda l'uso delle geotecnologie come mezzo di rappresentazione dello spazio ai fini della pianificazione territoriale.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.01 – Diferentes modalidades de planos de voo resultando em diferentes tipos de blocos de imagens	33
Figura 2.02 – Processamento de imagens do drone para geração de produtos georreferenciados.....	34
Figura 2.03 – Pesquisas de mestrado e doutorado no Brasil que abordam a temática drone.....	36
Figura 2.04 – Classificação da nuvem de pontos.....	43
Figura 2.05 – Transformação de projeção Cônica para Ortogonal.....	45
Figura 2.06 – Imagem ortorretificada com MDT comparada com imagens originais.....	46
Figura 2.07 – LOD definidos pelo CityGML.....	50
Figura 2.08 – Tipos de amostragem espacial.....	56
Figura 2.09 – Estrutura do Framework para o geodesign.....	60
Figura 2.10 – Modelo de Avaliação de Vulnerabilidade Espeleológica.....	63
Figura 2.11 – Natureza do design interativo e colaborativo.....	67
Figura 2.12 – Processo de comunicação em seminários de geodesign.....	68
Figura 2.13 – Valores importantes para o geodesign.....	70
Figura 2.14 – Perspectivas.....	73
Figura 2.15 – Funções da geovisualização.....	78
Figura 2.16 – Resumo das ideias relacionadas ao Pensamento Espacial.....	87
Figura 2.17 – Quadro de Federico da Montefeltro e Battista Sforza pintado por Piero della Francesca (1475).....	89
Figura 2.18 – Divisão das Unidades de Paisagem da região <i>Emilia-Romagna</i>	101
Figura 2.19 – Mapa dos Âmbitos Paisagísticos da Emilia-Romagna.....	105
Figura 3.01 – Localização das áreas de estudos em BH.....	114
Figura 3.02 – Localização da área de estudo e de coleta de imagens na <i>Emilia-Romagna</i>	115
Figura 3.03 – Comparação entre as altitudes dos voos com o drone.....	117
Figura 3.04 – Cálculo de ângulo entre as fotos.....	118
Figura 3.05 – Extração de linhas de perfil.....	122
Figura 3.06 – Amostras coletadas para cálculo das áreas 2D e 3D.....	125
Figura 3.07 – Comparação entre área 2D e 3D.....	126
Figura 3.08 – Alocação dos PC e PT.....	128
Figura 3.09 – Verificação da DisPos.....	128
Figura 3.10 – Fluxograma de trabalho.....	136
Figura 4.01 – Vista para a Igreja São Francisco de Assis, Pampulha, Belo Horizonte.....	138
Figura 4.02 – Captura de imagens em campo. Destaque para alguns ajustes de rota.....	139
Figura 4.03 – Detalhes de forma e textura no modelo 3D da igreja.....	140
Figura 4.05 – Medições na Fachada Principal (em metros).....	142
Figura 4.06 – Erros observados na coleta de dados.....	142
Figura 4.07 – Pontos de medição do edifício nas partes “A”, “B”, “C”, “D” e “V”.....	145
Figura 4.08 – Medições em planta da edificação.....	147
Figura 4.09 – Fotografia coletada para a modelagem tridimensional.....	148
Figura 4.10 – Distorções causadas em fotografias oblíquas.....	149
Figura 4.11 – Comparação entre os MDS.....	151
Figura 4.12 – Perfis Topográficos A-B sobre uma edificação em área livre.....	152
Figura 4.13 - Edificação analisada em área livre.....	152
Figura 4.14 – Perfis topográficos C-D sobre edificações em área adensada.....	153
Figura 4.15 – Edificações analisadas em área adensada.....	154
Figura 4.16 – Comparação entre a ortorretificação dos mosaicos.....	154
Figura 4.17 – Classificação da distribuição quanto à curtose.....	157
Figura 4.18 – Comparativo MDS e MDT a partir da classificação automática da nuvem de pontos.....	159
Figura 4.19 – Processo de suavização da malha mesh para construção do MDT.....	160
Figura 4.20 – Comparação entre ortomosaicos.....	160
Figura 4.21 – Diferenças de áreas nos ortomosaicos.....	161
Figura 4.22 – Pontos de medição do telhado.....	162
Figura 4.23 – Esquema de distorção da edificação na ortorretificação em MDT.....	164
Figura 4.24 – Distribuição dos PC para georreferenciamento dos mosaicos.....	166
Figura 4.25 – Correlação entre Área/PC e DisPos para dados planimétricos.....	168

Figura 4.26 – Correlação entre Área/PC e DisPos para dados altimétricos.....	170
Figura 4.27 – Resultado da álgebra de mapas	172
Figura 4.28 – Alterações até 3m.....	173
Figura 4.29 – Transformações até 9m	175
Figura 5.01 – Comunidade Dandara.....	181
Figura 5.02 – Geodesign comunidade Dandara.....	182
Figura 5.03 – Treinamento dos jovens no uso das ferramentas digitais	183
Figura 5.04 – Exemplo de respostas do Grupo A	189
Figura 5.05 – Resultado do Grupo B	191
Figura 5.06 – Resultado Grupo C.....	193
Figura 5.07 – Participantes na oficina de Geodesign composta por alunos da Universidade e representantes das prefeituras e da Secretaria Estadual de Meio Ambiente	195
Figura 5.08 – Modelo 3D do bairro de Confisco e arredores	196
Figura 6.01 – Localização e campo de visada das fotos da UP Costa do Norte	203
Figura 6.02 – Praia em Lido di Spina	203
Figura 6.03 – Porto Garibaldi e Lido di Spina.....	204
Figura 6.04 – Foz do rio Pó di Volano (braço do delta do rio Pó).....	204
Figura 6.05 – Lido di Volano, praia e braço do rio	205
Figura 6.06 – Posição e campo de visada das fotos aéreas.....	207
Figura 6.07 – Canais retilíneos, estrada em aterro, campos agricultáveis e oásis de conservação	207
Figura 6.08 – Oásis de conservação, campos agricultáveis, canal retilíneo acompanhado de estrada em aterro e canal seco próximos a San Biagio	208
Figura 6.09 – Oásis de conservação, canal retilíneo, estrada em aterro e campos agricultáveis	208
Figura 6.10 – Posição e campo de visada das fotos da UP.....	210
Figura 6.11 – Cultivo de oliveiras e de uvas e calanques.	210
Figura 6.12 – Cultivo agrícolas e calanques.....	211
Figura 6.13 – Formações gessosas, cultivo uvas e oliveiras e calanques.	211
Figura 6.14 – Localização e campo de visada das fotos.....	213
Figura 6.15 – Afloramentos rochosos, orografia do terreno, vegetação densa, afluentes e rio principal	214
Figura 6.16 – Vale do rio principal com assentamentos e cultivos agrícolas, afloramentos rochosos, orografia do terreno, vegetação densa.....	214
Figura 6.17 –Vegetação densa, cidade no fundo de vale e vegetação densa	214
Figura 6.18 – Localização e campo de visada das fotos tomadas.....	216
Figura 6.19 – Sistema viário e assentamentos no topo das colinas, processos erosivos, relevo dissecado e vegetação densa.....	216
Figura 6.20 – Casa-Torre em pedra arenítica (<i>Rocca</i> ou fortaleza), processos erosivos, assentamento no topo da colina	217
Figura 6.21 – Vale aberto com infraestrutura rodoferroviária recente	217
Figura 6.22 – Processo erosivo, sistema viário na crista da colina, casas-torre em pedra arenítica (ao fundo), vegetação densa e relevo dissecado.....	218
Figura 7.01 – Esquema do conhecimento produzido na tese.....	224
Figura 7.02 – Esquema de abstração da informação espacial.....	226
Figura 7.03 – Geovisualização como elo entre mundo real e representações digitais.....	227

LISTA DE QUADROS

Quadro 2.01 – Estudos de mestrado e doutorado relacionados aos drones no Brasil	37
Quadro 2.02 – LOD definidos pelo CityGML.....	51
Quadro 2.03 – PEC da Planimetria dos Produtos Cartográficos Digitais	53
Quadro 2.04 – PEC Altimétrica dos MDS, MDT e Pontos Cotados	53
Quadro 2.05 – PEC Altimétrica para Curvas de Nível	54
Quadro 2.06 – Abordagem metodológica do Geodesign aplicado ao fluxo de trabalho da oficina.....	61
Quadro 2.07 – Critérios descritivos das unidades de Paisagem do PTPR da <i>Emilia-Romagna</i>	103
Quadro 3.01 – Estudos de caso realizados por áreas de estudo	113
Quadro 3.02 – Organização dos grupos.....	132
Quadro 3.03 – Relação de estudos de caso realizados na pesquisa	135
Quadro 4.01 – Classes do PEC-PCD para Planimetria em relação à quantidade de PC.....	167
Quadro 4.02 – Classes do PEC-PCD para Altimetria em relação à quantidade de PC.....	169

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.01 – Unidades de Paisagem	93
Tabela 3.01 – Parâmetros de voo com o drone.....	123
Tabela 3.02 – Parâmetros de aquisição dos dados LiDAR.....	123
Tabela 4.01 – Medições na Fachada Principal e na Torre (em metros).....	142
Tabela 4.02 – Medições na fachada posterior (em metros).....	143
Tabela 4.03 – Medições em planta (em metros).....	146
Tabela 4.04 – Síntese das medições na Igreja São Francisco de Assis (em metros)	148
Tabela 4.05 – Análise da Morfologia dos MDS	155
Tabela 4.06 – Parâmetros para classificação da nuvem de pontos	159
Tabela 4.07 – Medições da edificação com GNSS <i>versus</i> medições nos ortomosaicos.....	162
Tabela 4.08 – Medições da edificação com Trena <i>versus</i> medições nos ortomosaicos.....	163

LISTA DE ABREVIATURAS

2D	Duas Dimensões
3D	Três Dimensões
ANAC	Agência Nacional de Aviação Civil
ANATEL	Agência Nacional de Telecomunicações
AP	Âmbitos de Paisagem
APP	Área de Preservação Permanente
BH	Belo Horizonte
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CBCP	Código de Bens Culturais e da Paisagem
CEP	Convenção Europeia da Paisagem
CityGML	City Geography Markup Language
DECEA	Departamento de Controle do Espaço Aéreo
DisPos	Discrepância Posicional
DNPM	Departamento Nacional de Produção Mineral
DP	Desvio Padrão
DSG	Diretoria do Serviço Geográfico
EIV	Estudos de Impactos de Vizinhança
EMSP	Escola Municipal Sobral Pinto
EPIC	Educational Partnerships for Innovation in Communities
ET-ADGV	Especificação Técnica para Aquisição de Dados Geoespaciais Vetoriais
EUA	Estados Unidos da América
FAA	Federal Aviation Administration
FAB	Força Aérea Brasileira
GEOPRO-EA	Laboratório de Geoprocessamento da Escola de Arquitetura
GNSS	Global Navigation Satellite System
GSD	Ground Sample Distance
IAI	Israel Aerospace Industries
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICA	Instrução do Comando Aeronáutico
ICA	International Cartographic Association
ICAO	International Civil Aviation Organization
INDE	Infraestrutura de Dados Espaciais
LiDAR	Light Detection And Ranging
LOD	Level of Detail
MDS	Modelos Digital de Superfície
MDT	Modelos Digitais de Terreno
MG	Minas Gerais
NRC	National Research Council
OGC	Open Geospatial Consortium
PBH	Prefeitura de Belo Horizonte
PC	Pontos de Controle
PEC-PCD	Padrão de Exatidão Cartográfica para Produtos Cartográficos Digitais
PGE	Plano Global Específico
PNDR	Política Nacional de Desenvolvimento Regional

PPP	Posicionamento por Ponto Preciso
PRODABEL	Empresa de Informática e Informação do Município de Belo Horizonte
PRU	Plano de Regularização Urbanística
PT	Pontos de Teste
PTCP	Plano Provincial de Coordenação Territorial
PTPR	Plano Territorial Paisagístico Regional
PTR	Plano Territorial Regional
QFe	Quadrilátero Ferrífero
RBAC-E	Regulamento Brasileiro da Aviação Civil Especial
RBMC	Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo
RMS	Root Mean Square
RPA	Remotely-Piloted Aircraft
RPAS	Remotely-Piloted Aircraft System
RTK	Real Time Kinematic
SANT	Sistemas de Aeronaves Não Tripuladas
SCN	Sistema Cartográfico Nacional
SfM	Structure from Motion
SIG	Sistemas de Informações Geográficas
SIG3D	Sistemas de Informações Geográficas em três dimensões
SISVANT	Sistemas de Veículos Aéreos Não Tripulados
UAS	Unmanned Aircraft System
UAV	Unmanned Aerial Vehicle
UFMG	Universidade Federal de Minas Gerais
UNIBH	Centro Universitário de Belo Horizonte
UP	Unidades de Paisagem
VANT	Veículo Aéreo Não Tripulado
XML	Extensible Markup Language

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	18
1.1. Problemas e questões de pesquisa	19
1.2. Objetivos	21
1.3. Justificativa.....	21
1.4. Estrutura da tese	23
2. REFERENCIAL TEÓRICO.....	27
2.1. Drone: definições e aplicações	27
2.1.1. Denominações para os Sistemas Aéreos Não Tripulados	27
2.1.2. Surgimento, desenvolvimento e aplicações	30
2.1.3. Uso de drones na aerofotogrametria e modelagem tridimensional	32
2.1.4. Publicações científicas relacionadas aos drones no Brasil.....	35
2.2. Aspectos técnicos da coleta e processamento de dados.....	41
2.2.1. Reconstrução tridimensional de objetos	41
2.2.2. Classificação da nuvem de pontos	42
2.2.3. Ortorretificação.....	44
2.2.4. Qualidade dos modelos de superfície e de terreno gerados por drone frente a dados LiDAR	47
2.2.5. Nível de Detalhe de Modelos Tridimensionais.....	48
2.2.6. Acurácia posicional planimétrica e altimétrica dos dados coletados por drone	51
2.3. Geodesign.....	57
2.3.1. Definições e conceitos	57
2.3.2. O Framework para o Geodesign	59
2.3.2.1. Os modelos de representação, de processo e de avaliação	62
2.3.3. Visualizar para projetar.....	66
2.4. Geovisualização e Pensamento Espacial	70
2.4.1. A construção de imagens para representação da informação territorial.....	71
2.4.2. Geovisualização.....	76
2.4.3. Pensamento espacial	83
2.5. Paisagem.....	87
2.5.1. O conceito de paisagem nas ciências geográficas.....	88
2.5.2. Geossistemas	92
2.5.2.1. Mapeamento de Unidades de Paisagem como base para o planejamento territorial	95
2.5.3. Planejamento Territorial da Paisagem na Itália	96
2.5.3.1. Histórico e leis.....	96
2.5.3.2. O PTPR da Emilia-Romagna e a proposição das Unidades de Paisagem	100
2.5.4. A Adequação do PTPR e os Âmbitos Paisagísticos	104
2.5.4.1. Planejamento da Paisagem no Brasil?.....	106
3. MATERIAIS E MÉTODOS	112
3.1. Áreas de estudo	112
3.2. Drones e aplicativos controladores de voo utilizados para coleta de dados	115
3.3. Coleta de Pontos de Controle com receptores GNSS	118
3.4. Softwares usados para processamento de dados.....	119
3.5. Roteiro metodológico dos estudos de caso.....	120
3.5.1. Avaliação do nível de detalhe do modelo 3D da igreja São Francisco de Assis, Pampulha, BH	120
3.5.2. Avaliação da morfologia dos MDS gerados por drone: estudo de caso no bairro Conjunto Paulo VI ...	123
3.5.3. Avaliação da qualidade de mosaicos ortorretificados a partir de MDS e MDT: estudo de caso no UNIBH	126
3.5.4. Avaliação do PEC-PCD para planimetria e altimetria dos produtos gerados por drone: estudo de caso no bairro Confisco	127
3.5.5. Avaliação da integração de dados drone e LiDAR: estudo de caso no bairro Conjunto Paulo VI	129
3.5.6. Uso dos produtos gerados por drone como suporte à realização de oficinas de Geodesign: estudo de caso na comunidade Dandara.....	130
3.5.7. Uso do modelo 3D gerado por drone como suporte ao desenvolvimento do raciocínio espacial: estudo de caso no bairro Conjunto Paulo VI.....	131

3.5.8. Uso dos produtos gerados por drone como suporte à geovisualização em oficinas de Geodesign: estudo de caso no bairro Confisco.....	132
3.5.9. Uso de imagens aéreas com perspectiva oblíqua como meio de representação de Unidades de Paisagem na Emilia-Romagna, Itália	133
3.6. Fluxograma.....	133
4. ESTUDOS DE CASO DA TÉCNICA DE COLETA DE DADOS	137
4.1. Avaliação do Nível de Detalhe de um modelo 3D gerado por drone: Estudo de caso da Igreja São Francisco de Assis, Pampulha, BH/MG.....	137
4.1.1. Parâmetros de coleta e de processamento de dados	138
4.1.2. Medições e avaliação do nível de detalhe do modelo 3D	141
4.1.2.1. Fachada Principal	141
4.1.2.2. Fachada Posterior	143
4.1.2.3. Planta Baixa	145
4.2. Análise da morfologia de MDS gerados por drone: estudo de caso no bairro Conjunto Paulo VI, BH/MG. 150	150
4.3. Comparação da Ortorretificação a partir de MDS e MDT: Estudo de caso no UNIBH, BH/MG.	158
4.3.1. Geração e edição do MDT	158
4.3.2. Medição em campo e comparação com imagens ortorretificadas.....	161
4.4. Avaliação da acurácia posicional planimétrica e altimétrica de dados gerados por drone: Estudo de caso na região do bairro Confisco, divisa entre BH e Contagem/MG	165
4.5. Integração de dados drone e LiDAR para atualização de bases de dados espaciais em áreas de fragilidade social: Estudo de caso no bairro Conjunto Paulo VI, BH/MG	171
4.6. Considerações acerca das análises técnicas.....	176
5. ESTUDOS DE CASO DE GEOVISUALIZAÇÃO	179
5.1. Experiência Dandara	180
5.2. Experiência no Conjunto Paulo VI.....	185
5.2.1. Análise das respostas dos grupos.....	187
5.3. Experiência bairro Confisco	194
5.4. Considerações acerca das experiências	197
6. ESTUDO DE CASO DE REPRESENTAÇÃO DE UNIDADES DE PAISAGEM	200
6.1. As Unidades de Paisagem da região Emilia-Romagna.....	201
6.1.1. Costa Norte.....	202
6.1.2. Benfeitorias bolonhesas	206
6.1.3. Colina da Romanha centro setentrional	209
6.1.4. Montanha romanhola.....	212
6.1.5. Montanha bolonhesa.....	215
6.2. Considerações acerca dos estudos	219
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS	221
7.1. Conclusões	225
7.2. Estudos futuros.....	228
8. REFERÊNCIAS.....	230
ANEXO I – Quadro de referências bibliográficas dos estudos de mestrado e doutorado relacionados aos drones no Brasil por ordem cronológica	243
ANEXO II – Descritivo da UP 19 – Montagna Bolognese	248
ANEXO III – Exemplo de relatório de processamento no GeoPEC	251
ANEXO IV – Mapas utilizados na avaliação do raciocínio espacial de crianças.....	254

1. INTRODUÇÃO

Os avanços tecnológicos nos últimos anos têm proporcionado a criação de novos equipamentos para coleta, processamento e visualização de dados espaciais que estão promovendo mudanças significativas no campo do sensoriamento remoto e nos demais ramos que se apoiam nesses dados para desenvolver suas análises. No ramo da aerofotogrametria, a partir dos anos 2000 começam a surgir drones¹ de linha consumidor cada vez mais bem equipados com instrumentos que proporcionam a geração de dados espaciais em três dimensões com satisfatórias agilidade e qualidade. Naturalmente a disponibilidade de novos equipamentos tem incentivado a realização de estudos e o desenvolvimento de novas técnicas e aplicações que, por sua vez, retroalimentam as demandas e possibilidades do setor.

No campo das ciências geográficas percebe-se que os drones têm grande potencial de uso, sendo que os dados espaciais gerados podem dar subsídios ao desenvolvimento de estudos em diferentes linhas de pesquisa da geografia. Entretanto, no Brasil são ainda incipientes os estudos de nível mestrado e doutorado em geografia que usam os drones como um recurso para coleta de dados e, a partir deles, geração de análises espaciais, conforme é possível observar por meio de uma pesquisa ao Catálogo de Teses e Dissertações da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES, 2020).

É neste contexto de grandes possibilidades de uso da ferramenta e de um relativo baixo aproveitamento de seu emprego nas pesquisas acadêmicas em geografia que se desenvolve a presente tese de doutorado. Este é, em essência, um estudo de caráter exploratório, cuja intenção é a de testar o uso dos drones no âmbito do planejamento territorial a fim de avaliar possibilidades e potencialidade dessa ferramenta. Nesse sentido, assume-se o desafio de abordar uma ampla gama de assuntos, mas consciente da impossibilidade de verticalizar a discussão em todos os temas tratados. Acredita-se que esta tese poderá indicar potenciais e limitações dessa ferramenta no campo das ciências geográficas e que estudos futuros poderão ser desenvolvidos visando aprofundar em aspectos específicos que não são encerrados aqui.

¹ Nesta pesquisa será utilizado o termo drone para se referir ao conjunto de Sistemas de Aeronaves Remotamente Pilotadas (no acrônimo em inglês RPAS) em função da maior popularidade do termo drone. Uma discussão aprofundada acerca dessa escolha é apresentada no Capítulo 2.

Trata-se, portanto, do uso dos drones como um instrumento geotecnológico como suporte ao planejamento territorial a partir de duas perspectivas principais: a primeira relativa à técnica em que são avaliados os processos ligados à produção de dados espaciais e ao nível de acurácia, buscando compreender as possibilidades de uso da ferramenta e dos produtos gerados. A segunda relativa à aplicabilidade dos dados na qual é avaliado em que medida os produtos gerados por drone favorecem à visualização e à compreensão da informação geográfica, o que nos dá base para propor mecanismos para uma melhor condição de participação de diferentes atores em processos de planejamento territorial colaborativo, nesta pesquisa feito através da metodologia de Geodesign.

De fato, a pesquisa nasce a partir do contato com essa metodologia, quando da observação de que alguns participantes das oficinas de Geodesign demonstravam dificuldades para compreenderem os mapas utilizados e, como consequência, tinham uma participação não efetiva no processo. Essa observação nos indicou uma sequência de problemas e questões de pesquisa que foram a motivação inicial para a realização dos estudos aqui apresentados.

1.1. Problemas e questões de pesquisa

A condução e participação em oficinas de Geodesign no Brasil por parte da equipe do Laboratório de Geoprocessamento da UFMG (GEOPRO-EA) nos últimos 5 anos geraram um acúmulo de experiências que, dentre outras coisas, evidenciaram a necessidade de se investir em métodos de representação da informação espacial a fim de garantir uma participação efetiva de todos os participantes envolvidos no processo. Isso pode ser visto em diversos trabalhos, como em Steinitz (2012), Zyngier (2016a), Moura (2017), Monteiro et al. (2018), dentre outros, os quais indicam que a visualização da informação espacial é um elemento crucial para possibilitar que todos os atores sejam igualmente incluídos no processo de planejamento, dando a eles condições iguais de participação.

Soma-se a essa condição, o fato de que no framework proposto por Steinitz (2012) são utilizados mapas de síntese das informações levantadas para realização do diagnóstico da área de estudo, os chamados “modelos de avaliação”. Isso tem como objetivo condensar um conjunto amplo de informações em um só mapa temático por sistema, o que significa no máximo 10 mapas de avaliação por workshop, dando ao participante uma orientação acerca daquele tema analisado,

bem como estabelecendo bases para calcular impactos positivos e negativos sobre as propostas criadas. Entretanto, a visualização da informação somente num mapa composto por manchas coloridas que representam a ocorrência de um fenômeno pode não favorecer a compreensão da informação que se busca retratar, pois neste tipo de mapa faltam elementos que auxiliem ao estabelecimento de uma conexão daquele dado técnico com a realidade conhecida pelo participante. A começar pela visão cartográfica zenital, em vista de topo, que não é de leitura imediata por todos os participantes, o uso restrito destas bases leva a diversos problemas, como à não consideração do mapa no momento da análise, à desmotivação em participar, a não conexão entre realidade conhecida e realidade representada, dentre outros.

Essas situações nos evidenciam a demanda de utilização de recursos adicionais de suporte à visualização e compreensão dos dados espaciais tratados, que são entendidos como recursos de geovisualização (visualização da informação geográfica).

Entretanto, *como contribuir para uma melhor condição de geovisualização em oficinas de Geodesign?* E, uma vez que os estudos na maioria das vezes possuem recursos limitados para sua realização, *como realizar esse processo do modo economicamente viável?* Considerando-se, ainda, que os estudos são realizados em diferentes condições geográficas, *como promover a geovisualização em diferentes escalas de estudos?*

Diante do exposto, elabora-se a hipótese de que o uso de modelos tridimensionais realísticos, de fotografias aéreas e de dados de alta resolução espacial e temporal pode contribuir para a geovisualização em oficinas de Geodesign. E diante dessa hipótese, vê-se o drone como recurso geotecnológico viável para produção desses dados, uma vez que se observa na literatura dedicada ao tema o potencial dessa ferramenta para geração de dados espaciais e modelação tridimensional a um custo acessível, em tempo ágil e com praticidade na operação (REMONDINO et al., 2008; COLOMINA et al., 2008; ZHU et al., 2010; REMONDINO et al., 2011; NEX; REMONDINO, 2014). Como consequência, espera-se contribuir para uma participação cidadã mais efetiva em processos de planejamento territorial, seja em oficinas de Geodesign como em outros processos similares. Para verificar essa hipótese, propõe-se a realização de testes de coleta, processamento e uso de dados por meio de um drone da linha consumidor, de custo acessível. Os testes consideram diferentes técnicas de coleta de dados e são feitos para diferentes escalas, visando dar ampla compreensão acerca dos limites e possibilidades de uso do equipamento e dos produtos gerados.

Dessa proposta inicial surgem outras duas questões importantes que são: *qual a qualidade geométrica e gráfica desses dados? E em que medida eles contribuem para uma geovisualização?*

Para dar conta dessas questões, foi realizada a análise da acurácia desses dados frente a parâmetros de referência cartográfica para dados digitais, como o Padrão de Exatidão Cartográfica para Produtos Cartográficos Digitais (PEC-PCD) (DSG, 2011) e o Nível de Detalhe para Modelos 3D (OGC, 2012), bem como são realizados testes de uso dos dados para diferentes situações, com diferentes públicos e em diferentes escalas visando avaliar se houve ganhos em geovisualização a partir do seu uso.

Diante das questões e problemas apresentados são definidos os objetivos do trabalho.

1.2. Objetivos

O objetivo geral deste trabalho é avaliar o uso do drone como um recurso de suporte ao planejamento territorial participativo levando em conta os processos ligados à produção de dados espaciais e à geovisualização dos produtos gerados.

Os objetivos específicos são:

- Testar, por meio de estudos exploratórios, formas de ampliar a visualização e a representação tanto do objeto territorial quanto da paisagem com emprego específico da tecnologia drone;
- Avaliar a qualidade dos dados espaciais gerados considerando a técnica empregada para coleta e frente aos padrões cartográficos de referência;
- Avaliar se os produtos gerados por drone contribuem para melhores condições de geovisualização e, conseqüentemente, podem dar suporte ao planejamento territorial colaborativo.

1.3. Justificativa

Entende-se que para a realização de um estudo de Geodesign deve-se dispor de uma base de dados espaciais condizente com a escala do estudo a fim de gerar um diagnóstico representativo

da realidade. Entretanto, grande parte dos municípios brasileiros não dispõem de uma robusta base de dados espaciais com satisfatória resolução espacial e temporal que possa dar suporte à realização dos estudos, gerando a demanda de produção de dados. Vê-se, portanto, que é necessária uma autonomia na construção da base de dados por parte dos interessados na realização desses estudos que, idealmente, devem ser capazes, também, de criar formas de representação amigáveis a todos os envolvidos no projeto, isto é, promover a geovisualização que seja eficaz para todos os participantes. Nesse sentido, é interesse investigar formas de coleta de dados ágeis, com qualidade e com custo viável a fim de proporcionar autonomia na realização de estudos do gênero.

Além disso, trabalhos como os de MacEachren (2005), Goodchild e Janelle (2010), da *International Cartographic Association* (2012), de Moura (2016), de Zyngier (2016a), dentre outros autores, nos mostram a importância da utilização de recursos geotecnológicos para a promoção da visualização da informação espacial, da formação e potencialização do raciocínio espacial e, a partir disso, favorecer a participação cidadã em processos de planejamento participativo.

Assim, acredita-se que deve ser avaliado o uso da geotecnologia drone como um recurso técnico para suporte ao planejamento territorial, tendo em vista o seu potencial desde a coleta de dados espaciais até a criação de modelos representativos da realidade que podem favorecer a geovisualização. Acredita-se que toda técnica que favorece a ampliação da qualidade da representação é uma ponte para que os usuários sejam, cada vez mais e melhor, envolvidos nas ações de planejamento e gestão do território.

A geovisualização tem papel de revelar informações ainda desconhecidas acerca dos dados espaciais e tem o potencial de promover ganho de conhecimento acerca da realidade estudada (MACEACHREN; GANTER, 1990). Nesse sentido, é vantajoso trabalhar com diferentes perspectivas sobre o dado e com representações dinâmicas que favoreçam sua interação com os usuários (MASALA; PENSA, 2016; ZYNGIER, 2016b). Dentre as alternativas possíveis a partir do uso dos drones, destacam-se as fotografias aéreas tomadas em perspectivas oblíquas e os modelos 3D, pois colocam o observador mais próximo da imersão na paisagem gerando melhor noção dos atributos espaciais (WOOD et al., 2005).

De um modo geral, a literatura dedicada sobre a temática desta pesquisa evidencia a importância das representações para favorecer ao processo de design, sobretudo quando feito de modo colaborativo, em que diferentes pessoas devem estabelecer o diálogo a fim de chegar a um

consenso. É importante ter em mente que as pessoas residentes nos locais onde são propostos os estudos em Geodesign muitas vezes não têm experiência em projetar e que o ato de projetar é uma tarefa complexa.

Assim, as formas de representação escolhidas são cruciais para a qualidade do diálogo, pois são a base para o compartilhamento de informações e devem atuar de modo a favorecer a criatividade entre as partes interessadas (FLAXMAN, 2010; MILLER, 2012). Steinitz (2012) alerta que a comunicação entre as partes é realizada de maneira bidirecional e é necessária para o Geodesign, sendo assim primordial que a informação seja bem compreendida por todas as partes envolvidas. Moura, Ribeiro e Benevides (2018) acrescentam que a geovisualização é uma das bases do Geodesign e quando bem empregada favorece a participação de modo mais efetivo, com maior domínio sobre os conteúdos tratados. Isso favorece que todos os participantes tenham igual acesso à informação, logo, tenham condições iguais no debate das propostas (DYKES; MACEACHREN; KRAAK, 2005; KWARTLER; LONGO, 2008; ZYNGER, 2017).

1.4. Estrutura da tese

Toda a pesquisa foi realizada a partir de estudos de caso que, nos passos iniciais, tiveram foco na avaliação da qualidade dos produtos gerados por drone, buscando compreender as técnicas necessárias para a geração desses dados e para a produção de informações geográficas. Esses estudos, focados na técnica de coleta de dados, nos deram segurança para, num segundo momento, investigar se o uso desses dados pode contribuir para uma melhor condição de geovisualização e contribuir para o envolvimento de diferentes atores em processos de planejamento territorial. Assim, buscou-se gerar um conhecimento acerca da técnica para sustentar a avaliação acerca da aplicabilidade dos produtos gerados.

É interesse, ainda, avaliar o emprego do drone para diferentes escalas, sob diferentes objetivos de análise e por meio de diferentes técnicas, ou seja, realizar um amplo espectro de análise com intuito de estabelecer um panorama de usos para fins de planejamento territorial. Nesse sentido, os estudos partem da escala micro, a partir da análise de um modelo 3D de um edifício isolado, passam pela criação de base de dados espaciais para a escala de bairros (variando de 65 a 340 ha), chegando até a representação de paisagens extensas por meio de fotografias aéreas

tomadas em perspectiva oblíqua. É importante mencionar que o caráter exploratório da pesquisa fez com que as descobertas ocorressem durante o processo de pesquisa o que nos motivava a testar novos métodos de coleta de dados e aplicações para os produtos gerados. Isto é, o resultado obtido em cada um dos estudos de caso motivou a realização de um estudo subsequente, sendo que as observações dos resultados indicavam novas questões e/ou possibilidades de investigação que levaram à realização de novos estudos. Portanto, os estudos de caso são apresentados respeitando essa ordem lógica da investigação, onde o resultado de uma investigação realizada é base para realização do estudo subsequente.

Parte-se, então, pela pesquisa técnica quando são feitas investigações:

1. Análise do nível de qualidade do modelo 3D de um edifício: os resultados indicam questões relacionadas à manutenção de uma distância homogênea entre aeronave e alvo imageado que motivaram à análise da qualidade dos Modelos Digitais de Superfície (MDS) quando do emprego de técnicas de aerolevanteamento;
2. Análise do MDS de um bairro a partir do emprego de diferentes técnicas de controle de voo: os resultados permitiram observar que a qualidade do MDS interfere na ortorretificação dos mosaicos, logo, a escolha do tipo de modelo (MDT ou MDS) influenciará, também, na imagem final;
3. Análise da acurácia de ortoimagens ortorretificadas com MDS e MDT: os resultados indicam melhor acurácia para as ortoimagens ajustadas com o MDS, o que nos leva ao interesse de verificar essa imagem frente aos parâmetros de referência da cartografia nacional;
4. Análise do Padrão de Exatidão Cartográfica para Produtos Cartográficos Digitais (PEC-PCD) para ortoimagens e MDS gerados com drone: os resultados nos indicam que os dados atendem ao PEC-PCD Classe-A para planimetria, o que nos motiva a investigar a possibilidade de integração desses dados com outras bases já usadas no planejamento territorial de Belo Horizonte (BH), como imagens aéreas e MDS gerados por captura LiDAR;
5. Análise da integração de dados drone com LiDAR: os resultados mostram possibilidades de avaliação da transformação temporal por meio do comparativo entre os dados, entretanto com ressalvas em função da quantidade de ruídos identificados.

Esse conjunto de estudos resulta em um panorama acerca da qualidade técnica dos produtos gerados, o que nos dá segurança para usá-los tanto como base para a criação dos mapas de suporte

das oficinas de Geodesign, quanto para testá-los como recursos de geovisualização durante a realização das oficinas, dada a qualidade dos modelos 3D que representam as proporções e reproduzem as texturas reais dos objetos.

Assim, são realizados os estudos de caso focados na geovisualização:

6. Avaliação do uso dos dados produzidos com auxílio do drone como recursos de geovisualização na oficina de Geodesign realizada na comunidade Dandara (BH/MG): as observações do uso dos dados nessa oficina nos mostram o potencial de ganhos em geovisualização a partir do uso desses dados, o que nos motiva a investigar acerca de quais os melhores dados a se utilizar e como eles contribuem para o desenvolvimento de um raciocínio espacial de pessoas não treinadas no uso da cartografia;
7. Avaliação do raciocínio espacial de crianças residentes no bairro Conjunto Paulo VI (BH/MG) a partir do uso de diferentes recursos, como o modelo 3D e mapas impressos: os resultados indicam uma melhor condição de visualização e compreensão da informação geográfica por meio do uso associado do modelo 3D com os mapas impressos. Isso nos motivou a verificar se essa condição se repete, também, para uma equipe técnica com experiência no uso da cartográfica e/ou em ações de projeto, mas que não conhecem a área de estudo;
8. Avaliação dos ganhos em geovisualização para uma equipe técnica na oficina de Geodesign do bairro Confisco (BH/MG): os resultados confirmam as observações anteriores e elucidam que o uso da livre navegação, com possibilidade de variação da perspectiva de visualização e da escala de representação, são elementos essenciais para uma melhor condição de geovisualização. Essas observações nos motivam a realizar uma última investigação que busca propor uma forma de representação de grandes paisagens a partir de fotografias aéreas, em uma escala inviável para modelamento tridimensional com o drone usado nesta pesquisa;
9. Proposta de representação de Unidades de Paisagem na região *Emilia-Romagna* (Itália) por meio de fotografias aéreas tomadas em perspectiva oblíqua: os resultados mostram que é sim viável a utilização dos drones também para esta escala de representação, reforçando a noção de que a perspectiva oblíqua favorece ao estabelecimento de uma conexão entre a realidade conhecida pelo usuário e o dado sintético representado em forma de mapa.

As experiências e os resultados alcançados com esses estudos de caso são condensados nos três capítulos que antecedem as conclusões desta tese e, para dar suporte teórico e metodológico para a realização destes estudos, foram desenvolvidos, ainda, os capítulos iniciais que apresentam o referencial teórico e os materiais e métodos utilizados. A sequência de capítulos e dos conteúdos abordados é apresentada a seguir:

Capítulo 2: Apresenta revisão bibliográfica acerca de todas as temáticas desta tese. Estão incluídos: a) os aspectos gerais relacionados aos drones, destacando o histórico de criação e desenvolvimento da ferramenta, as nomenclaturas adotadas, aplicações na aerofotogrametria e um panorama dos estudos acadêmicos desenvolvidos no Brasil; b) o referencial teórico que dá suporte à coleta e ao processamento de dados, bem como os parâmetros de referência utilizados para análise da qualidade dos produtos gerados; c) os conceitos e métodos de Geodesign com destaque para as etapas iniciais do framework proposto por Steinitz (2012) que estão mais diretamente relacionadas com esta pesquisa; d) os conceitos de geovisualização e pensamento espacial que são conteúdos chave desta pesquisa; e) os conceitos de paisagem e métodos correlatos que dão origem ao processo de delimitação de Unidades de Paisagem como recurso para um planejamento em escala regional, bem como detalhes do planejamento da paisagem na Itália como base de referimento ao estudo de caso realizado nesse país e, ainda, uma discussão acerca da falta de planejamento da paisagem no Brasil.

Capítulo 3: Apresenta os materiais e métodos utilizados nesta pesquisa, o fluxograma de trabalho e a localização das áreas de estudo.

Capítulo 4: Apresenta os resultados obtidos nos estudos de caso ligados às técnicas de coleta, processamento e análise de dados espaciais gerados com o drone.

Capítulo 5: Apresenta os resultados obtidos nos estudos de caso ligados ao suporte à geovisualização em oficinas de Geodesign a partir da utilização dos produtos gerados com o drone.

Capítulo 6: Apresenta os resultados obtidos no estudo de caso de representação de Unidades de Paisagem a partir de fotografias aéreas tomadas com o drone.

Capítulo 7: Apresenta as considerações finais e conclusões da tese.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo é apresentado o referencial teórico da pesquisa que dará suporte às aplicações práticas que serão apresentadas por meio dos estudos de caso. São tratados temas que vão dos drones, dos aspectos técnicos da coleta de dados, até os conceitos de geodesign, geovisualização e paisagem, que são conceitos chave desta pesquisa.

2.1. Drone: definições e aplicações

Nesta seção são apresentadas as denominações para os Sistemas Aéreos Não Tripulados, entre os quais se destaca o drone, com intuito de justificar a escolha de uso do termo “drone” nesta pesquisa. É realizado um breve resgate histórico da criação e de uso dos drones no mundo dando ênfase aos aerolevantamentos para geração de dados georreferenciados. É apresentado, ainda, um resumo dos estudos de nível mestrado e doutorado realizados no Brasil que, de alguma maneira, usaram drones para pesquisas ligadas à grande área do conhecimento Ciências Exatas e da Terra.

2.1.1. Denominações para os Sistemas Aéreos Não Tripulados

No Brasil, o termo mais abrangente utilizado para se referir a qualquer tipo de drone é “Aeronave Não Tripulada”, que engloba tanto as aeronaves que realizam voos autônomos (sem operador remoto) quanto aquelas controladas remotamente. Esta terminologia também não faz distinção da finalidade de uso, podendo se referir àquelas de uso recreativo (aeromodelos), comerciais e experimentais (DECEA, 2018). Partindo deste termo “guarda-chuvas”, a legislação brasileira busca delimitar quais são as Aeronaves Não Tripuladas passíveis de autorização de uso do espaço aéreo para fins não recreativos. Assim, o Regulamento Brasileiro da Aviação Civil Especial (RBAC-E) número 94, elaborado em 2017 e de responsabilidade da Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), utiliza o termo Aeronave Remotamente Pilotada, uma tradução direta do termo em inglês *Remotely-Piloted Aircraft* (RPA), para se referir às aeronaves não tripuladas controladas a partir de uma estação de pilotagem remota. É sobre este grupo de aeronaves que se

dedica o regulamento supracitado, pois no Brasil os voos autônomos são autorizados somente em casos especiais quando requisitados por instituições de pesquisa e/ou militares. Portanto, tanto o RBAC-E nº 94 quanto a Instrução do Comando Aeronáutico (ICA) 100-40, elaborada em 2016 e reeditada em 2018 pelo Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), consideram as RPA como uma subcategoria das Aeronaves Não Tripuladas. Essas aeronaves, quando com peso superior a 250g e para realizarem voos até 400 pés devem seguir as recomendações especificadas em ambos os documentos.

Essa terminologia incorporada pela legislação brasileira foi oficialmente cunhada pela *International Civil Aviation Organization* (ICAO) que introduziu o termo *Remotely-Piloted Aircraft System* (RPAS) em 2011, deixando clara a noção de que ao regulamentar esse recurso tecnológico não se deve tratar somente do equipamento capaz de voar sem um ser humano a bordo, mas sim de todo o conjunto de equipamentos utilizados para realização de voos controlados remotamente em condições aceitáveis de segurança, incluindo a estação de controle em solo e demais equipamentos utilizados na operação. Além disso, a ICAO (2011) especifica que as RPAS compõem uma classe particular dos *Unmanned Aircraft System* (UAS) – Sistemas de Aeronaves Não Tripuladas – e que as RPAS são aquelas aeronaves objeto de regulamentação para uso civil não recreativo. Consta ainda nessa publicação que o termo *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV) é obsoleto, sendo mais adequada a utilização do UAS, pois se refere à aeronave e aos componentes auxiliares utilizados na operação remota.

Na literatura científica internacional observa-se a utilização, predominantemente, do termo UAV, como pode-se ver nos trabalhos de Blyenburgh (1999), Eisenbeiss (2004), Eisenbeiss e Zhang (2006), Wang e Li (2007), Everaerts (2008), bem como em publicações mais recentes, como, por exemplo em Nex e Remondino (2014), Watanabe e Kawahara (2016), Arif et. al. (2016), Murtiyoso et. al. (2017), dentre vários outros. A partir da conferência da ICAO de 2011 tem sido mais frequente a utilização do termo UAS nas publicações internacionais, como se vê em Austin (2010), U.S. Navy (2011), Watts et al. (2012), Finn e Wright (2012), Gundlach (2012), Barnhart et al. (2012), Colomina e Molina (2014), dentre outros.

Entende-se que a utilização recorrente do termo UAV influenciou a literatura científica brasileira, pois observa-se o predomínio da utilização do termo Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT) nas publicações nacionais, como, por exemplo, em Pegoraro et al. (2013), Marotta et al. (2015), Silva et al. (2016), Oliveira et al. (2017), Neto et al. (2017), Viana (2017), Magalhães e

Moura (2018). Apesar do termo VANT ser amplamente difundido no Brasil, não há menção nas legislações nacionais aplicáveis. Há, ainda, usuários dessa tecnologia que utilizam o termo VANT para se referir às aeronaves com asa fixa (similares a mini aviões) e o termo drone para se referir às aeronaves com asas rotativas (composto por hélices). Considera-se equivocada essa distinção, pois não há algum embasamento legal, científico e, tampouco, comercial para isso.

Entendendo que o termo VANT consiste numa tradução do termo UAV, um novo acrônimo mais bem alinhado com a conferência da ICAO e com a literatura científica internacional seria o SANT – Sistemas de Aeronaves Não Tripuladas. Entretanto, não há registro, ainda, da utilização deste termo no Brasil. Foi verificada a utilização do acrônimo SISVANT pela polícia federal e que é sugerido, também, por Munaretto (2017). Entretanto o termo trata de um sistema de investigação criado pela polícia federal, mas que foi encerrado devido à inutilização das aeronaves e estas foram transferidas à Força Aérea Brasileira (FAB) (DEFESANET, 2019).

Diante do exposto, adota-se neste trabalho o termo *drone* para se referir ao RPAS utilizado nesta pesquisa, pois:

- i) O termo UAS se refere a todas as categorias de Aeronaves Não Pilotadas, incluindo aquelas de uso não civil, e isso não contribui para compreender o tipo de sistema utilizado neste estudo. Além disso, é um termo ainda pouco utilizado no Brasil, pois não há uma tradução direta como, por exemplo, SANT;
- ii) O acrônimo SANT, tradução livre de UAS, não é usado no Brasil;
- iii) O termo RPA é considerado incompleto, pois o termo mais adequado seria RPAS;
- iv) O termo RPAS é, ainda, pouco utilizado no Brasil e não foi encontrado um acrônimo traduzido ao português, como SARP (Sistemas de Aeronaves Remotamente Pilotadas)
- v) O termo UAV é considerado obsoleto, bem como sua tradução para o português VANT

Além disso, observa-se que tanto no Brasil quanto em outros países as buscas por informações acerca dessa geotecnologia, seja nos sites das agências reguladoras, quanto em sites de produção de conteúdo técnico e comercial, são baseadas, principalmente, no termo *drone*. É o caso das páginas temáticas da ANAC do Brasil e da FAA (*Federal Aviation Administration*) dos Estados Unidos da América (EUA); do evento e do portal homônimo *Drone Show Latin America*, dos sites *Drone USA Inc* e *Drone Life*, dentre vários outros. Assim, mesmo sendo pouco usado nas publicações científicas, acredita-se que o uso do termo *drone*, por ser mais simples e mundialmente

conhecido, pode contribuir para difusão do conteúdo científico produzido nesta pesquisa por pesquisadores, curiosos e profissionais também de outras áreas.

A origem do termo drone, de acordo com Munaretto (2017), é controversa, sendo mais comumente associado ao zumbido que as aeronaves multirrotores fazem, que se assemelha ao de um zangão. Mas há um referencial histórico citado pelo autor, baseado no relato do escritor Steven Zeloga, que diz que a primeira aeronave remotamente pilotada com êxito foi a *Queen Bee* (abelha rainha) criada pela Marinha Real britânica para treinamento de artilharia antiaérea. Segundo o escritor, o Almirante Standley da Marinha aérea norte-americana teria conhecido o projeto e designado sua reprodução em solo norte-americano e, por lá, apelidado a aeronave de “drone” (zangão). Fato é que o termo drone se popularizou mundialmente e, atualmente, é o mais utilizado para se referir aos sistemas de aeronaves remotamente pilotadas, seja de uso militar, de uso comercial ou de uso recreativo.

Por fim, percebe-se que as regras e leis para utilização de drones no Brasil e no mundo são, ainda, muito incipientes e estão em constante atualização. E, tendo em vista as mudanças futuras neste ramo, acredita-se que a realização de voos autônomos será uma demanda a ser regulamentada, como para entrega de mercadorias e para transporte de humanos. Com isso, as nomenclaturas e definições devem sofrer alterações, sendo que o termo drone tende a se manter presente em função da sua maior popularidade e histórico de uso.

2.1.2. Surgimento, desenvolvimento e aplicações

O histórico do uso dos drones no mundo nos mostra que esses equipamentos foram desenvolvidos, inicialmente, para utilização em conflitos armados, entretanto seu uso comercial começou a se intensificar a partir do final da década de 1990, quando a difusão dessa tecnologia favoreceu a produção em larga escala, visando atender o mercado civil. Atualmente existe uma infinidade de aplicações, como entregas em áreas remotas, sistemas de socorro a vítimas, sistemas para transportes de humanos, coleta de dados espaciais em três dimensões, dentre outros (BLYENBURGH, 1999; REMONDINO et al., 2011; CHAMAYOU, 2015; MUNARETTO, 2017).

Jarnot (2012) nos lembra de que a história dos drones é, na verdade, a história das aeronaves e que o primeiro objeto voador não tripulado foi um balão de papel com uma lâmpada de óleo interna, criado pelos chineses no período entre os anos 180 e 234dc, e que foi utilizado para causar espanto em tropas inimigas. Considerando marcos históricos mais recentes da aviação, o autor destaca a realização de testes com planadores durante a década de 1880 em que a ausência de pilotos a bordo era essencial, pois ainda não se tinha o devido controle das aeronaves no ar. Após a demonstração pública do avião, feita por Santos Dumont voando num 14 Bis em 1906 em Paris, ocorreram grandes avanços no ramo da aviação. Durante a primeira Guerra Mundial (1914-1918) ocorreu um enorme ciclo de invenções na aviação e destaca-se a criação da primeira bomba controlada remotamente por rádio, a *Kattering Bug*, que não chegou a ser usada durante os combates (NATIONAL MUSEUM, 2015).

No período entre guerras destaca-se a criação de aviões controlados a rádio para treinamento de artilharia antiaérea, como, por exemplo, a *Queen Bee* em 1933, que foi a primeira aeronave remotamente pilotada considerada “reutilizável”, pois foi capaz de decolar e aterrissar remotamente controlada por rádio (MUNARETTO, 2017; VINTAGE WINGS, s/d.). Durante a segunda Guerra Mundial diversas bombas remotamente controladas foram utilizadas e no período pós-guerra o desenvolvimento aeronáutico também influenciou na construção de sistemas não tripulados controlados remotamente. Em 1982, durante a guerra entre libaneses e israelenses, a *Israel Aerospace Industries* (IAI) mostrou ao mundo o drone Scout, que era utilizado como um sistema de vigilância e identificação de alvos para apoio ao combate, mas sem munições (DOBBING; COLE, 2014; MUNARETTO, 2017). Os EUA lançaram ao final da década de 1980 o GNAT-750, que foi o precursor do *Predator Drone*, um dos mais famosos drones usados nas investidas contra terroristas por parte dos EUA.

Durante a década de 1990 e início dos anos 2000, inicia-se a difusão do uso dos drones com finalidades diversas. A evolução tecnológica favoreceu a criação de componentes mais leves, eficientes e com menor custo, o que proporcionou o surgimento de aplicações diversas. Dentre elas, destaca-se aqui o uso dos drones como alternativa para a aerofotogrametria tradicional, pois os avanços tecnológicos no setor tornaram mais simples a operação dos sistemas, produziram câmeras com maior definição e menor peso, proporcionaram plataformas mais estáveis no ar e com maior autonomia de voo. Esses recursos, aliados aos equipamentos terrestres, vêm agilizando o processo

de coleta e processamento dos dados espaciais e proporcionando novos usos e demandas para tais dados (EISENBEISS, 2008; EISENBEISS, 2009; NEX e REMONDINO, 2014).

Entende-se que essas mudanças geraram um novo paradigma da aerofotogrametria que é impulsionado pela maior agilidade e flexibilidade na coleta de dados aliado a um menor custo, o que tem favorecido um aumento na difusão e consumo desses produtos. Isso tem retroalimentado as pesquisas no setor que, constantemente, apresenta novos equipamentos com maiores resoluções espacial, espectral e radiométrica, e com menor custo e maior praticidade de manuseio. Tudo isso justifica a realização de estudos e pesquisas que visam compreender as possibilidades e limitações dessas ferramentas, a fim de criar bases científicas que podem servir como parâmetros para utilização dos dados gerados.

Remondino et al. (2011) reforçam o argumento das aplicações promissoras dos drones com base nos produtos mais comumente gerados, que são os Modelos Digitais de Superfície (MDS), os Modelos Digitais de Terreno (MDT), os Ortomosaicos, as Nuvem de Pontos, dentre outros. Os autores destacam a possibilidade da programação das linhas de voo e da definição da sobreposição das imagens, seguindo técnicas já conhecidas de aerofotogrametria, mas ressaltam a possibilidade de se realizar voos curtos e/ou muito próximos aos objetos de interesse, por vezes por meio do controle manual da aeronave, o que amplia as possibilidades para coleta de dados em situações adversas.

Esses fatores têm colocado os drones como opções de destaque para coleta de dados visando representar os elementos mapeados em uma escala de maior detalhe, comumente para áreas não muito extensas, como, por exemplo, em projetos de relevância cultural, histórica, arquitetônica, urbana, ambiental, geológica, paisagísticas, etc., e para situações que demandam respostas rápidas. (NEX e REMONDINO, 2014).

2.1.3. Uso de drones na aerofotogrametria e modelagem tridimensional

Nos últimos anos, diversos estudos vêm sendo desenvolvidos com o intuito de testar e avaliar a qualidade dos dados espaciais digitais gerados para fins de mapeamento e representação tridimensional dos elementos presentes na superfície terrestre. Uma novidade observada no processo de coleta de imagens com drone é a possibilidade de definir diferentes níveis de

sobreposição das imagens, bem como diferentes posições e angulações da câmera. Isso permite gerar produtos georreferenciados mesmo com sobreposição irregular das imagens, conforme apresentado pela Figura 2.01. Neste caso, deve-se levar em consideração que a qualidade geométrica dos dados, provavelmente, será reduzida em relação aos procedimentos tradicionais de coleta de dados por aerofotogrametria, quando há o controle de sobreposição de imagens, dentre outros parâmetros.

É possível, ainda, coletar imagens das laterais dos objetos, como das fachadas dos edifícios ou em vertentes íngremes, e integrá-las com as imagens tomadas a 90° do solo, o que permite a geração de modelos tridimensionais realísticos, respeitando a morfologia do objeto representado. Esse trabalho é realizado pelos algoritmos dos softwares de processamento de dados que conseguem identificar automaticamente os pontos de controle nas imagens (*tie points*) que são, basicamente, a correspondência entre pontos chave identificados entre duas ou mais imagens e que são a base para geração da posição tridimensional da nuvem de pontos criada (EISENBEISS, 2004; BENDEA et al., 2007; COLOMINA et al., 2008; EVERAERTS, 2008; BARAZZETI et al., 2010; REMONDINO et al., 2011; NEX; REMONDINO, 2014; WATANABE; KAWAHARA, 2016; AGISOFT FORUM, 2018).

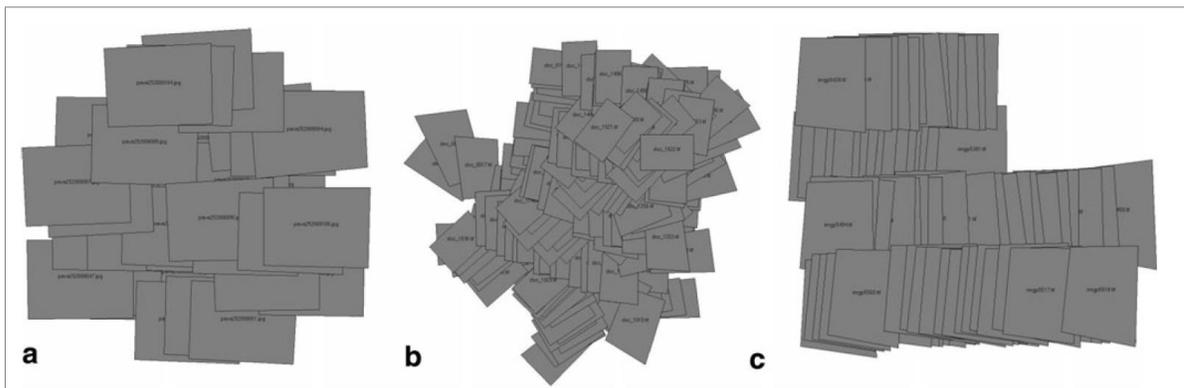


Figura 2.01 – Diferentes modalidades de planos de voo resultando em diferentes tipos de blocos de imagens. **a.** Modo manual e aquisição de imagens com intervalo de tempo definido; **b.** Sistema de navegação de baixo custo com possíveis pontos de referência, mas sobreposição irregular; **c.** Modo de voo e aquisição automática possibilitado por sistema de navegação de alta qualidade. Fonte: Nex e Remondino (2014)

O segundo passo é a criação da nuvem de pontos densa, que é formada por coordenadas tridimensionais (X, Y e Z) associadas à coloração do elemento imageado (em RGB). A nuvem de pontos pode ser utilizada para criação de MDS, bem como pode ser classificada para análise de uso

e cobertura do solo, ou para geração de MDT. A nuvem de pontos densa é, ainda, a base para a criação da malha *Mesh* que é gerada a partir da triangulação dos pontos para geração de superfícies (ZHU et al., 2010). Este dado é conhecido, também, como *wireframe* (ABDUL-RAHMAN e PILOUK, 2008) e sobre ele é possível reconstruir a textura do objeto a fim de gerar um modelo 3D realístico. É a partir dos dados tridimensionais registrados em forma de nuvem de pontos que o software é capaz de reconstruir os demais produtos como o MDS, o MDT e o ortomosaico. Esses dados são ilustrados na Figura 2.02.

Remondino et al. (2008) e Zhu et al. (2010) destacam que a reconstrução 3D a partir da coleta de imagens com drone tem como benefícios a alta resolução espacial e temporal dos produtos, uma satisfatória acurácia posicional quando aliada a pontos de controle coletados com receptores GNSS (*Global Navigation Satellite System*) em solo, a agilidade da coleta de dados que favorece à atualização periódica e ao monitoramento de fenômenos, a portabilidade do equipamento que contribui para realização de levantamentos em pequenas áreas e/ou de difícil acesso, o custo acessível e a praticidade em todo o processo de coleta e processamento de dados.

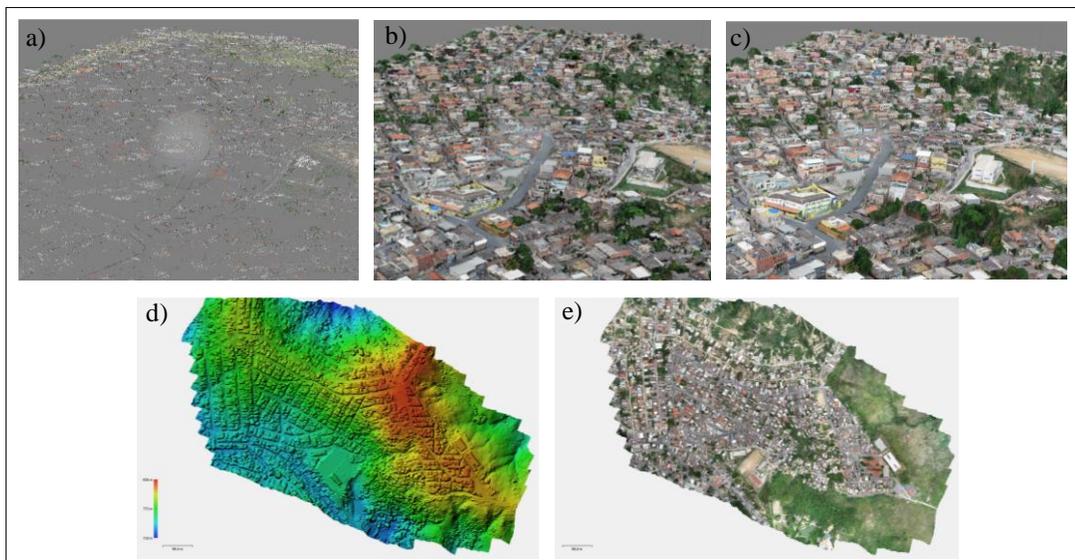


Figura 2.02 – Processamento de imagens do drone para geração de produtos georreferenciados. a) Nuvem de pontos esparsa (*Tie points*); b) Nuvem de pontos densa; c) Modelo 3D texturizado; d) MDS; e) Ortomosaico. Fonte: Elaborado pelo autor no estudo de caso Paulo VI, BH (2019).

O conjunto de informações mencionadas até aqui nos mostra o potencial de uso da ferramenta para o campo das ciências geográficas, pois pode gerar bases para elaboração de análises espaciais de modo geral, como para apoio ao planejamento territorial, à análise ambiental,

dentre outras situações. Entretanto, o volume de trabalhos de nível mestrado e doutorado no Brasil dedicados a essa temática começam a surgir de modo mais expressivo somente a partir de 2015, sendo ainda incipientes aqueles no campo das ciências geográficas (CAPES, 2020).

2.1.4. Publicações científicas relacionadas aos drones no Brasil

Uma pesquisa ao Catálogo de Teses e Dissertações da CAPES com base nas palavras-chave *Drone*, *RPA* e *VANT*, filtrados pela Grande Área do Conhecimento das *Ciências Exatas e da Terra*, nos mostra que ao todo foram publicados 82 trabalhos sobre essa temática. As pesquisas vão desde novas proposições para o campo da aerofotogrametria, passando pela criação e desenvolvimento de hardwares e softwares, até a geração de análises a partir de dados coletados por drones.

Os primeiros estudos brasileiros a lidar diretamente com a geotecnologia drone foram realizados a partir de 2008 e estavam focados no desenvolvimento da tecnologia em si, ou seja, são pesquisas de engenharia e aeronáutica que se dedicaram a estudar softwares e hardwares para criação e desenvolvimento de drones (CORREA, 2008; HACKBART, 2008; NETO, 2008). É interessante observar que os trabalhos anteriores a essa data, de certa maneira, anunciavam a tendência e a demanda de desenvolvimento dessa tecnologia, pois são presentes estudos que se dedicaram a testar aeronaves menores (ultraleves e aeromodelos) equipadas com câmeras de pequeno formato (não métricas) para coleta de dados georreferenciados usados para fins diversos (SOUZA, 1999; MONTEIRO, 2000b; CHAVIER, 2005; BABINSCK, 2006).

No período de 2008 a 2013 predominam ainda estudos de engenharia focados no desenvolvimento da tecnologia em si, não sendo encontradas teses e dissertações com foco na geração de análise e que usaram essa geotecnologia como instrumento para coleta de dados. Em 2014 foram encontrados os primeiros estudos que testaram a acurácia cartográfica dos dados (FERREIRA, 2014) ou que geraram análises geomorfológicas a partir dos dados coletados (JUNIOR, 2014), evidenciando uma difusão dessa tecnologia para outros fins. A partir de 2015 vê-se um aumento expressivo na quantidade de estudos apresentados, como ilustra a Figura 2.03, aparecendo, naturalmente, uma maior gama de usos e aplicações dadas aos drones. Entretanto, dentre os estudos analisados – publicados até dezembro de 2019 – há um evidente predomínio do desenvolvimento da tecnologia em si, ou seja, na criação de algoritmos e softwares, de hardwares,

peças e outros componentes, visando o desenvolvimento dos equipamentos. Portanto, pode-se dizer que há, ainda, um volume pouco expressivo de teses e dissertações que se dedicaram a analisar quantitativa e qualitativamente produtos de aerofotogrametria gerados por drones, bem como desenvolver aplicações deles derivadas.

Esses tipos de estudo começam a aparecer de modo incipiente a partir de 2016, como se vê em Torres (2016) e Santos (2017) que trabalharam, respectivamente, na análise da aplicabilidade dessa tecnologia para mapeamento em áreas florestais, e na representação da geodiversidade a partir de fotos, vídeos e modelos 3D gerados por drone. Este último trabalho, por sua vez, é aquele que mais se aproxima do conteúdo trabalhado na presente tese, entretanto adota um percurso teórico e metodológico completamente diverso daquele que é apresentado pela presente pesquisa.

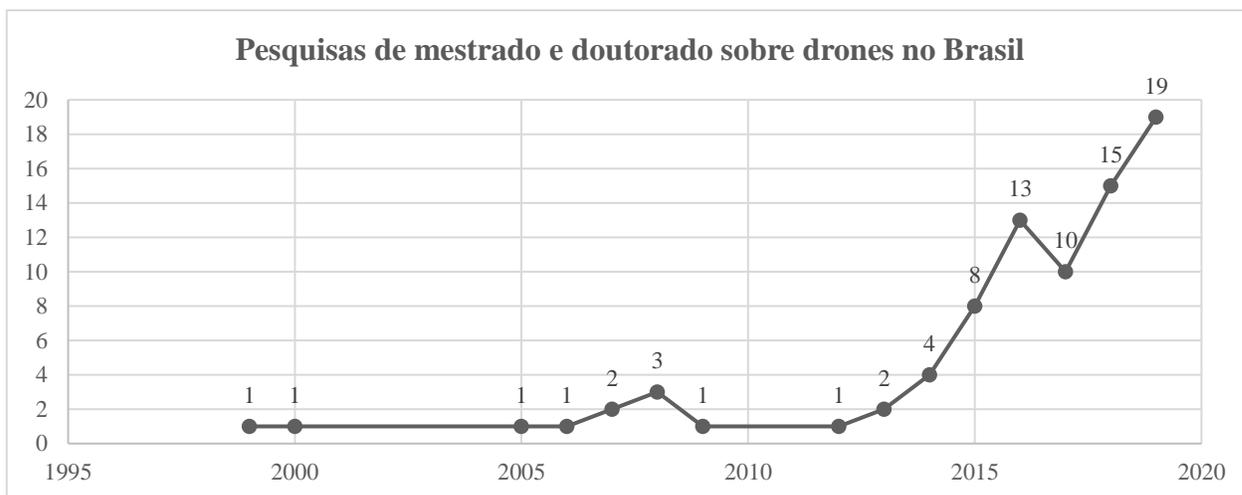


Figura 2.03 – Pesquisas de mestrado e doutorado no Brasil que abordam a temática drone. Fonte CAPES, 2020

Dentre os estudos que apresentavam análises de dados coletados por drones, observou-se um predomínio no campo do agronegócio, focados na identificação de problemas em monoculturas e visando contribuir para melhoria da produtividade. Já no campo das geociências, viu-se uma maior quantidade de estudos geológicos, sendo ainda raros os trabalhos de geografia, de análise territorial e/ou da paisagem a partir de dados coletados com drones.

O Quadro 2.01² apresenta uma síntese de todos os trabalhos encontrados na plataforma CAPES.

² Em virtude do grande volume de informações presentes neste quadro e que são tratadas somente nesta seção da tese, as referências bibliográficas deste quadro são apresentadas em separado no Anexo I.

Quadro 2.01 – Estudos de mestrado e doutorado relacionados aos drones no Brasil

Autor	Ano	Tema
Souza	1999	Teste de um aeromodelo como possibilidade de captura de imagens aéreas a baixo custo para seu emprego na agricultura extensiva.
Monteiro	2000	Apresenta uma metodologia de obtenção de fotografias aéreas com câmeras de pequeno formato associadas a receptores GPS em aeronaves de asa alta
Chavier	2005	Apresenta um sistema para aquisição de imagens aéreas georreferenciadas utilizando aeronaves tipo ultraleves.
Babinsck	2006	Apresenta uma metodologia de atualização da linha de costa a partir de imagens aéreas coletadas com câmeras de pequeno formato e receptor GPS acopladas a uma aeronave convencional
Bernardo	2007	Desenvolve um simulador para uma frota de dirigíveis robóticos autônomos não-tripulados como parte do projeto VANT do Instituto Militar de Engenharia
Vidal	2007	<i>Documento não disponível.</i> Título: Sistema de Navegação para Dirigíveis Aéreos Não-Tripulados Baseado em Imagens
Correa	2008	Propõe ferramentas de planejamento para robôs aéreos, levando em conta suas restrições físicas de movimento
Hackbart	2008	Descreve a construção de um VANT instrumentalizado para obtenção de perfis verticais e horizontais de dados meteorológicos
Neto	2008	Apresenta problemas relacionados à geração de trajetórias para veículos autônomos não tripulados, bem como as ferramentas propostas para confrontar tais problemas.
Suzuki	2009	Apresenta uma arquitetura de controle híbrida Fuzzy para a realização de manobras de voo básicas de um VANT
Martinelli	2012	Apresenta uma proposta de adaptação de <i>stream</i> de vídeo em VANTs para melhoria da transmissão em tempo real do vídeo
Albuquerque	2013	Avalia o desempenho de algoritmos de roteamento para redes oportunísticas e tolerantes a atrasos (redes DTN) quando utilizada em conjunto com VANTs, com o intuito de prover conectividade para nós terrestres desconexos por estarem em regiões isoladas, em virtude de limitações impostas por desastres naturais
Angonese	2013	Desenvolve um sistema computacional para uma Estação de Controle em Solo capaz de controlar o voo e a navegação de múltiplos VANTs
Carvalho	2014	Aborda a construção de um planejador de caminho para navegação do VANT de asa fixa no espaço tridimensional.
Ferreira	2014	Analisa a qualidade de produtos cartográficos obtidos a partir câmeras de pequeno formato (não métricas) transportadas por um micro VANT em comparação com resultados obtidos com câmara fotogramétrica de grande formato e levantamento com uso de LiDAR aerotransportado
Júnior	2014	Apresenta proposta metodológica de associação de imagens de VANT ao radar de penetração no solo e caracterização de afloramentos rochosos a fim de uma melhor caracterização das estruturas sedimentares em ambientes cársticos
Pires	2014	Desenvolve um middleware visando integrar diferentes sensores em diferentes tipos de aeronaves
Freitas	2015	Apresenta desafios e possibilidades de um planejador de rotas para múltiplos VANTs com objetivo de monitoramento na região amazônica
Luz	2015	Avalia a exatidão absoluta de uma ortofoto gerada por um VANT
Mattei	2015	Apresenta conceitos do modelo conhecido como Consciência Situacional em Voo (<i>In-Flight Awareness</i>) voltado à melhoria da segurança de voo de VANTs

Oliveira	2015	Apresenta as ameaças e vulnerabilidades dos sistemas de comunicação dos VANTs, bem como desenvolve modelos de teste de invasão com objetivo de contribuir para desenvolvimento dos sistemas de segurança
Rodrigues	2015	Apresenta o processo de construção de um VANT de asa fixa e o desenvolvimento da fusão de sensores (GPS, barômetro, magnetômetro, unidade de medida inercial e sensor de pressão diferencial) com objetivo de reduzir a carga computacional para controlá-los
Saito	2015	Apresenta estudo de caracterização das respostas espectrais da cana-de-açúcar por meio de uso de imagens hiperespectrais embarcadas em um VANT e um espectroradiômetro de campo
Silva	2015	Analisa a acurácia posicional planimétrica e altimétrica de ortomosaicos e MDS gerados por um VANT de 25kg desenvolvido em parceria entre a UnB e o DNPM
Vieira	2015	Apresenta testes em que um VANT foi usado para reestabelecer a conexão entre sensores sem fio de uma rede de monitoramento de enchentes em São Carlos (SP)
Arantes	2016	Apresenta algoritmos computacionais desenvolvidos sob os conceitos de segurança aérea para melhoria dos sistemas de navegação crítica em VANTs
Campos	2016	Apresenta um algoritmo de estimativa de altura, um classificador de confiabilidade e um controlador de altura proporcional como elementos auxiliares para controle de voo de VANTs em missões de mapeamento
Cerbaro	2016	Desenvolve um VANT com câmera fotográfica comum adaptada para geração de NDVI e soluções computacionais para processamento e armazenamento dos dados coletados pelo drone
Figueira	2016	Apresenta um modelo de referência para sensores inteligentes orientados a missões de mapeamento automático de fontes sonoras para uso civil e militar
Marconato	2016	Apresenta o desenvolvimento de um modelo de arquitetura para Sistemas Aéreos Não Tripulados
Ming	2016	Analisa o método da decomposição de Adomian por meio de simulações computacionais visando desenvolver soluções de dinâmica de voo de quadrorotores
Miyoshi	2016	Realiza uma caracterização espectral da copa de árvores da mata atlântica a partir de imagens hiperespectrais coletadas com VANT para contribuir com a caracterização e o monitoramento florestal
Neto	2016	Desenvolve um VANT para atuar como um sistema de entrega automatizado de pequenos objetos em campus universitários
Silva	2016	Apresenta a utilização de um algoritmo evolucionário para o desenho de possíveis trajetórias que o drone poderá percorrer para realizar sua missão, havendo origem e destino e evitando obstáculos
Silva	2016	Realiza uma análise dos dados de superfície e sub-superfície obtidos com VANT e GPR, respectivamente, para a caracterização da evolução recente do carste epigênico na bacia do Potiguar
Silva	2016	<i>Documento não disponível.</i> Título "Aplicação do Problema do Caixeiro Viajante (PCV) em um Planejamento de Trajetória no Setor Agrícola (PTSA) Utilizando um Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT)"
Silva	2016	Propõe uma solução de baixo custo e viável para computadores de pequeno porte para processar imagens aéreas obtidas por VANT para identificar falhas em plantações ou estimar níveis de degradação ambiental
Torres	2016	Avalia a precisão obtida e a aplicabilidade de um sistema de varredura a LASER embarcado em VANT para mapeamento em áreas de florestas
Barros	2017	Apresenta a construção e as aplicações de um simulador onde é possível realizar diversos planos de voo com a finalidade de analisar diferentes estratégias em um ambiente provido de incertezas

Cardoso	2017	Apresenta uma solução conjunta para problemas de localização 3D e sincronização usando VANT para solução de problemas em redes sem fio
Ferreira	2017	Apresenta a utilização de Redes Neurais Convolucionais para detectar e classificar ervas daninhas a partir de imagens de lavouras de soja feitas com um drone, visando direcionar o herbicida específico ao tipo de erva daninha detectado
Gonçalves	2017	Apresenta a utilização da cointegração como forma de estimar o comportamento dos sensores inerciais do VANT a fim de implantar melhorias na determinação da posição espacial dos VANTs
Mantinelli	2017	Apresenta modelos de observação baseados na câmera embarcada no VANT associada a imagens de satélites como recurso para determinar a posição da aeronave independente do sinal GPS
Oliveira	2017	Apresenta estudos e técnicas desenvolvidas para geração de modelos digitais de superfície hiperespectral (MDSH) em áreas florestais
Oliveira	2017	Avalia a capacidade radiométrica, espectral e espacial de dois sensores termais, juntamente com a avaliação posicional, a bordo de um VANT
Roberto	2017	Avalia a acurácia do processo de determinação de posição geográfica e de ângulos de atitude para um veículo aéreo a partir de imagens geradas por câmera embarcada, podendo ser uma alternativa para complemento de sistemas de orientação e posicionamento atualmente em uso em VANTs
Santos	2017	Apresenta uma metodologia para exibição online de sítios de Geodiversidade em que, a partir de dados coletados com VANT, integra dados 3D, planimétricos, layers dispostos em SIG e imagens panorâmicas acrescidas de realidade aumentada
Soares	2017	Apresenta o sistema Paparazzi UAV para o acompanhamento e controle de missões visando favorecer o desenvolvimento de futuros ambientes de software e hardware portáteis e de baixo custo para controle em terra de MiniVANTs (aeronaves de até 5Kg)
Barros	2018	Apresenta análises de falhas no cultivo de cana de açúcar a partir de produtos gerados por RPA
Camargo	2018	Avaliou a aplicação de diferentes modelos de VANTs como subsídio à obtenção de dados espaciais para áreas de interesse de gestão da Estação Ecológica do Taim (RS)
Cunha	2018	Analisa a viabilidade de usar imagens de drones para mapear e analisar petróglifos expostos na superfície de rochas e comparar com dados tradicionais para este tipo de mapeamento
Herrera	2018	Investiga a performance de descritores de textura aplicados no reconhecimento de espécies invasoras no bioma dos Pampas a partir de imagens aéreas geradas por VANT na região do visível e do infravermelho
Koslosky	2018	Propõe uma solução para a geração e execução de missão de VANTs para a inspeção de torres por meio de algoritmos geradores e controladores de trajetória de voo
Machado	2018	Apresenta uma técnica de sincronização de dados de sistemas de varredura a laser embarcados em VANT e avalia a acurácia do sistema com vistas a aplicações diversas
Madruga	2018	Apresenta o desenvolvimento de um sistema embarcado para uma controladora de voo aplicada a quadricópteros
Martins	2018	<i>Documento não disponível.</i> Título: ESTUDO DE ALGORITMOS DE VISÃO COMPUTACIONAL PARA IDENTIFICAÇÃO E DESVIO DE OBJETOS EM TEMPO REAL: UMA APLICAÇÃO PARA QUADROTORES
Oliveira	2018	Aplica técnicas de inteligência artificial visando melhorar sistemas de controle de altitude de um VANT de asa fixa
Paiva	2018	Apresenta recursos de realidade virtual para planejamento e acompanhamento de voos de VANTs por meio de uma estação de controle imersiva que utiliza sistema de multiprojeção para exibir imagens captadas pela aeronave em tempo real

Roos	2018	Apresenta técnicas de visão computacional, como a Odometria Visual, como alternativa ou complemento aos sistemas de navegação com uso de GPS em VANTs
Serejo	2018	Apresenta processamentos digital de imagens capturadas por um VANT para se obter a quantificação de plantas de mandioca visando estimar a colheita em uma fazenda
Silva	2018	Apresenta as especificações técnicas de um VANT de asa fixa capaz de decolar e aterrissar verticalmente
Silva	2018	Avalia o potencial do uso de um VANT para o mapeamento e monitoramento costeiro tridimensional analisando o MDT gerado para a área de análise e alinha de costa
Souza	2018	Estuda e correlação da configuração dos pontos de apoio e dos parâmetros do voo com a acurácia de ortofotomosaicos elaborados a partir de dados de VANT
Arantes	2019	Aborda o desenvolvimento de sistemas autônomos, de baixo custo, para supervisão de missão e segurança de voo em Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTs)
Cambraia-Filho	2019	Avalia a aplicabilidade de diferentes índices de vegetação (GLI, NGRDI, VARI) em variadas fitofisionomias do cerrado a partir de imagens coletadas com RPA
Casagrande	2019	Apresenta metodologia de coleta e processamento de dados espaciais, incluindo imagens aéreas coletadas por VANT, visando contribuir para gestão territorial
Filho	2019	<i>Título: Uma abordagem de navegação de veículos aéreos não tripulados com uso de mapa topológico visual monocular - Documento ainda não disponível</i>
Forgiarini	2019	Realiza estudos da evolução costeira a partir de mapeamento topográfico gerado com drone e utilização de modelo estocástico
Franco	2019	Apresenta uma proposta de otimização das rotas de voo de UAVs para mapeamento de áreas agrícolas em comparação ao aplicativo <i>Mission Planner</i>
Furlan	2019	Realiza análises baseadas em imagens de VANT associadas a técnicas não invasivas de mapeamento subsuperficial dos sistemas pedológicos para compreender a relação água-solo em uma área úmida da chapada sedimentar no oeste mineiro
Graça	2019	Analisa a existência de influências de diferentes geometrias de voo sobre a acurácia posicional do produtos cartográficos gerados a partir da abordagem <i>Structure from Motion (SfM)</i>
Guidoti	2019	Apresenta o uso de arquitetura de base no desenvolvimento de plataformas web capazes de processar dados coletados por VANT a fim de gerar produtos aos usuários
Oliveira	2019	Apresenta técnicas de identificação de pragas em lavouras cafeeiras por meio de segmentação de imagens coletadas por VANT na região do espectro da luz visível
Olivetti	2019	Apresenta os testes realizados no monitoramento de águas superficiais e identificação dos Componentes Opticamente Ativos por meio de câmeras multi e hiperespectrais transportadas por um VANT
Pinhata	2019	<i>Documento não disponível. Título: "Algoritmo para o problema de entrega de pacotes auxiliada por drone"</i>
Pires	2019	Investiga sobre o método de disseminação de dados em uma rede móvel entre VANTs com objetivo de superar desafios impostos pelo controle simultâneo de múltiplas aeronaves que podem atuar de modo colaborativo, por exemplo, em missões de resgate
Rabelo	2019	Investiga a associação de fraturas e campo de tensão na influencia do aumento da porosidade e permeabilidade secundária, realizada por meio da interpretação de imagens de VANT, dados de modelagem numérica e trabalhos de campo
Ribeiro	2019	<i>Documento não disponível. Título: Estudo de Algoritmos de Visão Computacional para Identificação e Rastreamento de Linhas de Transmissão de Energia Elétrica com Multirotores</i>
Ruiz	2019	Desenvolve e avalia um método de classificação e pós classificação baseada em objetos da cobertura e uso da terra a fim de criar uma ferramenta para realiação deste procedimento de modo automatizado

Sampaio	2019	Apresenta testes realizados com uma câmera termal de baixo custo acoplada a um VANT na obtenção da temperatura e analisa os efeitos das descargas d'água no canal principal do rio Paraíba do Sul (SP)
Serrão	2019	Avalia a influência da morfologia e das forças externas nos processos de formação e manutenção das correntes de retorno em Maresias (SP) por meio de imagens de VANT, levantamentos topográficos e modelagem numérica
Teixeira	2019	Avalia a acurácia de dados de reflectância espectral e do NDVI gerados pela câmera <i>Parrot Sequoia</i> acoplado a um VANT que foram coletados sobre uma lavoura de aveia preta no RS

Fonte: CAPES, 2020. Organizado pelo autor

2.2. Aspectos técnicos da coleta e processamento de dados

Esta seção visa apresentar as bases teóricas que orientaram os procedimentos de coleta, processamento e análise dos dados gerados nesta pesquisa. São informações que dão suporte às escolhas adotadas no percurso metodológico da pesquisa, bem como servem de parâmetro para análise dos produtos cartográficos gerados. São apresentados os parâmetros de qualidade para os modelos tridimensionais de edificações definidos pela *Open Geospatial Consortium* (OGC), o Padrão de Exatidão Cartográfica para Produtos Cartográficos Digitais (PEC-PCD) que integram a Coletânea Brasileira de Normas Cartográficas, explicações acerca do algoritmo classificador de nuvem de pontos para geração de MDT, bem como outras informações correlatas.

2.2.1. Reconstrução tridimensional de objetos

O conceito de estereoscopia como meio para produção de uma imagem com aparente tridimensionalidade é amplamente conhecido e já era estudado antes mesmo da invenção das primeiras câmeras fotográficas. Após a invenção das câmeras e dos filmes fotográficos, fotografias estereoscópicas (ou estereogramas) começam a ser feitas já na segunda metade do século XIX (McKAY, 1953). Após a invenção dos aviões e de câmeras métricas, esse processo começa a ser utilizado para restituição cartográfica por meio de aerolevantamentos sistemáticos, ainda na primeira metade do século XX.

A percepção dos elementos presentes na superfície terrestre possibilitou a realização de mapeamentos topográficos em escalas mais amplas e, a partir da criação de novos instrumentos como os radares e os satélites e com registro de dados em formatos digitais com a possibilidade de

processamento computacional, esse processo passa a ser utilizado em larga escala tornando mais prático e ágil a criação de modelos digitais de superfície e de outros dados e análises derivados (COELHO, BRITO, 2007).

O arcabouço tecnológico e científico contemporâneo tem proporcionado avanços significativos nesse setor, sendo que os hardwares e softwares disponíveis são capazes de coletar, processar e apresentar dados tridimensionais em maior nível de detalhe, com maior volume de informação e com menor tempo. Atualmente são disponíveis outros métodos de coleta e processamento de dados, como a modelagem tridimensional a partir de imagens coletadas por drone que adota o método conhecido como *Structure from Motion* (SfM). De modo simplificado, o SfM é um método fotogramétrico que permite a criação de modelos tridimensionais a partir de fotografias bidimensionais tomadas de diferentes posições e orientações. Esta tecnologia existe já desde o fim da década de 1970 (ULLMAN, 1979), mas as aplicações se tornam mais comuns a partir dos anos 2000 associadas à difusão do uso dos drones para restituições aerofotogramétricas.

A lógica deste método é semelhante à estereoscopia, porém são utilizadas mais fotografias, com um percentual de sobreposição maior, que podem ser tomadas de posições e angulações diversas e que podem ser feitas a partir de qualquer tipo de câmera fotográfica digital. O algoritmo do software é capaz de detectar automaticamente elementos correspondentes nas imagens e, a partir disso, criar uma nuvem de pontos. Snavely (2008) explica que este método consegue resolver o problema da localização 3D dos pontos por meio da triangulação, uma vez que a pose (posição e orientação no espaço de coordenadas) da foto é reconhecida pelo software. O autor explica que existem diferentes algoritmos com suas particularidades, mas que em geral trabalham com a mesma lógica de construção de nuvem de pontos 3D a partir das imagens. Sequencialmente, os softwares empregam outros algoritmos para geração dos demais dados, como os MDS

2.2.2. Classificação da nuvem de pontos

A nuvem de pontos é uma importante fonte de dados para análise espacial em 3D e um dos maiores desafios ligados ao seu uso do campo das geociências consiste na separação da informação referente ao terreno (*ground points*) dos demais elementos existentes, que podem ser edificações, vegetação etc. (KLÁPSTE; URBAN; MOUDRÝ, 2018). Essa classificação, quando realizada

adequadamente, facilita o processo de construção do MDT, reduzindo o trabalho manual de correção da classificação da nuvem de pontos e, com isso, possibilitando a criação de um modelo mais fiel à realidade e com menor intervenção do usuário.

Yilmaz e Gungor (2016) realizaram testes em diferentes algoritmos classificadores de nuvem de pontos, aplicando-os em dados gerados por drones, e concluíram que o algoritmo conhecido como *Adaptive TIN* apresenta a melhor performance. Esse algoritmo seleciona alguns pontos base, chamados de *seeds points*, dentro de uma área definida pelo usuário e realiza uma triangulação dos pontos de menor altimetria para criar um arquivo TIN que funcionará como um MDT prévio. A partir daí o algoritmo seleciona os pontos de acordo com os parâmetros definidos pelo usuário, que são a distância e o ângulo de inclinação entre o arquivo TIN e o ponto analisado (AXELSSON, 2000). A Figura 2.04 ilustra o funcionamento desse algoritmo que busca a interpolação dos pontos do terreno, eliminando as informações de superfície.

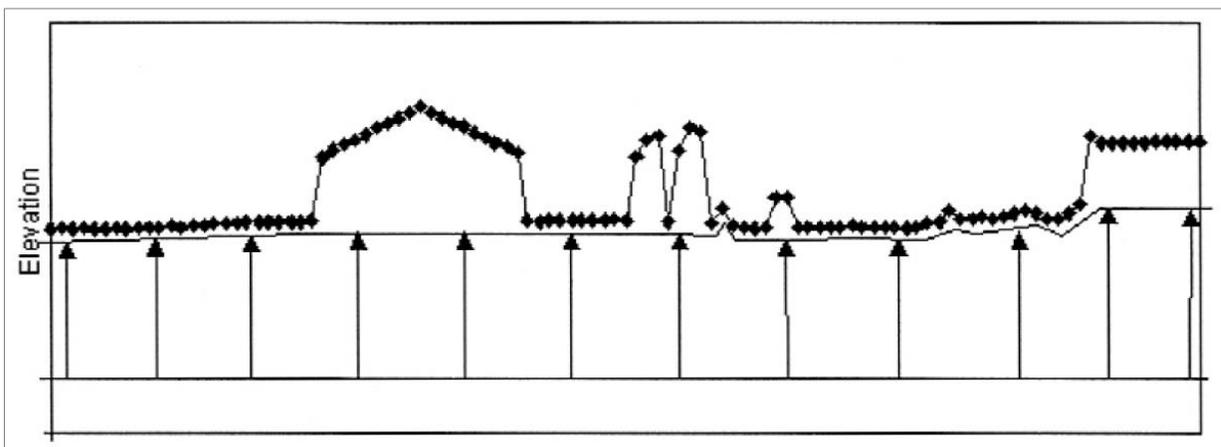


Figura 2.04 – Classificação da nuvem de pontos. Fonte: Axelsson (2000)

Na prática, softwares comerciais como o Agisoft PhotoScan, mesmo não citando o trabalho deste autor, apresentam algoritmos com funcionamento semelhante. Os programas executam inicialmente uma triangulação dos pontos mais baixos da nuvem de pontos criando uma primeira ideia do que seria o terreno. Na sequência, a análise leva em consideração alguns parâmetros definidos pelo usuário para definir o que não deve ser considerado como terreno. São eles: *tamanho da célula* – área máxima de algum elemento homogêneo que não faz parte do terreno, por exemplo uma edificação; *ângulo máximo* – grau de inclinação máxima do terreno; *distância máxima* – distância máxima que um ponto pode ter do TIN para ser considerado como terreno. Satisfazendo-

se as três situações o ponto é considerado como pertencente ao terreno (AGISOFT PHOTOSCAN USER MANUAL, s/d)

Segundo Klápste, Urban e Moudrý (2018), uma das vantagens deste software em relação a outros disponíveis no mercado é a possibilidade de interagir com o algoritmo do software por meio da definição dos parâmetros. Esses autores apresentam resultados satisfatórios no que tange à construção de MDT a partir de imagens de drones. Oliveira et al. (2017) também consideram satisfatórios os resultados da classificação automática de *ground points*, realizada no Agisoft PhotoScan, entretanto relataram as dificuldades de se proceder com a classificação em áreas de alto adensamento de edificações e de vegetação densa, sendo exigidos ajustes manuais após a classificação automática. Gevaert et al. (2017) apresentam os benefícios dessa técnica para identificação de edificações de modo ágil, que podem ser utilizadas para mapeamento de uso e cobertura do solo visando gerar uma atualização da base de dados espaciais para fins diversos.

A classificação da nuvem de pontos é fator crucial quando da intenção de geração de MDT, pois uma correta representação do terreno dependerá, necessariamente, de uma correta classificação da nuvem de pontos. O MDT (assim como o MDS) pode ser usado como fonte para ortorretificação de imagens, pois o resultado apresenta um aspecto gráfico mais agradável em relação ao realizado com o MDS – fato que não está associado a uma melhor acurácia e precisão.

2.2.3. Ortorretificação

A realização da ortorretificação tem por objetivo gerar uma imagem final ajustada, em que todas as partes da imagem possuam a mesma escala. Este processo consiste, basicamente, na transformação da projeção cônica central, que é inerente à forma como opera o sensor da câmera fotográfica, para uma projeção ortogonal, que é a adequada para apresentação em cartas e mapas (MENESES; FIGUEIREDO; LEITE, 2008; COELHO; BRITO, 2007; PINTO; AMORIM, 2011). Tal transformação é ilustrada na Figura 2.05.

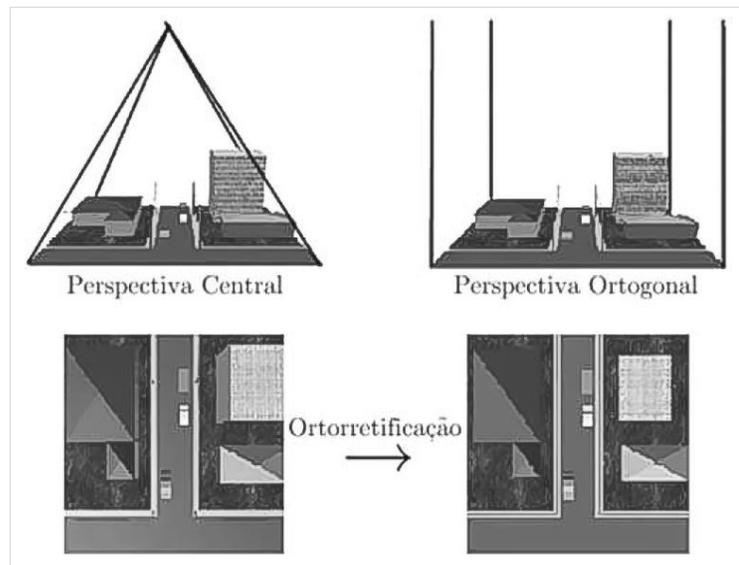


Figura 2.05 – Transformação de projeção Cônica para Ortogonal. Fonte: Coelho e Brito (2007)

Coelho e Brito (2007) destacam que o sistema de projeção das câmeras fotográficas é radioconcêntrico e que isso promove distorções nas imagens de modo que a distorção na forma e tamanho dos objetos aumenta à medida que se distancia do centro focal da imagem. Esse efeito afeta a qualidade métrica da fotografia, tornando-a inviável para elaboração de bases cartográficas. Portanto, para resolver tais distorções é realizado o procedimento de ortorretificação, que é feito por meio do ajuste das fotografias aéreas com base nos dados altimétricos da superfície. O resultado dessa transformação é representado na Figura 2.06.

Como se pode observar na Figura 2.06, todos os pontos da imagem ortorretificada (ou ortomosaico) possuem uma projeção ortogonal e não são vistas as laterais dos edifícios como se pode observar nas fotografias originais que possuem projeção cônica. E esse resultado pode ser gerado a partir das informações de altimetria contidas em um MDT ou em um MDS, sendo que o primeiro gera um ortomosaico conhecido como “convencional”, uma vez que é o método mais antigo derivado da aerofotogrametria tradicional; e o segundo gera um ortomosaico conhecido como “verdadeiro”, pois será considerado toda a variação altimétrica da superfície (incluindo edifícios, vegetação etc.) para se gerar a ortorretificação. Os resultados são diversos de acordo com as fontes de dados utilizadas e as consequências disso serão apresentadas no estudo de caso de ortorretificação de imagens de drone.

Nas últimas duas décadas percebeu-se um uso significativo da tecnologia LiDAR para coleta de dados em 3D que permitiram, dentre outros usos, a criação de MDS e MDT para

ortorretificação de imagens aéreas. Entretanto, por se tratar de uma tecnologia de custo mais elevado em relação aos drones convencionais, vê-se um interesse em realização de estudos que comparam a qualidade desses dados com os modelos gerados por drone, como alternativa para modelagem tridimensional da superfície.



Figura 2.06 – Imagem ortorretificada com MDT comparada com imagens originais. a) Imagem ortorretificada; b) e c) fotografias aéreas originais. O polígono amarelo exemplifica a transformação cônica para a ortogonal.
Fonte: Elaborado pelo autor a partir do estudo de caso Paulo VI, BH (2019).

2.2.4. Qualidade dos modelos de superfície e de terreno gerados por drone frente a dados LiDAR

Marotta et al. (2015) destacam que os drones possuem a capacidade de gerar MDS com alta resolução espacial e temporal e mostrou que estes produtos têm qualidade morfológica similar a modelos gerados por perfilhamento a *laser* realizado por LiDAR. Os autores discutem que um dos problemas na geração do MDS por drone são as sombras existentes nas imagens que podem ser causadas por edificações, vegetação ou formas de relevo, situação que é também detalhada por Aber, Marzolf e Ries (2010). Eles concluem que a utilização de Pontos de Controle (PC) coletados com receptor GNSS em solo permite a geração de MDS compatíveis com os gerados por processamento LiDAR.

Oliveira et al. (2017) apresentam uma avaliação para um MDT gerado a partir da coleta de dados com drone que associados a PC feitos com receptores GNSS pelo método RTK (*Real Time Kinematic*). Os autores usam como referência Pontos de Teste (PT), coletados também com RTK, e perfis topográficos e mostram que o modelo atingiu o PEC Classe-A. Entretanto, os autores trabalharam em uma área de estudo relativamente reduzida, com 26 ha, relativamente plana, com variação altimétrica do terreno de 40m, livre de edificações e composta, predominantemente por solos expostos, vegetação rasteira ou arbustiva. Os autores concluem que locais com maior declividade e cobertos por vegetação densa apresentam piores resultados, sendo necessário investigar outros procedimentos para filtragem dos MDS.

Silva et al. (2016) calcularam o volume de uma pilha de rejeito a partir de coleta de dados com drone, GNSS em solo e LiDAR em solo e concluíram que os dados gerados por drone obtiveram melhor representação morfológica da pilha de rejeitos e, também, melhor acurácia altimétrica, em comparação aos pontos de checagem coletados por receptor GNSS.

Outros autores, como Eisenbeiss (2008), Nex e Remondino (2014), Colomina e Molina (2014), Magalhães e Moura (2018), também destacaram qualidades dos MDS gerados por drone e diversas possibilidades de aplicações. Percebe-se que a construção de MDS com auxílio de PC permite atingir qualidade posicional altimétrica e planimétrica compatíveis com dados LiDAR. Isso é somado aos ganhos promovidos pela expressiva resolução espacial e temporal inerente ao dado, aliado ao custo acessível dos equipamentos, à agilidade na coleta de dados e geração de produtos finais, bem como a praticidade de operação dos equipamentos – se comparado aos

chamados métodos tradicionais que incluem a aerofotogrametria, o LiDAR aerotransportado e a coleta em campo com estação total.

2.2.5. Nível de Detalhe de Modelos Tridimensionais

A *Open Geospatial Consortium* (OGC), um consórcio internacional entre empresas, agências, governos e universidades, dentre os diversos trabalhos realizados, definiu classes para os mais importantes e recorrentes tipos de objetos que são inseridos em modelos 3D de cidades, como, por exemplo, edifícios, pontes, mobiliários, uso da terra, dentre outros. Essas classes compõem o chamado modelo de dados *City Geography Markup Language* (CITYGML) que foi proposto como um código compartilhado que estabelece padrões para a construção de dados a serem trabalhados em Sistemas de Informações Geográficas Tridimensionais (SIG 3D). A OGC (2012) alerta que grande parte dos modelos virtuais tridimensionais das cidades vêm sendo construídos puramente como modelos geométricos gráficos, negligenciando aspectos semânticos e topológicos e, portanto, podem ser usados somente para visualização e não para consultas temáticas, procedimentos de análises ou mineração de dados espaciais. O modelo semântico comum CityGML para representação de objetos urbanos em 3D pode ser compartilhado com diferentes aplicações e pode ser utilizado para planejamento das cidades, simulações ambientais, desenho arquitetônico, navegação virtual de veículos e pedestres, dentre várias outras aplicações. O CityGML foi desenvolvido como modelo de dados livre, baseado na linguagem XML (*Extensible Markup Language*), e define classes e relações para os mais relevantes objetos topográficos em modelos digitais de cidades e regiões, respeitando a sua geometria, topologia, semântica e propriedades visuais. Foi desenvolvido para permitir armazenar e compartilhar modelos virtuais de cidades em 3D em diferentes plataformas. O objetivo do desenvolvimento do CityGML é alcançar uma definição comum de entidades básicas, atributos e relacionamentos em modelos tridimensionais de cidades, o que permite a reutilização dos mesmos dados em diferentes aplicações e do mesmo padrão de dados para diferentes cidades, garantindo um custo-efetivo sustentável na produção e consumo desses dados.

O termo “City” é usado por compreender não apenas as construções, mas, também, a elevação do terreno, as vegetações, os corpos d’água, os mobiliários dispostos na cidade etc. Nesses

elementos estão incluídas as generalizações hierárquicas entre classes temáticas, agregações, relacionamentos entre objetos e propriedades espaciais. O CityGML é aplicável em escalas amplas ou de maior detalhe e pode representar o terreno e objetos 3D em diferentes níveis de detalhe simultaneamente. Por ser uma linguagem simples, permite o trabalho desde escalas singulares de modelos sem topologia e semântica simplificada, até modelos multi-escalares com topologia completa e diferenciação semântica refinada.

Dentre os diversos parâmetros apresentados pelo CityGML, nos interessa diretamente a definição dos níveis de detalhes para os modelos digitais tridimensionais, o chamado LOD (*Level of Detail*). São 5 níveis consecutivos de detalhes, onde os objetos se tornam mais detalhados com o aumento do LOD. Essa definição estabelece critérios comparativos e analíticos para a coleta e produção de dados, auxiliando o desenvolvimento de trabalhos em ambiente de SIG 3D. O nível mais grosseiro (LOD0) é essencialmente um Modelo Digital de Terreno 2,5D, que pode ser sobreposto por alguma imagem de satélite ou mapa base. Edificações no LOD0 são representadas apenas pelo seu *footprint* ou polígono com os limites dos telhados, vistos numa perspectiva zenital. O LOD1 é representado por modelos de blocos dos edifícios, porém sem detalhes das fachadas e com telhados planos (laje). Já no LOD2 são percebidas diferentes estruturas nos telhados e nas fachadas, já com texturas que possibilitam tematizar as edificações. O LOD3 denota modelos arquitetônicos com estruturas de paredes e telhados bem detalhados, incluindo portas e janelas. O LOD4 compreende o LOD3 acrescentando estruturas interiores da edificação, como quartos, escadas, mobiliário, dentre outros.

Biljecki, Ledoux e Stoter (2016) trabalharam no refinamento dos LOD para as edificações e elaboraram um esquema com 16 níveis de detalhes, focados na geometria exterior das edificações. Os autores argumentam que os 5 níveis propostos pela OGC (2012), embora sejam bastante aceitos e utilizados, são insuficientes e ambíguos, se analisados sob uma perspectiva geométrica. Portanto, eles propuseram subdivisões para os LOD de 0 a 3 de modo a especificar as características e elementos existentes na edificação e que são possíveis de serem identificadas no modelo 3D, conforme apresenta a Figura 2.07. Segundo os próprios autores, o refinamento proposto não deve ser interpretado como um novo esquema a fim de substituir a definição usual da OGC (2012), mas sim como um complemento que pode auxiliar pesquisadores e empresas a definir mais claramente os produtos gerados e analisados.

A OGC (2012) afirma que os níveis de detalhe podem ser, também, caracterizados pela acurácia e dimensão mínima dos objetos. Acurácia é descrita como o desvio padrão das coordenadas 3D absolutas. De acordo com a OGC (2012), para atender ao LOD2 a acurácia absoluta do modelo deve ser de 2m (X, Y e Z). Já para o LOD3 a acurácia é de 0,5m, ou seja, espera-se que o desvio padrão entre a coordenadas 3D absolutas não ultrapasse os valores mencionados. Biljecki, Ledoux e Stoter (2016) complementam ao apresentar que o LOD 3.3 deve possibilitar a identificação de feições maiores do que 20cm, como frisos de janelas, toldos e outras estruturas menores da edificação.

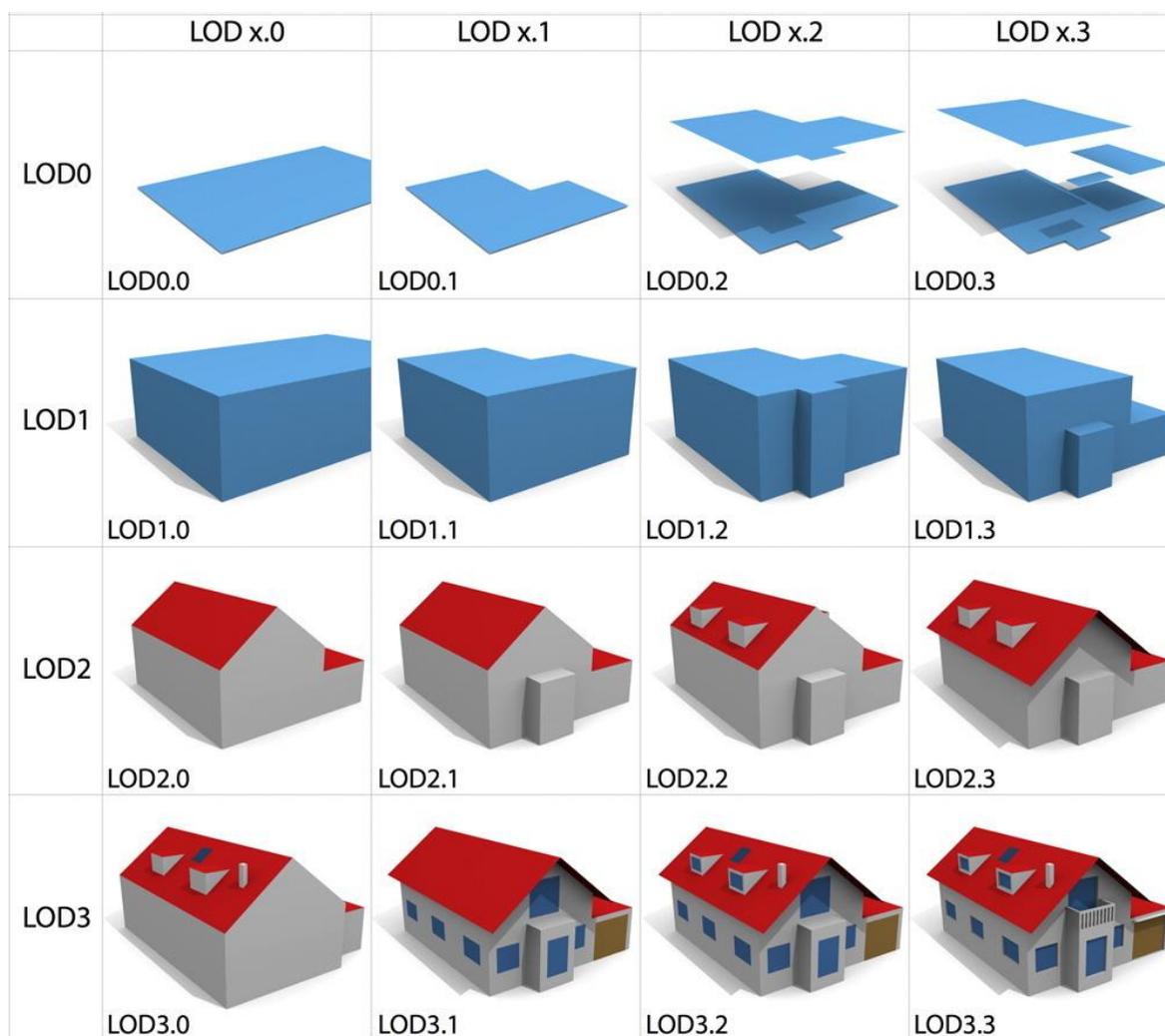


Figura 2.07 – LOD definidos pelo CityGML. Fonte: Biljecki, Ledoux e Stoter (2016) baseado em OGC (2012)

O Quadro 2.02 apresenta os valores de referência propostos por Albert et al. (2003) que são adotados pela OGC nas definições do CityGML.

Essas informações serão adotadas como referência para análise da qualidade de um modelo tridimensional de uma edificação, apresentado no estudo de caso da Igreja São Francisco de Assis, Pampulha, BH/MG.

Quadro 2.02 – LOD definidos pelo CityGML

Nível de Detalhe	LOD0	LOD1	LOD2	LOD3	LOD4
Escala do modelo	Regional, Paisagem	Cidade, Região	Cidade, Distritos, Projetos	Distritos, Modelos Arquitetônicos (exterior), Pontos de Referência	Modelos arquitetônicos, Pontos de referência
Classe de acurácia	Minima	Baixa	Media	Alta	Muito Alta
Acurácia absoluta 3D (posição e altitude)	Menor do que LOD1	5/5m	2/2m	0,5/0,5m	0,2/0,2m
Generalização	Generalização máxima	Blocos de objetos como feições generalizadas; > 6*6m/3m	Objetos como feições generalizadas; > 4*4m/2m	Objetos como feições reais; > 2*2m/1m	Elementos construtivos e aberturas são representadas
Instalações da edificação	Não	Não	Sim	Características exteriores representativas	Forma real dos objetos
Estrutura/Representação do telhado	Sim	Plano	Estruturas de telhado diferenciadas	Forma real do objeto	Forma real do objeto
Partes salientes do telhado	Sim	Não	Sim, se conhecida	Sim	Sim
Mobiliário da cidade	Não	Objetos importantes	Protótipos, objetos generalizados	Forma real do objeto	Forma real do objeto
Vegetação solitária	Não	Objetos importantes	Protótipos, maiores do que 6m	Protótipos, maiores do que 2m	Protótipos, Forma real do objeto
Cobertura vegetal	Não	>50*50m	>5*5m	< LOD2	< LOD2

...continua para outros temas

Fonte: Adaptado de Albert et al. (2003) *apud* OGC (2012)

2.2.6. Acurácia posicional planimétrica e altimétrica dos dados coletados por drone

A avaliação da acurácia posicional planimétrica e altimétrica de produtos gerados por drone vem sendo objeto de investigação em diversos estudos no Brasil, como se vê em Borges et al. (2017), Neto et. al (2017), Zanetti, Gripp Junior e Santos (2017), Silva, Cruz e Santos (2018), Holler et al. (2018), dentre outros. Nesses autores, nota-se um consenso de que a utilização de PC

em solo para ajuste do georreferenciamento das imagens de drone, permite a geração de uma base cartográfica que atenda ao PEC-PCD na Classe-A para a escala 1:1.000. Contudo, estes estudos estão focados na avaliação planimétrica dos dados, não sendo, ainda, conclusivos acerca dos dados altimétricos. Além disso, foi encontrado somente em Zanetti, Gripp Junior e Santos (2017) uma avaliação acerca da quantidade de PC necessários para atendimento ao PEC-PCD, informação que se julga importante para estabelecimento de uma metodologia eficaz e reproduzível para coleta de dados.

No Brasil, a avaliação da acurácia dos dados cartográficos foi definida, inicialmente, pelo Decreto nº 89.817 de 1984 (BRASIL, 1984), que estabeleceu uma classificação dos produtos cartográficos quanto à sua acurácia posicional planimétrica e altimétrica. São estipuladas classes de acurácia do dado, sendo Classe-A a mais restritiva ao erro e, portanto, a que contempla os produtos de maior acurácia; e a Classe-C a mais permissiva ao erro, que contempla os produtos de menor acurácia. Entretanto, essa norma tratava dos produtos cartográficos analógicos e se baseava na acuidade visual humana para definir o erro máximo permitido dentro de cada classe de acurácia. Em função dos avanços tecnológicos que influenciaram, também, a qualidade dos instrumentos de coleta, manipulação e processamento de dados espaciais, a Diretoria de Serviço Geográfico (DSG) do Exército Brasileiro publicou em 2011 as normas da Especificação Técnica para Aquisição dos Dados Geoespaciais Vetoriais (ET-ADGV).

Este documento definiu critérios para coleta de dados espaciais visando complementar documentos publicados anteriormente pelo mesmo órgão que versavam sobre a Infraestrutura de Dados Espaciais (INDE) e os modelos conceituais de dados geoespaciais. Como contribuição, a ET-ADGV trouxe a especificação do Padrão de Exatidão Cartográfica para Produtos Cartográficos Digitais (PEC-PCD) que criou uma classe mais restritiva para coleta de dados geoespaciais, considerando que os instrumentos geotecnológicos aliados aos SIG possibilitam maior acurácia posicional dos dados espaciais. Neste documento, a Classe-C dada pelo decreto de 1984 passa a ser considerada como Classe-D na PEC-PCD; já a Classe-A se torna a Classe-B na PEC-PCD; e foi criada uma nova Classe-A com maior exigência para atendimento a esse padrão de qualidade. De acordo com a DSG (2011, p. 17):

Para que um produto digital possa ser aceito como produto de Referência do SCN, e consequentemente para a INDE, a exemplo do previsto para o PEC (produtos impressos em papel), noventa por cento (90% ou 1,6449*EP) dos erros dos pontos coletados no produto cartográfico, quando comparados com as suas coordenadas levantadas em campo por método de alta precisão, devem apresentar os valores iguais ou inferiores aos previstos

ao PEC-PCD, devendo ainda apresentar os valores de [Erro Padrão] EP também iguais ou inferiores aos previstos [nos quadros a seguir].

Os valores que determinam o PEC-PCD para as grandes escalas estão dispostos nos Quadros 2.03 ao 2.05. Os quadros mostram os limites de classes para o PEC de acordo com a escala e equidistância das curvas de nível. Observa-se que a Classe-A para o PEC relativo à altimetria por curvas de nível corresponde à Classe-B relativa ao PEC para os MDS, MDT e Pontos Cotados.

A importância em se verificar e validar a qualidade dos produtos cartográficos gerados está no fato de que a cartografia visa produzir modelos representativos da realidade que serão utilizados para representação territorial e tomada de decisões. E a facilitação promovida pelos avanços tecnológicos tem atraído profissionais não especialistas para realizar mapeamentos, sobretudo com a popularização da tecnologia drone (SANTOS et al., 2016). Nesse sentido, a definição do PEC-PCD pode ser considerada como um marco importante para a cartografia nacional, pois estabelece níveis de qualidade e rigor para aquisição de dados espaciais, visando atender a um padrão focado na INDE.

Quadro 2.03 – PEC da Planimetria dos Produtos Cartográficos Digitais

PEC	PEC-PCD	1:1.000		1:2.000		1:5.000	
		PEC(m)	EP(m)	PEC(m)	EP(m)	PEC(m)	EP(m)
-	A	0,28	0,17	0,56	0,34	1,40	0,85
A	B	0,50	0,30	1,00	0,60	2,50	1,50
B	C	0,80	0,50	1,60	1,00	4,00	2,50
C	D	1,00	0,60	2,00	1,20	5,00	3,00

Fonte: Adaptado de DSG (2011)

Quadro 2.04 – PEC Altimétrica dos MDS, MDT e Pontos Cotados

PEC-PCD	1:1.000		1:2.000		1:5.000		1:10.000	
	PEC(m)	EP(m)	PEC(m)	EP(m)	PEC(m)	EP(m)	PEC(m)	EP(m)
A	0,27	0,17	0,27	0,17	0,54	0,34	1,35	0,84
B	0,50	0,33	0,50	0,33	1,00	0,66	2,50	1,67
C	0,60	0,40	0,60	0,40	1,20	0,80	3,00	2,00
D	0,75	0,50	0,75	0,50	1,50	1,00	3,75	2,50

Fonte: Adaptado de DSG (2011)

Quadro 2.05 – PEC Altimétrica para Curvas de Nível

PEC	PEC-PCD	1:1.000 (Eqd = 1m)		1:2.000 (Eqd = 1m)		1:5.000 (Eqd = 2m)	
		PEC(m)	EP(m)	PEC(m)	EP(m)	PEC(m)	EP(m)
A	A	0,50	0,33	0,50	0,33	1,00	0,67
B	B	0,60	0,40	0,60	0,40	1,20	0,80
C	C	0,75	0,50	0,75	0,50	1,50	1,00
	D	1,00	0,60	1,00	0,60	2,00	1,20

PEC	PEC-PCD	1:10.000 (Eqd = 5m)		1:25000 (Eqd = 10m)	
		PEC(m)	EP(m)	PEC(m)	EP(m)
A	A	2,5	1,67	5,00	3,33
B	B	3,00	2,00	6,00	4,00
C	C	3,75	2,50	7,50	5,00
	D	5,00	3,00	10,00	6,00

Fonte: Adaptado de DSG (2011)

Conforme exposto, se for adotado somente o Decreto de 1984 e a ET-ADGV de 2010 como referência, entende-se que para que um produto cartográfico seja classificado quanto ao PEC analisado, o mesmo deve atender a duas condições: i) 90% dos pontos testados devem apresentar valores de discrepâncias iguais ou inferiores ao valor do PEC em relação à escala e à classe testada e; ii) o RMS³ (*Root Mean Square*) das discrepâncias deve ser igual ou inferior à tolerância do EP definido pela norma (Quadros 2.03 ao 2.05). Se as duas condições forem atendidas, o produto cartográfico é classificado de acordo com a classe e a escala testada. Se uma das duas condições falhar, o produto não é classificado para a classe e escala de teste.

Entretanto, alguns autores apresentam críticas ao Decreto nº 89.817/1984 e à ET-ADGV, pois esses instrumentos normativos não especificam quais métodos devem ser adotados para a verificação da acurácia posicional e, portanto, os resultados podem omitir alguns erros importantes.

Para Santos (2010) o primeiro erro das normas brasileiras está em utilizar o termo “exatidão cartográfica”, pois não se busca uma representação perfeita das formas da superfície terrestre, mas sim a melhor aproximação ao que se entende que é o real. Nesse sentido, a utilização do termo “acurácia” seria mais coerente com o propósito dessas normativas. O autor trabalha o conceito de acurácia nos lembrando que ela se refere tanto a efeitos aleatórios quanto a efeitos sistemáticos, portanto a análise da acurácia deve ser uma junção da análise da precisão com a análise da tendência. Assim, o dado espacial deve ser avaliado diante dos quesitos apontados pela ET-ADGV

³ De acordo com Santos (2010), o RMS é uma medida importante de avaliação da acurácia, sendo utilizada para resumir a grandeza da discrepância posicional em um produto cartográfico.

e submetido a um teste de tendência para verificação da presença de erros sistemáticos. Se o mesmo for aprovado em todas as análises este dado poderá ser considerado como acurado para a escala e a classe testada (SANTOS et al., 2016). De acordo com estes autores, essa análise se justifica, “pois, ao se utilizar um dado tendencioso a integração entre dados fica impossibilitada, podendo gerar análises inconsistentes, influenciando negativamente os processos decisórios, gerando produtos que não condizem com a realidade de campo” (SANTOS et al., 2016. p. 632). Os autores explicam que a análise da tendência pode ser realizada por meio de diferentes métodos, sendo que se o dado tiver uma distribuição normal sugere-se realizar o teste *T-Student*. Caso contrário, deve-se empregar “estatísticas espaciais que retornem a média direcional das discrepâncias e a variabilidade desta média, podendo assim dizer se o dado espacial está com presença ou não de tendência” (SANTOS et al., 2016. p. 632).

Outro problema relatado por esses autores se refere à alocação dos pontos de checagem em solo para verificar a acurácia do dado analisado. Por exemplo, amostras agrupadas não atenderão à análise, pois farão a avaliação somente do trecho onde se agrupam. “Logo, técnicas de estatística espacial, como métodos do Vizinho Mais Próximo e a Função K de Ripley, podem ser bastante úteis para a análise das amostras quanto à distribuição espacial das mesmas” (SANTOS et al., 2016. p. 632).

Uma alternativa para essa situação se encontra em Santos (2010), que sugere a definição de amostras dispersas para a verificação da acurácia do dado analisado. O autor destaca que usuários experientes em cartografia e SIG tendem a ter habilidade para projetar pontos de checagem dispersos somente por meio da análise visual do dado. Entretanto, é possível se basear em métodos de análise espacial para definir a alocação dos pontos de controle. Santos (2010) se baseia nos trabalhos de Wong e Lee (2005) para propor a combinação de uma amostragem sistemática com uma amostragem aleatória para alcançar o padrão disperso de distribuição de amostras, conforme apresenta a Figura 2.08.

A proposta se baseia na definição de uma grade regular que recobra toda a área de interesse em investigação e dentro de cada um dos quadrantes escolhe-se uma localização aleatória que sirva como ponto de checagem.

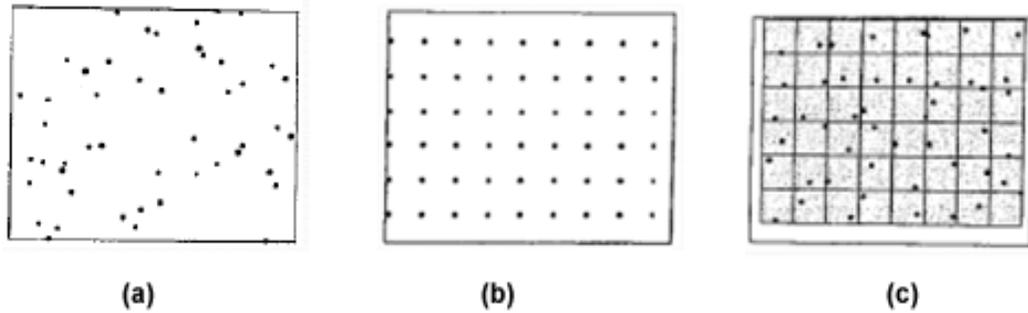


Figura 2.08 – Tipos de amostragem espacial. a) Amostragem aleatória; b) Amostragem sistemática; c) Junção da amostragem sistemática e aleatória. Fonte: Wong e Lee (2005) *apud* Santos et al. (2016).

Outra deficiência observada nas normas brasileiras é a ausência da definição da quantidade de pontos de controle que devem ser coletados para checagem de dados. Santos (2010), Santos et al. (2015), Santos et al. (2016) e Neto et al. (2017) adotam a norma americana NSSDA (*National Standard for Spatial Data Accuracy*) como referência e trabalham com a coleta de um mínimo de 20 pontos bem distribuídos para checagem no processo de avaliação da acurácia, como consta em Federal Geographic Data Committee (1998).

É importante frisar que os pontos de checagem (ou pontos de teste) do produto são diferentes dos PC utilizados para o georreferenciamento das imagens. Estes devem ser coletados antes da captura das imagens com o drone, deixando marcações no solo para que os locais de coleta das coordenadas XYZ sejam visíveis nas imagens. Aqueles podem ser coletados posteriormente, após a construção do ortomosaico final e servem para avaliar a acurácia deste produto. Entretanto, não está clara, ainda, qual a relação entre a quantidade de pontos de controle por área mapeada para que se atinja o PEC-PCD desejado. Zanetti, Gripp Junior e Santos (2017) apresentaram uma proposta de utilização de um ponto de controle para uma área de 9ha por meio da criação de quadrantes de 300x300m. Os autores coletaram, ao todo, 15 pontos de controle, o que foi suficiente para alcançar o PEC-PCD Classe-A para Planimetria (XY), para a escala de teste de 1:1.000, dentro de uma área de 144 hectares. Os autores não avaliaram o resultado para o PEC-PCD da altimetria.

Portanto, nos interessa conhecer, para o equipamento utilizado nesta pesquisa, quantos PC são necessários para geração de produtos cartográficos digitais que atendam ao PEC-PCD Classe A para planimetria e altimetria. Para isso, é realizado o estudo de caso no bairro Confisco onde são realizados testes de acurácia posicional dos dados.

2.3. Geodesign

Esta seção tem por objetivo apresentar conceitos e métodos do Geodesign que são bases metodológicas e conceituais para os estudos de caso que testaram a coleta e representação de dados com auxílio de drone como suporte à realização de oficinas de planejamento compartilhado e participativo. O uso do drone é proposto tanto para geração de dados espaciais que servem para realização do diagnóstico inicial, quanto para geração de fotografias aéreas e modelos 3D visando contribuir para a ampliação da geovisualização e melhorar as condições de participação dos atores envolvidos no processo. Portanto, neste tópico é dado enfoque às etapas de preparação da oficina de Geodesign, que consistem na concepção dos Modelos de Representação, de Processo e de Avaliação, ou seja, nas etapas iniciais do framework apresentado por Stenitz (2012) que serão detalhadas no tópico 2.3.2.1 do presente capítulo.

2.3.1. Definições e conceitos

Segundo Steinitz (2012) a terminologia Geodesign é nova, mas seus fundamentos não. A ideia de planejamento integrado da paisagem surge antes mesmo do desenvolvimento dos SIG, nos anos 1960, tendo como marco notório a publicação do livro *Design with nature* de Ian McHarg em 1969. Este autor defende que os fenômenos naturais são processos interativos dinâmicos regidos por princípios físicos, os quais proporcionam oportunidades e restrições ao ser humano. Nesse sentido, as paisagens podem ser avaliadas por meio da integração de planos de informações, que são as variáveis componentes principais de sistemas sobre a paisagem ambiental natural e transformada, visando à compreensão de sua adequabilidade para diferentes usos (McHARG, 1971). Assim, o Geodesign surge como um conjunto de conceitos e métodos que são derivados das ciências geográficas aliadas àquelas de projeto, tais como arquitetura, arquitetura da paisagem, planejamento urbano e regional, dentre outras (STEINITZ, op. cit.). Flaxman (2010) complementa essa definição ao afirmar que o Geodesign é um método de projeto e de planejamento que conecta intimamente a criação de uma proposta de projeto com simulações de impacto guiadas pelo contexto geográfico.

Os estudos de Geodesign têm como característica intrínseca a busca pela decisão de um futuro alternativo para uma paisagem sob análise por meio de um processo colaborativo que envolve uma equipe multidisciplinar composta por profissionais de design, expertos em ciências geográficas, tecnologias da informação e pessoas do lugar. É um processo que integra análise, avaliação, projeto e técnicas de suporte à tomada de decisão usando tecnologias disponíveis para planejar ambientes construídos e naturais (STEINITZ, 2012; MOURA et al., 2016; CAMPAGNA et al., 2016).

Steinitz (2012, p. 3) afirma que o Geodesign é “baseado e formado por um conjunto de questões e métodos necessários para resolver grandes, complicados e significativos problemas de projeto em diversas escalas geográficas, variando de um bairro para uma cidade, uma paisagem ou uma bacia hidrográfica”. É, portanto, multiescalar e na medida em que se aproxima da escala local se aumenta a percepção das singularidades e se deve buscar trabalhar as interações e as vivências; na direção oposta, ampliando em direção à escala global, se percebem as leis gerais, a unicidade, e se deve buscar trabalhar a estabilidade e os tratados gerais.

Os trabalhos de Geodesign começam a surgir em maior número a partir de 2010, quando se conformou um contexto de desenvolvimento geotecnológico que favorecia a consolidação e difusão de suas práticas e conceitos. De fato, o termo é usado no sentido proposto pela primeira vez em 2005 num encontro de geoprocessamento patrocinado pela empresa ESRI de tecnologias de geoinformação (MILLER, 2012; DANGERMOND, 2009). Vê-se, portanto, a utilização dos SIG como elemento chave para o estabelecimento de uma estrutura metodológica que visa otimizar a tomada de decisão e a gestão e o planejamento da paisagem por meio da associação de uma análise sistêmica com propostas de intervenção na paisagem feita por diferentes atores sociais (TOMLIN, 2011; ERVIN, 2011; LEE et al., 2014; FONSECA, 2015). É a partir desse arcabouço técnico, científico, geográfico e cultural que Steinitz (2012) estrutura um framework geral que visa permitir que esses campos bem estabelecidos se desenvolvam mais e colaborem de modo mais efetivo. Moura et al. (2016) reforça que a capacidade de criar um projeto de forma colaborativa e rápida e de medir os impactos do projeto naquela paisagem é o que o diferencia dos processos de design tradicionais.

É interessante ressaltar que nenhum estudo de Geodesign será igual a outro, basicamente porque não existem no mundo espaços com características perfeitamente idênticas, ou seja, um projeto haverá sempre uma forte dependência das características identificadas naquela paisagem

que se busca analisar (STEINITZ, 2012). Miller (2012) reforça essa ideia ao introduzir o conceito de *geo-scape* – entendido como a zona de vida no planeta, incluindo tudo que está abaixo, sobre e acima da superfície terrestre que sustenta a vida – para afirmar que o geodesign consiste num processo de design no espaço geográfico (*geo-scape*) que, para tanto, deve ser embasado pelas suas características identificadas. Para isso foi desenhado, portanto, um framework para o geodesign (Steinitz op. cit.)

2.3.2. O Framework para o Geodesign

O Framework do Geodesign estruturado por Steinitz (2012) ao longo de décadas é composto por seis perguntas-chave e suas respostas consistem em modelos que possuem conteúdos e níveis de abstração específicos para cada caso de estudo individual. As questões chave são:

1 – *Como a área de estudo deve ser descrita em conteúdo, espaço e tempo?* Essa questão é respondida pelos **modelos de representação**, os dados nos quais o estudo se apoia.

2 – *Como a área de estudo opera? Quais são as relações funcionais e estruturais entre seus elementos?* Essa questão é respondida pelos **modelos de processo**, que fornecem informação para as várias análises diagnósticas do estudo.

3 – *A atual área de estudo está funcionando bem?* Essa questão é respondida pelos **modelos de avaliação**, que são dependentes do conhecimento cultural das partes envolvidas tomadoras de decisão.

4 – *Como a área de estudo deve ser alterada? Por quais políticas e ações, onde e quando?* Essa questão é respondida pelos **modelos de mudança**, que serão desenvolvidos e comparados no estudo de geodesign. Esses também geram dados que serão usados para representar condições futuras.

5 – *Quais diferenças as mudanças podem causar?* Essa questão é respondida pelos **modelos de impacto**, que são diagnósticos produzidos pelos modelos de processo mediante as condições alteradas.

6 – *Como a área de estudo deve ser alterada?* Essa questão é atendida pelos **modelos de decisão**, que, como os modelos de avaliação são dependentes do conhecimento cultural dos responsáveis pelas tomadas de decisão (STEINITZ, 2012, p. 26, grifos do autor).

Steinitz propõe que todas as questões sejam realizadas pelo menos três vezes ao longo do processo, de modo que permitam: 1) entender a área de estudo, quando são feitas as perguntas “Por que”; 2) definir a metodologia do projeto, quando são feitas as perguntas “Como”; 3) executar o

estudo, quando são feitas as perguntas “Onde, O que, Quando”. As três iterações propostas por Steinitz (op. cit.) estão ilustradas na Figura 2.09.

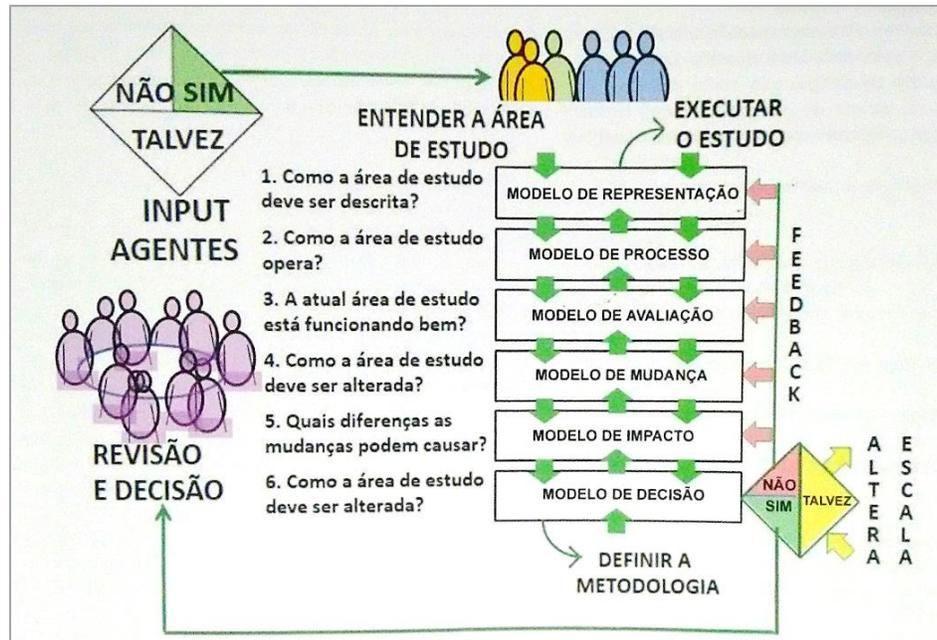


Figura 2.09 – Estrutura do Framework para o geodesign. Fonte: Steinitz (2012, tradução Moura, 2016).

Ainda de acordo com o autor, cada um dos modelos possui um objetivo específico e todos eles são interligados entre si, ou seja, uma alteração em algum dos modelos ou mesmo um “mau funcionamento” de algum deles implicará em alterações ou “mau funcionamento” dos demais. De modo resumido, os objetivos de cada modelo são:

- 1 – Modelo de Representação: caracterizar a área de estudo;
- 2 – Modelo de Processo: explicar como a área de estudo opera, ou seja, como se dão as interações entre os elementos estruturantes da paisagem;
- 3 – Modelo de Avaliação: entender se a área de estudo está operando bem;
- 4 – Modelo de Mudança: entender como deve ser alterada a área de estudo. As premissas para o estabelecimento desse modelo serão identificadas a partir da etapa anterior;
- 5 – Modelo de Impacto: entender quais diferenças as mudanças podem causar;
- 6 – Modelo de Decisão: sintetizar os interesses dos atores envolvidos no processo e apresentar a decisão tomada de maneira democrática.

Considerando a última iteração do framework – quando se executa o estudo – os três primeiros modelos são ligados à preparação da oficina de Geodesign que deve ser feito pela equipe de coordenação, ou seja, é o momento em que se faz uma avaliação das condições existentes dentro daquele contexto geográfico. Os três últimos modelos, conseqüentemente, são referentes à oficina em si, isto é, momento em que estão reunidos todos os atores envolvidos no processo para criarem e debaterem propostas para a área de estudo, ou seja, proposições e avaliações de como aquele contexto geográfico pode ser mudado e quais as conseqüências disso (MILLER, 2012; CESARE et al., 2018). Essas informações são resumidas no Quadro 2.06.

Quadro 2.06 – Abordagem metodológica do Geodesign aplicado ao fluxo de trabalho da oficina

Modelo	Fase do Processo	Atores	Atividades
Representação	Preparação da oficina	Equipe de Coordenação Local	Pesquisa de documentos e legislações relacionadas ao tema e à área de estudo; Escolha dos sistemas a serem representados como estrutura de suporte do projeto; Coleta de dados e análise.
Processo	Preparação da oficina	Equipe de Coordenação Local	Análise da dinâmica territorial de cada sistema.
Avaliação	Preparação da oficina	Equipe de Coordenação Local	Criação dos mapas de avaliação dos sistemas selecionados.
Mudança	Oficina	Participantes da oficina	Desenho de projetos conceituais e propostas de políticas relacionadas a cada sistema na forma de diagramas georreferenciados em uma plataforma SIG para compartilhamento de dados; Seleção dos diagramas de interesse por grupos das primeiras propostas de projeto de acordo com os interesses dos grupos
Impacto	Oficina	Participantes da oficina	Análise em tempo real dos impactos dos projetos sobre os mapas de avaliação de cada sistema
Decisão	Oficina	Participantes da oficina	Negociação visando à composição de um projeto final com auxílio de sociogramas ⁴ e plataforma SIG ⁵

Fonte: Traduzido e adaptado de Cesare et al. (2018)

No processo de preparação da oficina é necessário realizar a pesquisa documental e de dados espaciais disponíveis para aquela área de estudo, bem como realizar as escolhas de *como* representá-los, isto é, quais dados serão usados, como serão tratados ou processados e quais formas

⁴ O sociograma é uma técnica usada para demonstrar inter-relações entre atores sociais, apresentando assim a estrutura social de um grupo e gerando bases para tomadas de decisão (BASTIN, 1966).

⁵ Diversos estudos de caso como os de CESARE et al. (2018) e CAMPAGNA et al. (2016) usaram a plataforma Geodesignhub desenvolvida especialmente para a condução do workshop. Entretanto, novas propostas como a GISColab de MOURA e FREITAS (2020) estão sendo testadas.

de visualização serão escolhidas para a apresentação. Nesta etapa é crucial avaliar o público que participará da oficina, pois é imprescindível que todos tenham oportunidade de terem plena compreensão das informações que são tratadas, ou seja, por vezes a cartografia tradicional pode não bastar para que todos os atores compreendam a informação que se deseja tratar e se faz necessário lançar mão de outros recursos de representação e visualização.

Neste sentido, acredita-se que o uso da geotecnologia drone contribua nesses dois aspectos que são importantes para a condução do estudo, que são: a captura dos dados espaciais visando à criação e atualização de base cartográfica e a representação do território por meio de recursos adicionais aos produtos cartográficos tradicionais, como fotos aéreas e modelos tridimensionais visando ampliar as condições de geovisualização durante os encontros de trabalho.

É importante lembrar que a metodologia de Geodesign se baseia na criação coletiva de ideias por decisões negociadas entre os atores, na realização de revisões coletivas visando a geração de consenso e na tomada de decisões de modo compartilhado. Portanto, é crucial que todos os participantes entendam o processo, bem como as informações que são ali tratadas, sendo esta a principal justificativa para se dedicar ao uso de recursos alternativos para geovisualização da informação a fim de apoiar as decisões. E, dessa maneira, fazer com que as pessoas entendam e participem do planejamento da paisagem de acordo com seus valores culturais, usando o seu conhecimento pessoal acerca do lugar e respeitando as características que estão sendo retratadas (MOURA et al., 2016).

2.3.2.1. Os modelos de representação, de processo e de avaliação

Durante o processo de preparação do seminário de Geodesign são definidos sistemas de análise que correspondem a eixos temáticos que buscam contemplar as características principais da paisagem analisada que podem ser, por exemplo, sistema das águas, das áreas verdes, de transporte, de urbanização, de industrialização, de preservação ambiental, etc. Para cada um dos sistemas deverá ser criado um mapa base que representa um diagnóstico que é elaborado, normalmente, por meio de álgebra de mapas a partir de uma composição de dados diversos. Os mapas de síntese gerados são classificados de acordo com seu nível de adequabilidade para o

sistema, representando se a condição é factível, adequada, possível, inapropriada ou existente (STEINITZ, 2012).

Os mapas dos sistemas consistem em representações finais dos Modelos de Avaliação e serão o input para a análise de impacto gerada a partir dos diagramas elaborados durante a oficina de Geodesign. No entanto, para se chegar ao Modelo de Avaliação é necessário primeiramente compreender quais dados serão usados e como eles serão apresentados (Modelo de Representação) e como esses se distribuem e se processam no território (Modelos de Processo). Portanto, as escolhas já na primeira etapa são cruciais para todo o processo subsequente. A Figura 2.10 mostra o processo de criação de um Modelo de Avaliação de Vulnerabilidade Espeleológica elaborado por Casagrande (2018) que foi baseado nas variáveis de presença de cavidades e no mapeamento do potencial de cavidades.

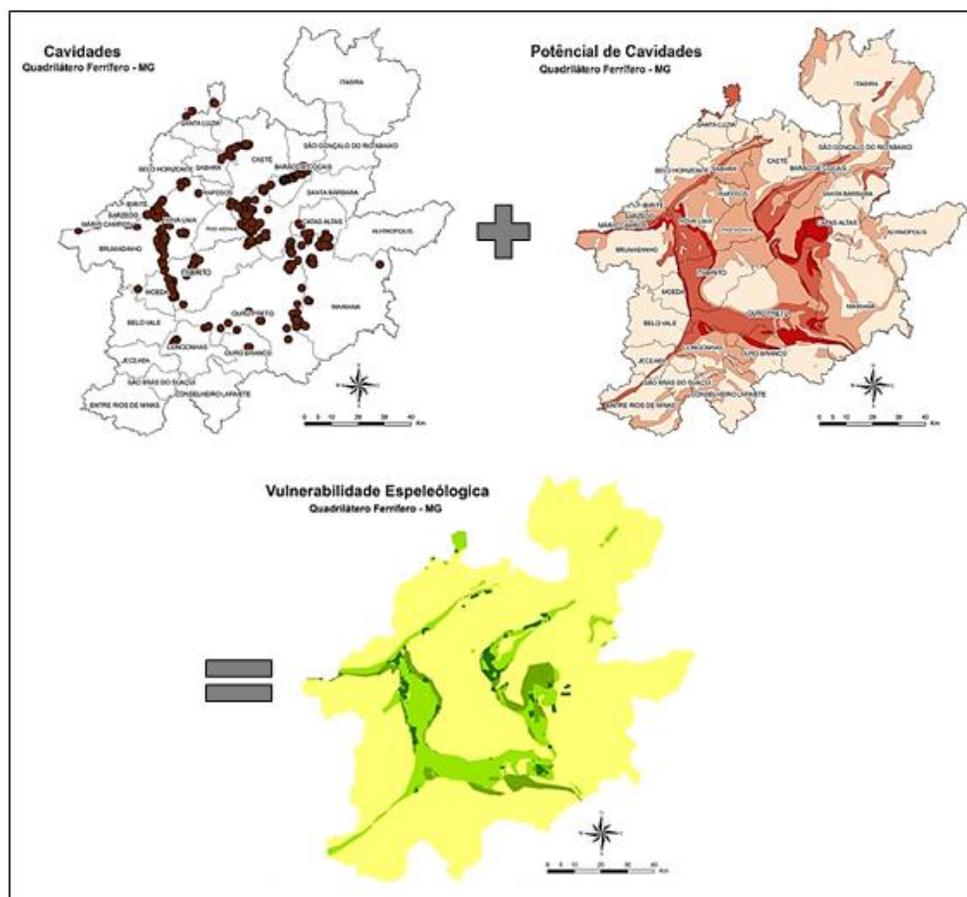


Figura 2.10 – Modelo de Avaliação de Vulnerabilidade Espeleológica. Fonte: Adaptado de Casagrande (2018)

Fica claro que a ausência de uma informação, por exemplo uma cavidade não mapeada, condicionará ao modelo um resultado incoerente com a realidade. Além disso, a abstração de que o sistema de cores do amarelo ao verde indica da menor à maior vulnerabilidade espeleológica e que isso advém de uma composição de dados pode não ser direta e óbvia para todos os participantes de um seminário, demandando, portanto, outros recursos de geovisualização que sejam complementares. Cabe também colocar que aquilo que é potencial positivo para um ator pode ser negativo para outro, pois depende dos valores que ele representa em sociedade. A própria escolha das variáveis a serem combinadas e a hierarquia destas variáveis é um julgamento individual, uma opinião, ainda que seja com bases técnicas. Então sempre há riscos de ruído nas informações, que precisam ser bem elucidadas.

As experiências apresentadas por Zyngier (2016) e por Casagrande (2018) nos ajudam a compreender que os *Modelos de Representação* consistem no levantamento dos principais aspectos da área de estudo, o que é expresso através de variáveis mapeadas e na organização de um banco de dados georreferenciados, seja por meio de coleta de dados *in loco*, seja através da produção de dados a partir de informações documentais, seja por meio da utilização de dados terciários já elaborados por outras instituições. Os *Modelos de Processos* são condicionados pelos dados produzidos no *Modelo de Representação* e visam compreender a dinâmica territorial da área de estudo, isto é, quais são os processos e interações, como eles se desenvolvem, quais fenômenos e ocorrências são percebíveis, quais fatores os condicionam e como as ocorrências interferem no território. Em outras palavras, consiste em extrair informações a partir dos dados iniciais. Por fim, os *Modelos de Avaliação* buscam traduzir como a área de estudo está funcionando, a partir das informações geradas sobre os dados analisados, visando estabelecer bases para julgamentos de adequabilidade e vulnerabilidade, mas baseados em opiniões, ainda que técnicas. A lógica é que a informação seja transformada em conhecimento aplicado e isso se dá, normalmente, por meio da hierarquização das classes das variáveis analisadas.

Steinitz (2012) reforça que o Geodesign depende fortemente dos Modelos de Avaliação, pois eles influenciam diretamente os resultados que serão computados nos Modelos de Impacto e, conseqüentemente, influenciarão o Modelo de Decisão, uma vez que impactos negativos são tendencialmente evitados. Sim, porque os participantes irão colocar suas propostas de mudança no território seguindo esses modelos usados como fundos de trabalho, e a adequabilidade de suas propostas serão julgadas, nos modelos de impacto, de acordo com a colocação de propostas em

lugares previamente definidos como “indicados”. Os Modelos de Avaliação podem ser considerados, ainda, como uma avaliação qualitativa do ambiente e são a peça-chave para que os diagramas propostos pelos atores envolvidos na oficina (Modelo de Mudanças) sejam pautados em um diagnóstico do presente visando o melhor futuro possível (AFROOZ; BALLAL; PETTIT, 2018).

Steinitz (2012) indica que é durante a terceira iteração que os dados se tornam o interesse central do estudo e começam a ser representados em um formato útil para as propostas do estudo. Isto porque na primeira iteração ainda estão sendo testados os dados escolhidos e os modelos, na segunda iteração é feita revisão metodológica de todo o processo e a terceira iteração, esta sim, é a etapa final decisória. Então para que este momento aconteça adequadamente, antes dele é necessário ajustar os desafios ligados à escala, à disponibilidade dos dados, aos limites e fronteiras, à compatibilização e à interoperabilidade. O autor elenca uma série de questões que devem ser respondidas pela base de dados visando contemplar as demandas do estudo, como, por exemplo, *onde estão as fronteiras da área de estudo? Qual a geografia e a história física, social e econômica da área? Existem dados digitais disponíveis? São acessíveis? Quais as escalas? Quais as fontes? Qual o custo? Qual o modo de representação?* Dentre outras.

De um modo geral, entende-se que parte significativa dessas questões podem ser resolvidas quando se há uma autonomia para coleta de dados primários *in loco*. Nesse sentido, a utilização dos drones no âmbito do Geodesign é justificada em toda a etapa de planejamento do seminário, pois estudos mostram a possibilidade de coleta de dados em alta resolução espacial e temporal, com agilidade e baixo custo. Os produtos podem ser utilizados para composição dos Modelos de Representação bem como para o suporte à geovisualização em etapas sucessivas do framework.

Flaxman (2010) lembra, ainda, que é importante considerar como as a escolha das representações digitais por parte do planejador afetam o modo como as propostas são vistas e avaliadas. O autor destaca três preocupações neste sentido, que são:

- 1) Como usar as habilidades gráficas dos designers para gerar representações que são realmente bonitas, mas ao mesmo tempo com uma estrutura semântica que as tornem computáveis e compartilháveis?
- 2) Como representamos a função e a estrutura, especialmente de sistemas complexos, por exemplo sistemas humanos e naturais dinâmicos acoplados entre si? Aqui o autor considera

que a maioria das representações nesse sentido são simplesmente inventários de objetos estáticos.

- 3) Como podemos estruturar as representações de uma forma que convide à participação pública mais profunda e substancial, de modo que o conhecimento formal e informal (arte, ciência e cultura) possa ser explorado?

Acredita-se que não há uma solução possível para a segunda questão, uma vez que a natureza do processo e dos dados trabalhados exige por essência um retrato no instante em que se realiza a análise. Entretanto, as questões 1 e 3 vêm sendo, de certo modo, respondidas por estudos realizados ao longo dos anos que se dedicam a compreender o papel das representações visuais como suporte à participação cidadã em processos de planejamento colaborativo.

2.3.3. Visualizar para projetar

Miller (2012) nos lembra que, normalmente, as pessoas do lugar não têm experiência em projetar e são convidadas a atuar como tal, pois conhecem profundamente o local e suas reais necessidades de mudanças e melhorias. Contudo, os mapas de avaliação podem se mostrar como entraves para a visualização das informações, criando impedâncias no processo de imaginação, reconhecimento, avaliação e proposição.

Segundo o autor a natureza do design é complexa e as bases para entendê-la residem em três características fundamentais para a maioria das atividades de projeto: raciocínio abduativo, rápida interação e colaboração.

O Raciocínio Abduativo é uma extensão da lógica clássica Aristotélica, indo além do que pode ser logicamente *induzido* (raciocínio do específico para o geral) e/ou do que pode ser logicamente *deduzido* (raciocínio do geral para o específico) para o que pode ser hipotizado, adivinhado ou imaginado para além do que é lógico (MILLER, 2012, p. 19, tradução nossa, *grifos do autor*)⁶

Ainda de acordo com o autor, este é um tipo de raciocínio típico dos *designers*, ou projetistas, que são desafiados a transitar entre os raciocínios dedutivo e indutivo para opinar sobre

⁶ Texto original: *Abductive thinking is an extension of classical Aristotelian logic, moving beyond what can be logically induced (bottom-up thinking) and/or what can be logically deduced (top-down thinking) to what might be hypothesized, guessed, or imagined beyond what is logical.*

determinada situação, superando a suposição racional, sendo requisitados a dar um salto abduutivo e, ao fazê-lo, aprender com as consequências deste salto. Isto exige capacidade em lidar e em favorecer o diálogo com as pessoas.

A *Rápida Interação* se faz necessária, pois o raciocínio projetivo consiste num processo interativo que ocorre rapidamente e espontaneamente. É ideal que não haja interrupções ou divergências e será mais bem suportado por ferramentas que não requerem atenção durante o seu uso. Os *designers* precisam ser livres para se deixarem ser guiados pela imaginação, para explorar e expressar suas ideias com o mínimo de resistência possível. Além disso, deve haver a possibilidade de revisitar rapidamente ou fazer outras explorações, sempre aprendendo com os resultados anteriores (MILLER, op. cit.).

Já a *Colaboração* diz respeito ao compartilhamento de considerações pré-projeto, ideias, estratégias, soluções propostas, avaliações e estratégias de implementação em um ambiente de espaço-tempo determinado. E a capacidade de suporte das ferramentas e materiais usados nesta colaboração é crucial para o sucesso ou não de um projeto (MILLER, op. cit.)

Entende-se, portanto, que o processo de design requer a promoção de *inputs* de fácil compreensão e ferramentas de fácil manuseio para formulação de hipóteses e compartilhamento de ideias com zero impedância, visando alcançar a cocriação e possibilitar a tomada de decisões. O autor destaca, ainda, a importância dos recursos de visualização nos processos de design ou projeto interativo e colaborativo, que são ilustrados na Figura 2.11.

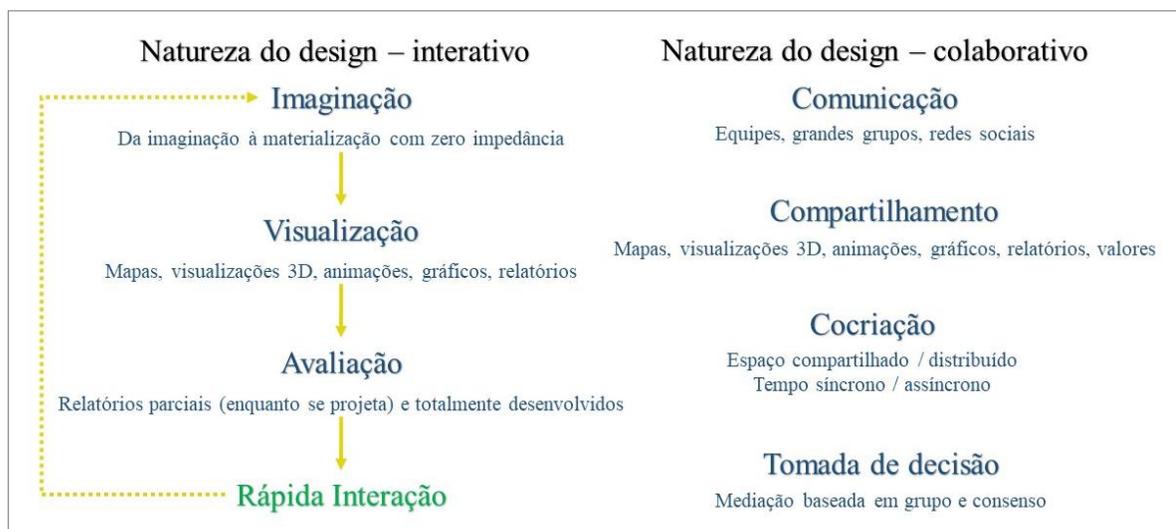


Figura 2.11 – Natureza do design interativo e colaborativo. Fonte: Traduzido e adaptado de Miller (2012)

Nessa perspectiva, os recursos de visualização possuem um papel central no raciocínio projetivo, seja no seu uso como para explicação e materialização de ideias, seja no seu uso como base para o compartilhamento de informações pré-estabelecidas. Mas vê-se sempre o papel da visualização como um elo entre diferentes partes que deve, como ideal, não gerar impedâncias no processo de trocas ao passo que fornece *inputs* aos atores envolvidos.

Flaxman (2010) sustenta esta visão ao afirmar que a representação está no cerne do design, e que os projetistas devem estar atentos à relação entre visualização e participação para escolher representações que sejam amplamente compreendidas e que favoreçam a criatividade entre as partes interessadas por meio do uso de representações interativas. Entretanto, Steinitz (2012, p. 185) aponta que o entendimento das formas de visualização e comunicação permanece ainda como uma relevante questão de pesquisa, pois a “efetiva comunicação bidirecional é cada vez mais uma necessidade essencial para o Geodesign”. O autor ainda acredita que o primordial não é a mensagem elaborada pelo projetista, mas a mensagem que é demandada pelo espectador tomador de decisão. A função dos Modelos de Representação, nesse sentido, é a de permitir a colaboração e implementação do framework para todos os envolvidos no processo de planejamento, “mas talvez seja ainda mais importante que permita a visualização e comunicação com as pessoas do lugar” (ib.id.). A Figura 2.12 apresenta o esquema de comunicação entre as partes envolvidas na oficina de Geodesign.

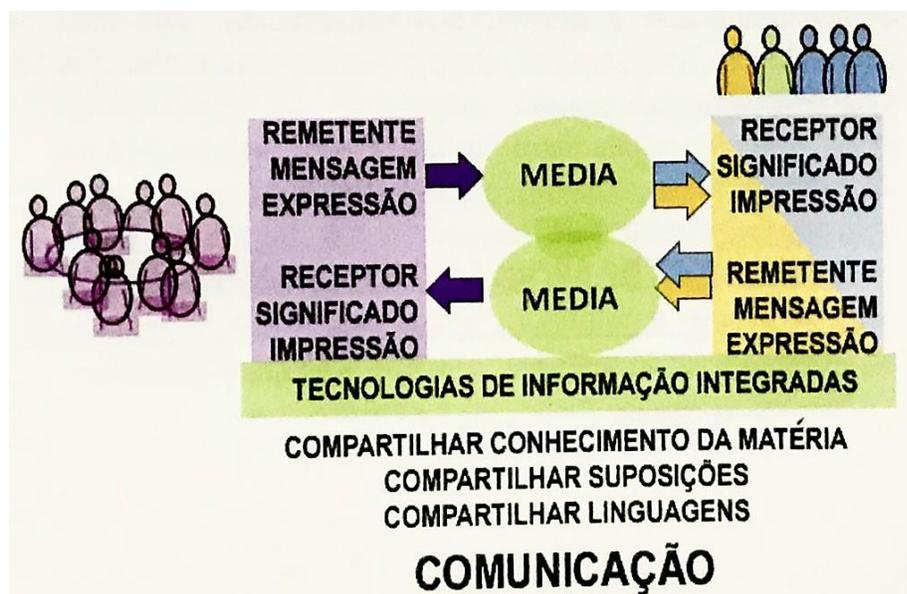


Figura 2.12 – Processo de comunicação em seminários de geodesign. Fonte: Steinitz (2012, tradução Moura, 2016)

Moura, Ribeiro e Benevides (2018) avançam nesse sentido e mostram como os recursos de geovisualização são esteios para o processo de Geodesign. De acordo com as autoras, em uma oficina de geodesign são colocados em debate valores importantes acerca das características do território e cada participante porta consigo seu background social e cultural. Assim, para a criação colaborativa de futuros alternativos para uma área de estudo, faz-se necessário o compartilhamento de ideias e decisões; isso, por sua vez, depende do estabelecimento de uma linguagem comum que é sustentada por protocolos que devem ser definidos entre as pessoas, assim como para os recursos computacionais usados. Neste ponto, vê-se que o elo que permite a conexão entre a realidade (compartilhada) e os mapas mentais (individuais) são as representações digitais (Figura 2.13). As autoras ressaltam como a ampliação da visualização favorece que os participantes da oficina tenham mais domínio sobre “o que”, “onde” e “quanto” em suas propostas.

As autoras apresentam ainda como os esforços em melhoria das condições de geovisualização possibilitam aproximar o especialista do decisor e do utilizador e acreditam que seja próspero investir em SIG3D como suporte aos processos de cocriação. Observa-se que tais afirmações são baseadas em experiências anteriores, como se vê em Moura et al. (2016) que relatam dificuldades que participantes de oficinas de Geodesign tiveram no momento de desenhar as propostas, gerando diagramas descontextualizados em relação aos Modelos de Avaliação e com dimensões exageradas. Os autores já destacavam naquele momento que um dos caminhos para afrontar essa dificuldade seria investir em recursos de geovisualização com objetivo de fazer com que os participantes compreendessem melhor as características do lugar e favorecer uma conexão mais efetiva entre a realidade e a modelagem.

Outros autores também relataram esforços na promoção da geovisualização visando uma melhor compreensão da informação territorial e como consequência uma melhor participação em oficinas de Geodesign, como Afrooz, Ballal e Pettit (2018) que usaram uma caixa de areia de realidade aumentada para visualização da topografia. Percebe-se que há um objetivo recorrente no sentido de contribuir para que usuários (participantes) possam compreender mais facilmente as informações tratadas e, assim, ter uma participação mais efetiva no processo de cocriação.



Figura 2.13 – Valores importantes para o geodesign. Fonte: Moura (2017) e Moura, Ribeiro e Benevides (2018)

Em outras palavras, essas ferramentas para visualização da informação geográfica visam que todos os participantes tenham igual acesso à informação e aos dados e, assim, que tenham condições iguais no debate das propostas. Isso traz transparência ao processo de tomada de decisão e ampliam a capacidade dos participantes de usarem seus conhecimentos prévios, intuitivos e suas expressões de criatividade dentro do contexto do projeto, com foco, e apoiado pelas informações técnicas que não devem ser descartadas (KWARTLER; LONGO, 2008; ZYNGER, 2017).

2.4. Geovisualização e Pensamento Espacial

Esta seção se dedica a apresentar os conceitos de Geovisualização e de Pensamento Espacial como bases teóricas e conceituais que sustentam a discussão da aplicação dos produtos gerados por drone em processos colaborativos para planejamento territorial. Como exposto na seção anterior, entende-se a geovisualização como elemento de suporte às oficinas de Geodesign e seu emprego visa contribuir para que os atores envolvidos compreendam a informação territorial de modo mais efetivo e, conseqüentemente, tenham melhores condições de participação nas oficinas. O resultado almejado a partir do emprego de recursos de geovisualização é o favorecimento da capacidade de abstração e de pensamento espacial por parte dos participantes, ou seja, uma melhor capacidade de compreensão e de diálogo entre os participantes, bem como o uso efetivo da informação espacial disponibilizada, identificando e reconhecendo características da

área, compreendendo vulnerabilidades e potencialidades existentes e conseguindo construir opiniões e participar de decisões.

2.4.1. A construção de imagens para representação da informação territorial

Masala e Pensa (2016) defendem a ideia de que uma imagem utilizada para representação espacial deve ser produto de um projeto de comunicação destinado a uma tarefa e a um público-alvo específico, e não apenas uma tradução dos dados espaciais dispostos numa plataforma visual. Para isso, é preciso considerar questões além dos métodos de coleta e representação dos dados, mas também como se dá o processo de compreensão das informações por parte dos observadores, ou seja, como se dará o processo de abstração das informações para compreensão da informação espacial.

Eastman (1985) afirma que indivíduos, ao lerem um mapa, trazem consigo suas estruturas cognitivas, construídas por meio de suas experiências pessoais pela qual a informação apresentada será compreendida. Para o autor, o que o responsável pela construção do mapa deve prover é o contexto espacial das entidades e seus relacionamentos. Não é possível saber quais significados o leitor irá absorver dos mapas, mas é necessário evitar ambiguidades e facilitar a exploração dos dados por parte do leitor.

Wood (1994) destaca que a visualização cartográfica deve contribuir para a exploração e análise, ao invés de uma simples explanação. Para esse autor, inevitavelmente um mapa bem produzido passará uma ideia de acurácia e neutralidade, mas que isso pode não ser verdadeiro. Nesse sentido, deve-se compreender que mapas sofrem da subjetividade humana e são imbuídos em contextos sociais e políticos. Este autor ressalta que para um bom aproveitamento, os mapas não precisam ser, necessariamente, ricos em dados, mas sim serem capazes de transmitir a informação claramente. Nesse sentido, uma das maiores desvantagens dos mapas, em relação a modelos digitais, é a pobre interação entre os leitores e os dados.

Monmonier (1996) nos lembra que mapas podem distorcer a realidade quando um autor, mesmo que bem-intencionado, não compreende os princípios cartográficos que envolvem generalização da informação retratada. A transformação do mundo real 3D para o mapa 2D implica em perda de detalhes e os elementos que compõem o território são representados por símbolos

genéricos que, não necessariamente, possuem escalas relativas ao mundo real, como as feições pontuais, por exemplo. Este autor discute ainda como a forma de apresentação dos dados pode condicionar (ou mesmo comprometer) a sua interpretação, como na comparação da representação digital a cores e na impressa em tons de cinza.

Percebe-se que a representação gráfica é crucial para uma efetiva comunicação da informação espacial e, nesse sentido, deve-se haver o cuidado de selecionar os elementos cruciais para representar a realidade de maneira fiel. Para Bertin (1981) os gráficos não devem ser entendidos como simples desenhos, mas sim como uma responsabilidade daquele que o concebe. Além disso, ele não deve ser concebido como um “fim em si próprio, mas sim um momento no processo de tomada de decisão” (BERTIN, 1981, p. 16). Para se elaborar um gráfico útil, segundo este autor, é necessário ter conhecimento do contexto a que se dedica, incluindo o que está posto antes da elaboração da imagem, bem como aqui que seguirá após a sua apresentação.

A elaboração de mapas, do ponto de vista do planejamento territorial, pressupõe, inevitavelmente, generalizações da informação, organizando, agrupando e selecionando as principais características relativas aos temas específicos. Mas, considerando que processos colaborativos para tomada de decisão são compostos por diferentes atores, com diferentes formações e *backgrounds* intelectuais, seriam essas generalizações eficientes para o compartilhamento de ideias?

Masala e Pensa (2016, p. 42) acreditam que “em processos de planejamento e decisão espaciais, mapas e imagens espaciais [devem ter por objetivo a] busca pelo compartilhamento de informação e construção do conhecimento, a ser alcançado entre especialistas e não especialistas”. Esses autores afirmam que o sujeito observador irá transformar a informação recebida em uma construção individual do objeto, que não será mais a realidade, mas sim de uma das possíveis visões parciais sobre ela. Neste fluxo, a absorção da informação sobre o objeto sofrerá interferência de três diferentes fontes, que são:

- 1) As escolhas do sujeito construtor da imagem;
- 2) As habilidades pessoais e modelos mentais do sujeito observador;
- 3) O dispositivo através da qual a imagem é mostrada.

Nesse sentido, as tecnologias de captura, modelagem e apresentação dos dados assistidos por drones têm contribuído para uma alteração do o paradigma das representações visuais da

informação territorial e podem contribuir para reduzir os ruídos previstos nessas etapas enumeradas, pois: *i*) reduzem da subjetividade do construtor da imagem, uma vez que serão captados dados por meio de imagens que farão uma representação fiel do elemento imageado; *ii*) facilitam a compreensão do território, reduzindo a discrepância entre os sujeitos expectadores, por meio da utilização de modelos fiéis à realidade; *iii*) se valem de plataformas interativas e dinâmicas que permitem a navegação em diferentes perspectivas, variando da zenital (que favorece a uma visão sintética) à azimutal (que se aproxima da imersão humana na paisagem), passando pela oblíqua (que permite realizar conexões entre ambas as primeiras) (MAGALHÃES; MOURA, 2020). Essas ideias são resumidas na Figura 2.14.

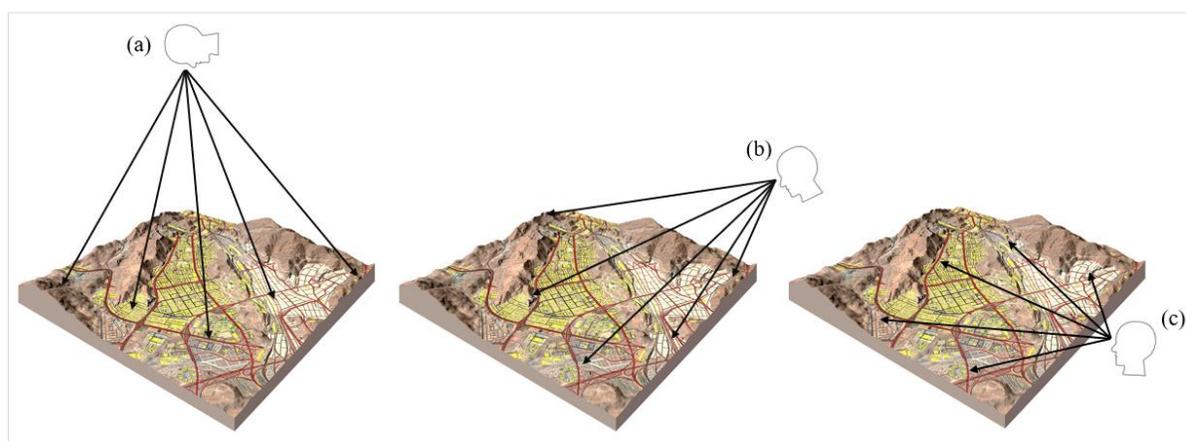


Figura 2.14 – Perspectivas. (a) Perspectiva Zenital: visão técnica, sensoriamento remoto; (b) Perspectiva Oblíqua: visão técnica & visão humana, captura de dados por meios tecnológicos & compreensão humana; (c) Perspectiva Azimutal: visão humana, imersiva. Fonte: Magalhães e Moura (2020)

Não se considera aqui que os mapas bidimensionais possuam uma função inferior à das novas tecnologias para representação tridimensional dos dados, mas sim que esses dados assumem papéis diferentes no processo de representação da informação espacial. Moura (2020) apresenta um conjunto de procedimentos de análise espacial realizados e apresentados bidimensionalmente, o que nos reforça a noção de que essa perspectiva de visualização cumpre a função de síntese, uma vez que essa forma de representação favorece a uma visualização analítica dos dados. Já os modelos 3D, por sua vez, cumprem a função de síntese interpretativa, assim como um bom croqui feito à mão poderia fazer. Nesse sentido, entende-se que ambos os modelos de representação da informação espacial, 2D e 3D, são válidos e relevantes para os seus propósitos e devem ser utilizados como complementares um ao outro de acordo com as demandas identificadas.

Zyngier (2016a, p. 51) afirma que as novas ferramentas para comunicação da informação espacial, “quando usadas de maneira criativa, podem melhorar a qualidade e eficiência das discussões públicas e debates e ajudar a construir consenso da comunidade em torno de questões de planejamento específico”. Tornou-se possível romper com o limite de escala de representação imposto pelo tamanho da folha de papel e ampliar enormemente a resolução da informação retratada e abriu-se a possibilidade de compartilhamento por meio de diferentes dispositivos conectados via web.

A capacidade para investigar os conjuntos de dados por meio de ferramentas com alto nível de interação é, hoje em dia, uma habilidade que permite que os sujeitos observadores conheçam facilmente os objetos por intuição, aumentando assim a sua própria consciência. Uma vez que as habilidades individuais dos sujeitos observadores podem limitar a compreensão da informação, o desenvolvimento de dispositivos tecnológicos é essencial para melhorar a sua usabilidade e diminuir as dificuldades em se aproximar de novos instrumentos. Por conseguinte, o processo de leitura de imagem pode ser apoiado não só pelo processo de construção da imagem, mas também pelos dispositivos usados para comunicar a informação visual (MASALA; PENSA, 2016. p. 47)

Essas novas tecnologias têm proporcionado mudanças no papel do observador e sua relação com a imagem. Ainda de acordo com esses autores, as mudanças nas formas de representação observadas ao longo da história estão ligadas, também, à forma como se enxerga o mundo e se pratica a dominação da natureza. Durante o Renascimento, o uso das representações em perspectiva permitiu a formação de imagens tridimensionais, elevando o observador à perspectiva do “voo do pássaro”. Já na era do descobrimento, o olhar do observador foi deslocado para uma vista do infinito, de cima, o eixo de visada zenital, representando o ponto de vista de Deus em relação à Terra. Tais formas de criação de imagens representam formas de pensar da época e influenciaram nas maneiras de interpretar, planejar e gerir o território (MASALA; PENSA, 2016).

Atualmente, temos a oportunidade de recriar espaços tridimensionais de modo virtual em escala e com elevado nível de detalhamento em termos de forma e textura e que nos permite uma livre interação no sentido de escolher os campos de visada, podendo oscilar entre a perspectiva do homem, imerso na paisagem, do pássaro, que sobrevoa por cima, mas com liberdade de visualização e proximidade com os objetos, e do infinito, visto de cima com a possibilidade de compreender o arranjo espacial dos elementos. Masala e Pensa (2016) destacam que a vista do pássaro, que diz respeito à perspectiva oblíqua, tem o potencial de combinar a centralidade do observador (homem imerso na paisagem) com a univocidade dos mapas (visão zenital, sintética).

Merece destaque a capacidade de proporcionar ao sujeito explorador de dirigir livremente o seu olhar para os elementos que preferir, sem a necessidade de aceitar, portanto, um ponto de vista fixo escolhido pelo sujeito que construiu a imagem, o que permite aproximar ambos, o sujeito construtor e o explorador da informação. Os sujeitos construtores passam a assumir um papel de provedor de dados, enquanto os observadores se tornam seres ativos e adquirem a liberdade de construir suas informações por meio da livre navegação, proporcionando projeções da realidade menos filtradas e mais alinhadas com as demandas dos usuários. Essa modalidade de visão espacial é considerada como mais informativa e menos parcial do que a cartografia estática, pois a imagem deixa de ser um filtro entre o objeto real e o observador e passa a ser um meio para o observador construir sua própria definição sobre o objeto (MASALA; PENSA, 2016).

Moura (2003, p. 245), ao relatar a experiência da navegação virtual realizada em Ouro Preto/MG e comparar métodos para representação da paisagem, já estabelecia esse tipo de pensamento, ao afirmar que “o uso da fotografia, para situações em que é importante a comunicação entre usuários para processo de decisão, é superior ao uso da cartografia, porque a dimensão cartográfica é um filtro, uma decodificação para uma linguagem que nem sempre é de domínio de todos”. O mapa, nesse sentido, é uma “decomposição sintética, enquanto a fotografia é mais analítica e mais próxima da realidade do usuário” (ib. id.). A autora mostra a exitosa experiência na visualização panorâmica da cidade, recriando perspectivas de imersão na paisagem e em visão azimutal (eixo humano) ampliando a visão apenas zenital (eixo cartográfico), para compreensão das alterações e transformações propostas dentro do conjunto arquitetônico e paisagístico de Ouro Preto. A ampliação da capacidade de visualização foi utilizada para avaliação de projetos de novas edificações que tiveram seu volume, forma e posição simulados na paisagem antes da realização da intervenção, ou seja, possibilitando aos gestores a possibilidade de uma visualização dos dados em ambiente virtual como um apoio à tomada de decisão. Isso torna o processo mais justo e coerente, uma vez que as decisões são pautadas em análises realísticas e não subjetivas.

Moura (2003) relata desafios de se construir uma metodologia reproduzível em diferentes situações e localidades e do acesso a dados espaciais relativos somente ao terreno, dificultando os resultados no processo de visualização da paisagem. Nesse sentido, a possibilidade atual de captura e representação tridimensional de dados, com a possibilidade de reproduzir formas, proporções e texturas fielmente à realidade, evidencia os ganhos que a tecnologia drone tem proporcionado para os processos de geovisualização.

2.4.2. Geovisualização

A *International Cartographic Association* (ICA) considera que a Geovisualização é o ramo da ciência que se dedica a estudar processos ligados à visualização dos dados espaciais, uma vez que estes possuem uma estrutura complexa composta por espaço, tempo e diferentes atributos temáticos, o que cria desafios significativos para sua visualização. Desde 2001 foi estabelecida uma agenda de pesquisa em geovisualização que tem se dedicado a estudar modelos de representação, bases de dados ligados à visualização e questões cognitivas em geovisualização e aquisição de conhecimento através da visualização de dados espaciais. Em meados de 2010 foi incorporada ao ramo da geovisualização o tema de “visualização analítica” que contempla o desenvolvimento de técnicas de tomadas de decisão por meio do pensamento espacial, visualização, raciocínio analítico, dentre outros. A ICA destaca a importância dos métodos de tomada de decisão de modo colaborativo apoiados por representações espaciais e que o foco da geovisualização não é a técnica da representação dos dados em si (embora isso seja fundamental para o processo), mas sim na gestão dos dados para permitir uma interação entre os usuários (ICA, 2012).

Uma das bases da geovisualização são os métodos de visualização computacional que, segundo McCormick, DeFanti e Brown (1987), possibilitam ver o que não é imediatamente visível (*see the unseen*), revelando observações e reflexões que resultam em ganho de conhecimento ao usuário. De acordo com estes autores, a visualização abrange ambos, a compreensão e síntese de imagens tendo como objetivo principal alavancar os métodos científicos existentes por meio da promoção de novos *insights* científicos através de métodos visuais.

A geovisualização deriva, também, da cartografia e segundo MacEachren e Ganter (1990) os mapas devem ser entendidos como uma ferramenta de visualização e não como um simples acessório para comunicação, ou seja, o mapa deve ser entendido como uma expressão do pensamento geográfico e, com isso, contribuir para identificação de padrões que guiem a novas compreensões. Os autores destacam que as ferramentas para visualização das informações espaciais são aquelas que nos permitem elaborar questões acerca daquilo que ainda não sabemos e que a qualidade da visualização é considerada como uma componente chave para a promoção de conhecimento. Entretanto, por diversas vezes a cartografia assume o sentido de uma ferramenta de comunicação, sendo usada somente para representar aquilo que já sabemos. Um processo de

abstração adequado entre mundo real e a representação virtual quando bem-sucedido possibilitará a identificação de padrões e distinção de ruídos.

Esses autores consideraram à época que os avanços tecnológicos e o enorme volume de dados disponíveis renovaram interesses em métodos de visualização, sendo esta uma importante ferramenta para o avanço da ciência. Pode-se dizer que este pensamento continua atual, pois o processo de visualização está totalmente ligado ao processo de cognição, de criação de imagens mentais sobre processos e relacionamentos e isso é ampliado em função da tecnologia disponível que permitem não apenas a criação de imagens realísticas, mas sim de representações visuais valiosas para o desenvolvimento do conhecimento científico (MACEACHREN; GANTER, 1990).

MacEachren et al. (2004) trabalham a ideia de que a geovisualização consiste num ramo científico que desenvolve métodos visuais e ferramentas para dar suporte a uma grande matriz de aplicações para dados espaciais e que isso permite levar de encontro as fontes de dados às demandas sociais e científicas. Apoiar a construção do conhecimento sobre o mundo real e a tomada de decisões é um dos mais importantes desafios a que se dedicam os esforços em geovisualização – isso quer dizer, permitir a geovisualização através de componentes de softwares, dispositivos, pessoas e lugares.

As pesquisas em geovisualização trabalham no desenvolvimento de teoria, métodos e ferramentas para exploração visual, análises, síntese e representação de dados geoespaciais. Isso, sobretudo, dentro de um contexto de compartilhamento de informações e ideias, em processos de co-design, interação entre usuários de diferentes níveis. A Figura 2.15, elaborada por MacEachren et al. (2004), resume esta ideia e retrata as quatro funções da geovisualização, que são: explorar, analisar, sintetizar e apresentar.

MacEachren (2005, p. 445, tradução nossa) elenca diferentes possibilidades para as representações visuais ao dizer que:

Primeiro, as representações visuais podem atuar como objeto de colaboração, portanto, como uma entidade para discutir, criar ou manipular. Em segundo lugar, a visualização pode fornecer suporte para o diálogo (sobre informações, planos, métodos, estratégias ou decisões). Terceiro, a representação visual pode fornecer suporte para atividades coordenadas (portanto, para compilar informações, realizar planos ou executar decisões).⁷

⁷ Texto original: *First, visual representations can act as the object of collaboration, thus as an entity to discuss, create, or manipulate. Second, visualization can provide support for dialogue (about information, plans, methods, strategies, or decisions). Third, visual representation can provide support for coordinated activity (thus for compiling information, carrying out plans, or executing decisions).*

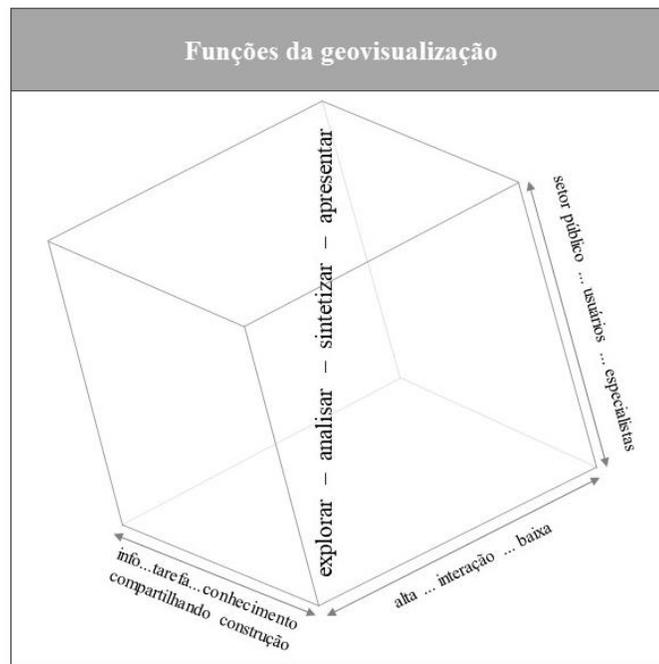


Figura 2.15 – Funções da geovisualização. Fonte: Adaptado de MacEachren et al. (2004)

Diante do exposto, entende-se que a visualização da informação espacial nos proporciona meios para construir um elo entre a realidade e os mapas mentais que um usuário tem sobre a realidade, por meio da expressão gráfica.

Andrienko et al. (2007) nos lembram que processos de planejamento participativo são compostos por equipes com diferentes pessoas, que assumem diferentes papéis, que possuem diferentes níveis de conhecimento e que possuem diferentes demandas no uso de tais dados espaciais e ferramentas. Portanto, estes recursos de visualização da informação espacial devem permitir desde um trabalho mais técnico até uma apresentação simplificada dos resultados.

Deve-se proporcionar a criação de modelos mentais comuns a todos os envolvidos no processo, pois “sem um modelo mental compartilhado, processos que envolvem muitos sujeitos não podem obter uma base comum para se alcançar um objetivo” (MASALA; PENSA, 2016. p. 51).

Moura (2017) e Moura, Ribeiro e Benevides (2018) reforçam essa noção ao trabalhar a ideia de “interoperabilidade entre pessoas”, que está ligada a utilização de recursos de geovisualização que favoreçam à comunicação entre diferentes atores envolvidos em processos colaborativos de planejamento e tomada de decisão. A autora explica que para se alcançar um co-design é necessário que haja conexões eficazes em todas as etapas do processo e que as bases se

apoiam na interoperabilidade entre softwares, mas, também, sobre o estabelecimento de códigos compartilhados entre pessoas para que haja comunicação efetiva acerca das demandas, interesses e possibilidades (processo apresentado na Figura 2.13, página 71). Faz-se necessário, portanto, o uso de recursos que permitam o estabelecimento de uma linguagem comum para que seja possível compartilhar decisões, ideias e se alcançar um projeto (*design*) final que seja compatível com as intenções do grupo de trabalho e satisfatório diante das demandas e desafios impostos.

Moura (2017) mostra que no processo de co-design existe uma relação de dependência entre diversos fatores e que a utilização de modelos digitais de representação para apoio à formação de mapas mentais se constitui como uma “interface entre pessoas”, no sentido de representarem bases de dados de comum entendimento a todos. Isso possibilita a busca por protocolos que podem estabelecer uma linguagem comum, que é a base para o compartilhamento de decisões, para a cocriação e que culmina num co-design efetivo.

Nesse sentido, defende-se o uso de recursos de geovisualização, como os propostos por meio do uso de drones, para construção de modelos representativos da realidade, de fácil compreensão a todos os atores participantes de processos de co-design, seja em oficinas de Geodesign como em outros processos análogos. Percebe-se que há, na literatura dedicada sobre o tema, um discurso consonante de que esses processos proporcionam aos atores uma melhor capacidade de explorar, reconhecer, analisar, propor, sintetizar e apresentar opiniões acerca do território analisado, o que é uma condição básica para a participação cidadã de modo igualitário em processos de co-design.

Dykes, MacEachren e Kraak (2005) afirmam que quando efetivamente empregada, a geovisualização oferece a possibilidade de engajamento, tendo em vista que uma gama variada de usuários estará habilitada a participar em atividades que requerem ou residem sobre a componente espacial. É encorajada a utilização de modelos 3D, pois permitem imersão e interatividade que é entendido como a aproximação da sensação de estar imerso no mundo real e com a possibilidade de alterar seu ponto de vista no ambiente (MACEACHREN et al., 1999). Esses recursos são vantajosos para a criação de um modelo mental compartilhado, pois proporcionam uma fiel representação da realidade, reduzindo a intervenção e subjetividade do sujeito construtor das imagens, uma vez que este se torna um simples provedor de dados e as imagens passam a ser construídas mentalmente a partir da interação do usuário com os modelos virtuais representativos (MASALA; PENSA, 2016).

Estes recursos representam mudanças de paradigmas nos meios de comunicação da informação espacial, pois transferem para o observador a tarefa de investigação e formulação do pensamento espacial, a partir da disponibilização ampla e detalhada da informação territorial objeto de discussão. Migra-se de uma representação que é composta de elementos definidos por um sujeito construtor da imagem e que se vale de uma visualização bidimensional, com perspectiva zenital, que trata dados de modo sintético e arraigada em códigos específicos, para o compartilhamento de informações através de um modelo representativo interativo, com livre perspectiva de visualização e com a informação territorial disposta de modo completo, possibilitando definições de cenários em tempo real e perspectivas de visualização de acordo com a demanda do usuário.

Masala e Pensa (2016, p. 49) criticam ao modelo cartográfico enrijecido ao afirmar que:

A falsa objetividade da cartografia tem sido, e ainda é comumente usada para descrever cidades e territórios, para analisar e planejar seus futuros. No entanto, a localização e a ordem dos objetos não estão em discussão, pois o desenho zenital impõe seu ponto de vista sobre a livre vontade do observador, que pode apenas aceitar a univocidade do mapa. O mapeamento tornou-se uma objetivação determinista dos elementos representados, em que a cartografia é concebida como unívoca, total, exata e auto referencial.

É, de fato, vantajosa a possibilidade de se trabalhar com diferentes pontos de vista/perspectivas sobre o dado, pois há maior possibilidade de interagir com eles, aproximando da visão humana de inserção na paisagem. Entretanto, deve-se frisar que os mapas possuem a função de uma representação sintética dos dados e que a perspectiva zenital favorece à realização de análises espaciais, pois os códigos estabelecidos pela ciência cartográfica nos permitem a espacialização e a noção de escala dos fenômenos. Isso pode ser observado no trabalho de Moura (2020) que apresenta diversos modelos de análise espacial que operam no espaço bidimensional, o que reforça a ideia de que esta perspectiva do dado – vista nos SIG 2D e na cartografia tradicional – favorece o trabalho analítico e de síntese e, nesse sentido, possui uma função diversa dos modelos 3D que são voltados para a navegação interativa e a sensibilização.

Atualmente as ferramentas para visualização tridimensional possibilitam uma interatividade com o usuário e devem ser exploradas no sentido de facilitar a comunicação entre o conhecimento especialista e demais pessoas interessadas no projeto. As ferramentas de suporte à geovisualização devem ajudar os analistas dos processos de planejamento a obter o input das partes interessadas sobre critérios de decisão, fontes de informação, opções, e mecanismos para solução de problemas espaciais (ZYNGIER, 2016b). Enquanto os mapas devem ser usados para dar suporte ao trabalho técnico, favorecendo a realização de análises espaciais, sínteses e diagnósticos.

Dykes, MacEachren e Kraak (2005) elucidam que a forma como construímos conhecimento a partir de dados espaciais pode se basear em representações interativas visuais que usam novas tecnologias. E é provável que tenhamos mais sucesso na análise de uma grande quantidade de dados espaciais se a geovisualização estiver fortemente apoiada sobre os avanços da ciência da computação e computação gráfica. As possibilidades atuais para coleta de dados com drones e visualização 3D já são bem consolidadas e proporcionam criar representações que nos instigam a insights sobre os dados analisados. Destaca-se a habilidade de alterar o ponto de vista 3D em tempo real como fundamental para criar um senso de realidade virtual. Isso abriu novas abordagens em visualização que está relacionada a um novo “grau de liberdade” cartográfico para a representação visual (WOOD et al., 2005).

Para estes autores, a cartografia é influenciada em alto grau pelo “espírito da época” (*society's zeitgeist*) que é, claramente, guiada pelos desenvolvimentos tecnológicos. Assim, avanços em geovisualização não são fruto somente de demandas de especialistas na área, mas, sobretudo, por uma ideologia de época. O que resulta em aplicações *ad hoc*, sobretudo abordagens guiadas pela tecnologia as quais possuem um atraso no *background* teórico (WOOD et al., 2005).

Goodchild e Janelle (2010) defendem que modelos virtuais tridimensionais de livre perspectiva e movimentação pelo espaço proporcionam ricas abordagens sobre as variações das formas e mudanças de características em paisagens. E que, embora esses modelos sejam atrativos aos olhos, ainda se sabe pouco sobre como extraímos significado e aprendizado a partir dessas visualizações, a partir dos dados espaciais, de modo geral, e sobre os meios para amplificar esse processo.

Andrienko et al. (2007) destacam que um *Suporte Analítico Geovisual para Apoio à Decisão Espacial* não pode consistir somente na utilização de modelos 3D, como os disponíveis no Google Earth, equipados com ferramentas para alterar o zoom e mudar as perspectivas de análise. Essas são ferramentas analíticas que permitem a geração de visualização de dados quantitativos que nos permite, basicamente, visualizar a paisagem e observar suas feições. A utilização dessas ferramentas isoladamente é insuficiente para alcançar um suporte efetivo para a tomada de decisão e solução de problemas complexos, como no planejamento para um crescimento sustentável, por exemplo.

Um suporte à decisão eficaz em qualquer um desses e outros problemas de decisão espacial complexos exigirá técnicas e ferramentas que ajudem a articular um objetivo de decisão, discernir informações da multiplicidade de dados por meio de análise e

visualização de dados, criar cenários plausíveis que representem possíveis cursos de ação, computar e visualizar seus impactos, testar a estabilidade dos cenários e priorizá-los para ajudar a selecionar o curso de ação correto (ANDRIENKO et al., 2007 p. 844-845, tradução nossa).⁸

Masala e Pensa (2016) corroboram com tal afirmação ao citar que ferramentas para visualização em escalas de alto detalhe, como Google Earth e Virtual Earth, são excepcionais para visualização da informação espacial, mas não devem ser consideradas como recursos de apoio ao planejamento, por apresentarem um conjunto de informações excessivas, que se torna aleatória e com isso não deixa espaço para abstração.

Wood et al. (2005) reforçam que a construção de um espaço virtual 3D auto consistente no qual observamos nosso dado é uma poderosa metáfora que explora nossa habilidade corriqueira para navegar em espaços reais. Isso nos habilita a explorar nossa consciência espacial e memória de trabalho visual em lembrar o que está “atrás de nós”, “abaixo de nós”, etc. mesmo se essas feições estiverem, no momento, fora do nosso campo de visão. Diferentemente da cartografia tradicional, os modelos tridimensionais colocam o observador mais próximo da imersão na paisagem, tendo melhor noção dos atributos espaciais.

Toda essa ampliação da capacidade de compreensão do território fornece um auxílio à formação de mapas mentais, promovendo um elo de conexão entre o mapa que apresenta informações sintéticas (de síntese) com a realidade, pois o modelo 3D permite a navegação por diferentes perspectivas para visualização dos objetos. Como produto, percebe-se que tais recursos têm potencial para auxiliar no desenvolvimento de um Pensamento Espacial crítico, que envolve a noção de posição, orientação, direção, escala, dentre outras, e que é entendido como uma das principais deficiências observadas nos sujeitos com dificuldade de compreensão das informações territoriais em oficinas de Geodesign.

⁸ Texto original: *An effective decision support in any of these and other complex spatial decision problems will require techniques and tools that help to articulate a decision goal, discern information from the multitude of data through both data analysis and visualization, create plausible scenarios representing possible courses of action, compute and visualize their impacts, test the stability of scenarios, and prioritize them to help select the right course of action.*

2.4.3. Pensamento espacial

Um dos principais desafios relacionados à utilização efetiva de dados espaciais está na capacidade de abstração dessa informação de modo a convertê-la em informação útil para o uso em diferentes níveis. Seja na utilização de aplicativos de geolocalização e definidores de rotas, seja na interpretação de mapas temáticos, seja na concepção ou interpretação de análises espaciais acerca de fenômenos ambientais. Tais dificuldades podem ser associadas à ausência de um pensamento espacial crítico, algo que não é sistematicamente pensado e trabalhado no ensino no Brasil. Embora seja tema de grande relevância, não é objetivo desta pesquisa debater e se aprofundar nos mecanismos (ou ausência deles) de ensino para promoção da formação do pensamento espacial nas escolas brasileiras, contudo nos interessa discutir como recursos de geovisualização podem contribuir para o desenvolvimento do pensamento espacial crítico e consciente, que auxilie atores com diferentes *backgrounds* culturais a exercerem seu papel em processos de co-design.

O *National Research Council* (NRC) dos EUA publicou em 2006 um relatório intitulado *Learning to Think Spatially* que se dedicou a estudar processos ligados ao pensamento espacial e sistemas de suporte a esse processo visando assegurar que todos os estudantes no período *K-12* – período de estudo que se inicia no jardim de infância e se prolonga até o 12º ano de estudo – tenham a oportunidade de aprender sobre o pensamento espacial. Os estudos mostram a necessidade de investir num programa educacional sistemático visando melhorar a capacidade de pensamento espacial desses estudantes. Goodlchild e Janelle (2010) reforçam a ideia de que o pensamento espacial crítico deve ser o tema central numa educação para um mundo onde é crescente a quantidade de informações geográficas.

No documento organizado pela NRC (2006), define-se que o pensamento espacial “é baseado em um amálgama construtivo de três elementos: conceitos de espaço, ferramentas de representação e processos de raciocínio” (NRC, 2006, p. ix, tradução nossa)⁹. O pensamento espacial é concebido como uma coleção de habilidades cognitivas que usam o espaço para integrar e estruturar ideias. O texto explica que a compreensão de *Espaço* se baseia no entendimento dos sistemas de medidas, métodos de cálculo de distância, sistema de coordenadas e natureza dos

⁹ Texto original: *Spatial thinking is based on a constructive amalgam of three elements: concepts of space, tools of representation, and processes of reasoning.*

espaços (2D, 3D). Acerca da *Representação* demanda-se a compreensão de perspectivas de visualização, efeitos das projeções e princípios de design gráfico. E o *Raciocínio* está ligado às formas de se pensar deslocamentos (em linha reta ou respeitando o traçado de um sistema viário), habilidades de interpolar e extrapolar (realizar estimativas entre dados e projeções futuras) e tomar decisões.

O relatório indica ainda que um sujeito com o pensamento espacial desenvolvido deve ser capaz de executar três funções principais, que são: *Descrever*, que abarca caracterizar os objetos, em termos de forma, tamanho, posição, dimensionalidade (2D ou 3D), características, etc; *Analisar* que envolve manipular esses objetos mentalmente, por exemplo, para rotação, remoção ou deformação; e *Inferir*, que pressupõe realizar interpretações sobre como se constitui esses objetos, em termos de propriedades, processos, formas (ISHIKAWA; KASTENS, 2005; NRC, 2006). A partir disso, se torna possível realizar predições sobre qualquer intervenção sobre esses elementos e/ou realizar abstrações e metáforas que envolvam os dados espaciais.

O potencial do pensamento espacial está em compreender a estrutura espacial, incluindo o arranjo dos elementos que o compõem e suas relações, bem como a função espacial desses elementos, que significa compreender como e porque eles desempenham determinado papel. O pensamento espacial não é estático, afirma-se, mas sim um processo dinâmico que nos permite “descrever, explicar e prever a estrutura e função dos objetos e seus relacionamentos em espaços do mundo real e recriado. Isso nos permite formular hipóteses, elaborar previsões e testar suas consequências” (NRC, 2006, p. 33, tradução nossa)¹⁰. Assim, a partir de um pensamento espacial bem estruturado é possível que uma pessoa seja capaz de imaginar e reconhecer paisagens ainda desconhecidas a partir de informações contidas em um mapa topográfico ou rodoviário, por exemplo.

Um exercício simples que nos permite avaliar as habilidades de se pensar e processar as informações de modo espacialmente adequado diante deste aspecto seria utilizar o traçado de cursos d’água em um mapa e solicitar aos leitores deste mapa que suponham qual seria a abrangência da Área de Preservação Permanente (APP), considerando os limites definidos pelo código florestal brasileiro (BRASIL, 2012), e quais os demais elementos presentes no mapa

¹⁰ Texto original: *It is a dynamic process that allows us to describe, explain, and predict the structure and functions of objects and their relationships in real and imagined spatial worlds. It allows us to generate hypotheses, to make predictions, and to test their consequences.*

estariam inseridos dentro dela. Nos trabalhos que viemos desenvolvendo com um público não treinado formalmente em raciocinar espacialmente, é comum perceber dificuldades nesse tipo de abstração, que possibilite uma projeção mental de uma área de envolvimento de 30m partindo do desenho linear do curso d'água, considerando sua dimensão e escala do mapa, e processar mentalmente quais elementos constituintes deste mapa (edificações, vegetação etc.) estariam em contato com essa área imaginada.

Ishikawa e Kastens (2005) apresentam uma abrangente revisão bibliográfica de estudos de caso que realizaram testes para avaliação e mensuração do pensamento espacial em diferentes áreas do conhecimento e buscaram traduzi-los para as geociências. Os autores mostram que para uma leitura efetiva de um mapa são necessários três níveis essenciais de compreensão entre o mapa e o mundo real, que envolve a correspondência representacional, configuracional e direcional.

A *correspondência representacional* trata do entendimento da relação entre o mapa e o espaço representado e requer a noção de que um símbolo no mapa está posto para alguma coisa no mundo real. A *correspondência configuracional* consiste em compreender que as relações entre as feições presentes no mapa correspondem às relações entre as correspondentes feições no mundo real e deve-se ter a habilidade de se distinguir isso dentre as múltiplas informações existentes num mesmo mapa temático. Já a *correspondência direcional* corresponde à capacidade de interpretar direções e, para isso, faz-se necessário o alinhamento entre o azimuth no mundo real com o azimuth do mapa. É defendida a ideia de que interpretar mapas, modelos 3D, cortes e seções topográficas, gráficos, dentre outros, são tarefas que requerem elevada capacidade de pensamento espacial, sendo muitas vezes demandadas a visualização de dados bidimensionais e abstraí-los como uma informação tridimensional, como, por exemplo, em mapas topográficos.

Goodchild e Janelle (2010) consideram que o pensamento espacial é imprescindível desde à sobrevivência individual diária como para grandes corporações, nações e impérios. Os autores destacam que desde o advento dos SIG na década de 1960, várias disciplinas foram influenciadas pelo uso dessas tecnologias, alterando a maneira de pensá-las, uma vez que o entendimento da dispersão espacial contribui para compreensão dos fenômenos. Atualmente, há um enorme volume de dados espaciais que é passível de utilização e modelagem para representação de fenômenos. E a espacialização dos dados é um processo para a promoção da visualização das informações, que são meios de construção abstrata de conhecimento que podem ajudar na detecção de padrões e acumulação de insights científicos. Os autores discutem, também, que um dos conceitos mais

problemáticos em relação ao pensamento espacial é a escala, tanto no sentido de extensão quanto no de resolução do dado, sendo necessária a abstração da dependência dos resultados em relação à extensão e da impossibilidade de representação perfeita da infinidade de elementos espaciais. Os autores frisam a importância continuada de pesquisas que se dediquem a compreender como as pessoas aprendem sobre o espaço por meio de experiências diretas, mapas e outros métodos de visualização.

Merwe (2009) ao trabalhar os níveis individuais de conceitos espaciais dos sujeitos, parte do princípio de que todos os conceitos (incluindo o de espaço) são inatos e, portanto, são formados a partir de uma experiência individual. Nesse sentido, trabalha a ideia de que diferentes línguas têm diferenças fundamentais na descrição de informações espaciais que são relacionadas a diferenças na cognição. Segue-se então com o raciocínio de que os níveis básicos de conceitos relacionados ao espaço servem como blocos de construção para conceitos mais complexos que serão usados para abstrações, julgamentos e raciocínio espaciais. Para o autor os níveis mais básicos de abstrações espaciais estão ligados à ideia de *Continência*, que trabalha noções de estar “dentro, fora, através, em”. Isso permite entender inter-relações entre objetos no espaço e ativa o esquema mental que avalia posições relativas a um limite. O segundo nível é o de *Origem-Destino* (*source-path-go*) que abarca o significado de “através, distante de, perto de, caminho por”, ou seja, uma noção de movimento a partir de um ponto de origem e com direção a um destino. Isso ativa o esquema mental que avalia, além das posições relativas, o deslocamento, a orientação, a direção e a distância conceitual (perto, longe). O terceiro e mais avançado nível é o das *Projeções Corporais* que contempla a noção de “em frente a, atrás de, acima de, abaixo de, em cima, embaixo”, que são projeções do nosso corpo em relação a objetos fixos ou corpos em movimento. Isso ativa o esquema mental que avalia concomitantemente as posições relativas aos outros objetos fixos ou em movimento, ao próprio movimento, ao plano (horizontal, vertical) e à orientação.

Percebe-se a partir da leitura dos trabalhos mencionados, que a percepção espacial dos indivíduos ocorre por meio da elaboração de esquemas (modelos) mentais, que são meios de compreender o mundo, ou seja, um conjunto de “convenções” e compreensões adotadas sobre a realidade. Esses conceitos são sintetizados na Figura 2.16. Na prática, é percebida uma forte influência do *background* social, cultural e educacional dos indivíduos, mas, também, dos meios em que a informação espacial é trabalhada, ou seja, a forma de comunicação empregada para apresentação dos dados.

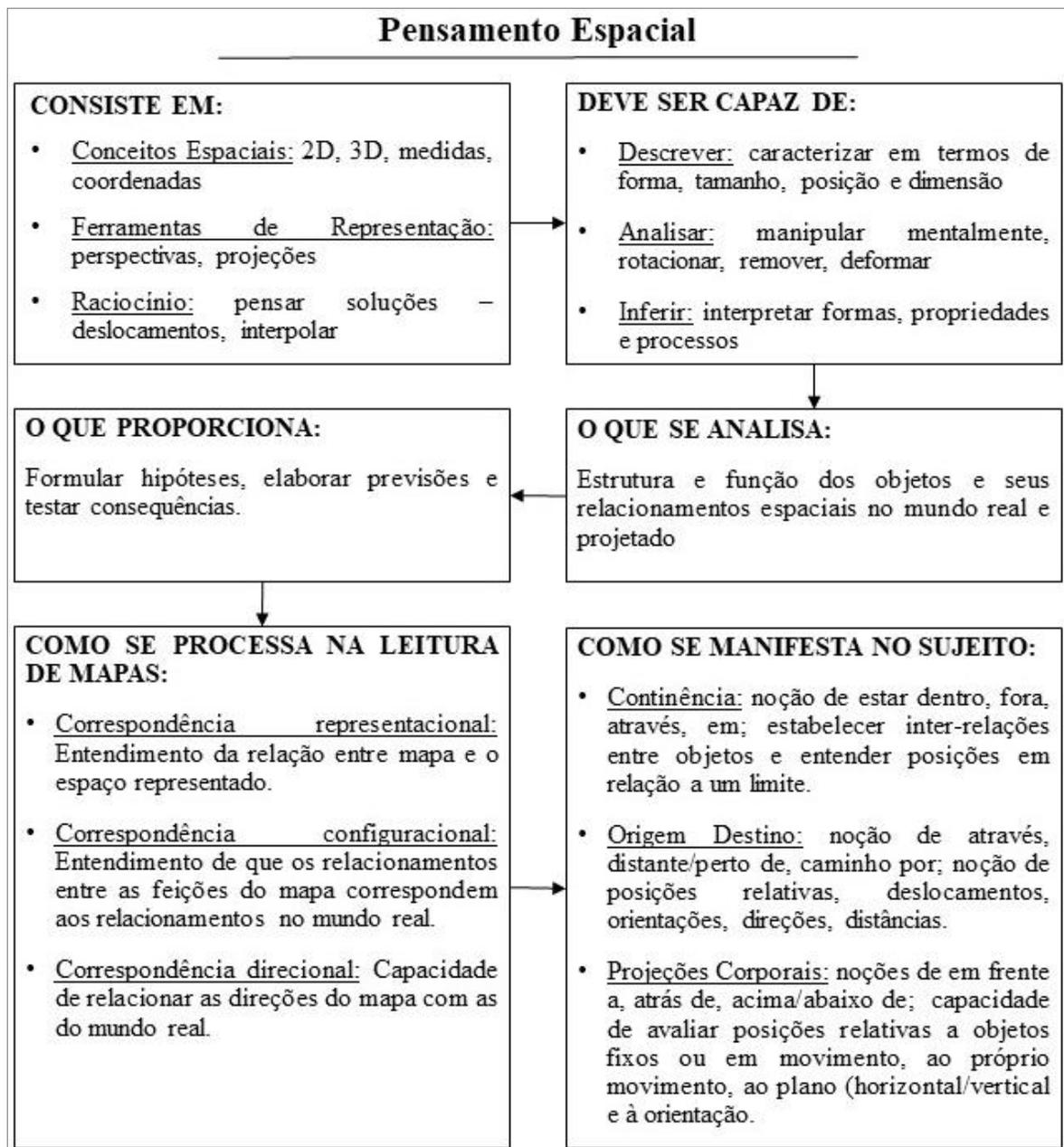


Figura 2.16 – Resumo das ideias relacionadas ao Pensamento Espacial. Fonte: Ishikawa e Kastens (2005), NCR (2006) e Merwe (2009). Organizado pelo autor.

2.5. Paisagem

Esta seção tem como objetivo apresentar os conceitos de paisagem, a teoria dos Geossistemas e a metodologia de definição de Unidades de Paisagem como suporte ao planejamento territorial regional. São apresentadas as experiências no planejamento da paisagem

da região *Emilia-Romagna*, na Itália, que culminaram nos Planos Territoriais Paisagísticos Regionais que se apoiam na definição de Unidades de Paisagem e, mais recentemente, dos Âmbitos Paisagísticos. Justifica-se a escolha da Itália como um estudo de caso ilustrativo em virtude da ampla e longa experiência do país em normativas e gestão da paisagem, o que pode ser usado como referência para processos semelhantes no Brasil. É feito, ainda, uma breve discussão acerca da carência de planejamento em escala de paisagem no Brasil e algumas de suas consequências. O uso do drone, neste sentido, é proposto como forma de representar as características essenciais de paisagens, o seu *genius loci*, e isto é feito por meio de fotografias aéreas tomadas em perspectiva principalmente oblíqua. Todos os experimentos propostos na representação de paisagens têm por finalidade a promoção de bases para o reconhecimento das características territoriais visando ao planejamento e gestão dessas unidades espaciais.

Defende-se que a ampliação das possibilidades do olhar, criando a decodificação entre realidade percebida e mapa mental, através da representação na forma de imagem fotográfica e em captura de perspectiva oblíqua, favorece a compreensão da essência do que caracteriza a paisagem, o que é o primeiro passo para a definição de unidades de paisagem como mecanismo de criação futura de normativas e ações de planejamento e gestão.

2.5.1. O conceito de paisagem nas ciências geográficas

Ao longo dos anos, diversos autores se dedicaram a definir e discutir e, outros tantos, a sistematizar a evolução do conceito de paisagem para as ciências geográficas. De um modo geral, percebe-se um discurso consonante de que a noção de paisagem acompanha os seres humanos, desde os primórdios, onde o instinto de sobrevivência e as primeiras formas de organização social exigiam do homem a observação do espaço em que vivia. Entretanto, a formulação do conceito de paisagem começa a se manifestar mais claramente a partir das representações feitas pelos artistas em meados do século XV, como se pode ver, por exemplo, nos retratos dos duques de Urbino (Itália) Federico da Montefeltro e Battista Sforza, pintados por Piero della Francesca em 1475 (Figura 2.17). Naquele momento, o retrato de membros da nobreza diante de extensas paisagens era feito como um símbolo de status, pois ali estava representada uma ideia de poder representado

nas suas posses e na sua capacidade de gerir e de cuidar de grandes porções do terreno (SALGUEIRO, 2001; SCHIER, 2003; MAXIMIANO, 2004; VITTE, 2007; MONTI, 2020).



Figura 2.17 – Quadro de Federico da Montefeltro e Battista Sforza pintado por Piero della Francesca (1475)

Contudo, pode-se dizer que a concepção de paisagem como categoria de análise das ciências geográficas nasce no final do século XVIII a partir dos trabalhos desenvolvidos pela escola alemã, dentre os quais se destacam as análises de cunho naturalista de Alexander von Humboldt. Humboldt fez observações sobre a vegetação, o clima e a morfologia de terreno buscando entender a influência desses elementos sobre os seres, bem como para descrever o aspecto geral da paisagem. Para Humboldt a espacialidade é fundamental para a explicação dos fenômenos da natureza e a paisagem é considerada como o Todo, uma unidade viva e organizada formada a partir de conexões entre os elementos que a constituem e sua compreensão poderia ser dada a partir de observações empíricas e pela contemplação (SALGUEIRO, 2001; SCHIER, 2003; MAXIMIANO, 2004; VITTE, 2007). Pode-se dizer que a geografia moderna, particularmente a geografia física, tem origem a partir das reflexões dessa época uma vez que “as noções de natureza e morfologia foram fundamentais para a constituição de outra interpretação da natureza e de sua espacialidade na superfície da Terra” (VITTE; SILVEIRA, 2010, p. 608). Maximiano (2004) destaca ainda que mais tarde essa linha de pensamento veio a influenciar à formulação da Ecologia da Paisagem, termo proposto inicialmente por Carl Troll ainda na primeira metade do século XIX.

Com uma perspectiva um pouco diversa, a escola francesa desenvolve o conceito de paisagem como um resultado da interação entre culturas e sociedades em um espaço natural e,

inicialmente, o termo paisagem – derivado de *pays* (país) – era entendido de modo muito semelhante ao termo “região”. Bertrand (2004)¹¹, um dos principais expoentes da escola francesa, destaca que a paisagem não corresponde a uma mera junção de elementos geográficos, mas sim numa combinação dinâmica dos elementos físicos, bióticos e antrópicos, ou seja, a paisagem não seria apenas os aspectos naturais, mas o todo que inclui, também, as implicações das intervenções humanas. É, nesse sentido, um “conjunto único e indissociável, em perpétua evolução” (op. cit., p.1.).

Essa concepção é consonante com a de seu antecessor, La Blache (2008)¹², que considerava o homem como parte integrante da paisagem em função da sua constante intervenção que a modifica e a humaniza. Bertrand (ib.id.) destaca ainda que estudar a paisagem é “antes de tudo um problema de método” e, a partir de então, apresenta sua proposta de análise da paisagem por meio de sínteses que são geradas para diferentes escalas e que dão origem à ideia de classificação de paisagens por unidades homogêneas.

A importância da noção de escalas têmporo-espaciais fica evidente no desenvolvimento das metodologias de análise da paisagem para fins de gestão territorial. Nesse contexto, em 1963 é apresentado pela escola russa o conceito de Geossistema que consiste, basicamente, no estudo, compreensão e hierarquização de classes do meio natural podendo contemplar escalas de grandeza do nível planetário ao local. Essa identificação parte dos princípios de homogeneidade e diferenciação e permite a identificação de interações dos níveis internos de uma paisagem, sua funcionalidade, seu estado e suas relações com o meio (SOTCHAVA, 1978 *apud* MAXIMIANO, 2004). Nesse mesmo contexto, Tricart (1977) avança no processo de análise integrada da paisagem ao propor uma classificação ecodinâmica dos meios ambientes e defendia que a compreensão dos sistemas era, à época, o melhor instrumento lógico para tratar dos problemas do ambiente.

Como se pode perceber, as diferentes escolas do pensamento geográfico se influenciaram entre si e o conceito de paisagem foi, ao longo dos séculos XIX e XX, absorvendo as diferentes compreensões e metodologias que se desenvolviam. Outras linhas de pensamento geográfico se desenvolvem a partir da primeira metade do século XX buscando compreender processos e

¹¹ Tradução de Olga Cruz do trabalho publicado, originalmente, na “Revue Géographique des Pyrénées et du Sud-Ouest”, Toulouse, v. 39 n. 3, p. 249-272, 1968, sob título: Paysage et géographie physique globale. Esquisse méthodologique. Publicado no Brasil no Caderno de Ciências da Terra. Instituto de Geografia da Universidade de São Paulo, n. 13, 1972.

¹² Tradução de Guilherme da Silva Ribeiro do trabalho originalmente publicado no 9º Congresso Internacional de Geografia, Genebra (1908)

resultados da relação entre homem e meio natural. Nesse contexto é criado o termo paisagem cultural para exprimir o resultado da interação entre as culturas de diferentes grupos sociais com o meio natural em que vivem. Assim, a paisagem natural refere-se aos elementos do meio físico, bióticos e abióticos, enquanto a paisagem cultural é humanizada, contemplando as transformações impostas pelo homem ao longo do tempo e vinculada ao espaço, seja urbano ou rural. Ela, portanto, está em constante desenvolvimento ou substituição (SAUER, 1998). Claval (1999) ressalta que não se trata simplesmente da interação homem-natureza na paisagem, mas sobretudo o modo intelectual como diferentes grupos culturais constroem seus marcos significados nela a partir de suas percepções e interpretações, ou seja, como são materializadas as ideias dentro de determinados sistemas de significação.

Mais recentemente, com o desenvolvimento das tecnologias de coleta de dados por sensores remotos e de processamento em ambiente computacional, foram desenvolvidas técnicas de análise de paisagem visando à compreensão da interação e da dinâmica de seus elementos constituintes, como preconizado pela Ecologia da Paisagem. Pode-se dizer que esta é uma disciplina holística e integradora de diferentes ciências visando a compreensão global da paisagem e o ordenamento cultural por meio da integração da análise geográfica (horizontal) com a análise ecológica (vertical) (METZGER, 2001).

De modo geral, pode-se dizer que o conceito de paisagem, nas ciências geográficas, parte inicialmente de uma demanda de descrição dos ambientes naturais visando sua caracterização e compreensão. Para isso, as representações evoluíram ao longo do tempo partindo dos croquis à mão até as fotografias aéreas e imagens de satélite. Os estudos da paisagem têm por finalidade a caracterização e compreensão das relações entre os seus componentes bióticos, abióticos e antrópicos e são ponderados pela escala espacial e temporal. Almeja-se como resultado a compreensão das dinâmicas existentes em consideração às transformações impostas pelas condições naturais e pela ação antrópica. Dentre os métodos empregados, destaca-se a classificação e hierarquização de ambientes por meio de suas características homogêneas e heterogêneas que podem ser usados como base para planejamento territorial.

Nos últimos anos, com a profusão das geotecnologias e dos recursos e métodos associados, ampliou-se a capacidade de elaboração de análise de paisagens visando à gestão territorial. Entretanto, para processos colaborativos de planejamento e gestão territorial, entende-se que é ainda importante investir em recursos para representação de paisagens, visando transmitir a

essência e as características peculiares das unidades que a compõem. Nesse sentido, entende-se que é importante compreender como são definidas as Unidades de Paisagem para, subsequentemente, testar métodos para as representar. Portanto são apresentados os principais conceitos e métodos da teoria de Geossistemas que levaram à definição de Unidades de Paisagem.

2.5.2. Geossistemas

A partir da publicação da Teoria Geral dos Sistemas, proposta pelo biólogo Bertalanffy nos anos 1950, a análise sistêmica começa a influenciar outras disciplinas, como a geografia. Isso pode ser visto, por exemplo, em Tricart (1977, p. 19) que define um sistema como

um conjunto de fenômenos que se processam mediante fluxos de matéria e energia. Esses fluxos originam relações de dependência mútua entre os fenômenos. Como consequência, o sistema apresenta propriedades que lhe são inerentes e diferem da soma das propriedades dos seus componentes. Uma delas é ter dinâmica própria, específica do sistema.

Cada um dos fenômenos pode ser analisado como um sistema individual, ou seja, um subsistema que pode ser em uma escala de maior detalhe (subsistema inferior) ou de menor detalhe (subsistema superior), sendo, portanto, um conceito de aplicação universal. O autor acredita ainda que o conceito de sistema possui caráter dinâmico e era, à época, o melhor instrumento lógico para estudar os problemas do ambiente, uma vez que se difere de um simples inventário de caráter estático (ib.id.).

Sothava (1978 *apud* MAXIMIANO, 2004), ao formular a teoria do geossistema, buscava aplicar a teoria geral dos sistemas para análise das paisagens naturais e/ou antropizadas, tendo como princípio a ideia de que os diversos componentes naturais se encontram em conexões sistêmicas uns com os outros. Embora parta de uma análise dos fenômenos naturais, o autor reconhece que é necessário levar em consideração os fatores sociais e econômicos que interagem com o sistema.

Influenciado pela escola russa, Bertrand (2004) propõe um sistema de classificação da paisagem por unidades homogêneas que se baseia na escala tempo-espacial dos elementos e dos fenômenos analisados para propor uma integração de fatores a fim de geração de análise de síntese. Essa divisão considera as unidades superiores, que abrange uma análise em escala ampla – zona, domínio e região natural –, e as unidades inferiores, que abarca os elementos e fenômenos

analisados sob uma escala de maior detalhe – geossistema, geofáceis e geótopo –, como mostra a Tabela 2.01. Para o autor as geofáceis seriam os aspectos superficiais das paisagens: solos, vegetação e as explorações antrópicas. Elas se dividem em geótopos, que são unidades topomorfológicas. O geossistema, por sua vez, engloba todo o conjunto.

Tabela 2.01 – Unidades de Paisagem

UNIDADES DA PAISAGEM	ESCALA TEMPORO-ESPACIAL (A. CAILLEUX J. TRICART)	EXEMPLO TOMADO NUMA MESMA SÉRIE DE PAISAGEM	UNIDADES ELEMENTARES				UNIDADE TRABALHADA PELO HOMEM (3)
			RELEVO (1)	CLIMA (2)	BOTÂNICA	BIOGEOGRAFIA	
ZONA	G I grandeza G. I	Temperada		Zonal		Bioma	Zona
DOMÍNIO	G. II	Cantábrico	Domínio estrutural	Regional			Domínio Região
REGIÃO NATURAL	G. III-IV	Picos da Europa	Região estrutural		Andar Série		Quarteirão rural ou urbano
GEOSSISTEMA	G. IV-V	Atlântico Montanhês (calcário sombreado com faia higrófila a <i>Asperula odorata</i> em “terra fusca”)	Unidade estrutural	local		Zona equipotencial	
GEOFÁCIAS	G. VI	Prado de ceifa com <i>Molinio-Arrhenatheretea</i> em solo lixiviado hidromórfico formado em depósito morânico			Estádio Agrupamento		Exploração ou quarteirão parcelado (pequena ilha ou cidade)
GEÓTOPO	G. VII	“Lapiés” de dissolução com <i>Aspidium lonchitis</i> em microsolo úmido carbonatado em bolsas		Microclima		Biótopo Biocenose	Parcela (casa em cidade)

NOTA: As correspondências entre as unidades são muito aproximadas e dadas somente a título de exemplo.
1 - conforme A. Cailleux, J. Tricart e G. Viers; 2 - conforme M. Sorre; 3 - conforme R. Brunet.

Fonte: Bertrand (2004)

O autor defende que os geossistemas correspondem ao nível de detalhe em que podem ser analisados e percebidos os fenômenos de interesse de estudo do geógrafo. Para o autor:

o geossistema situa-se entre a 4ª e a 5ª grandeza têmporo-espacial. Trata-se, portanto, de uma unidade dimensional compreendida entre alguns quilômetros quadrados e algumas centenas de quilômetros quadrados. É nesta escala que se situa a maior parte dos fenômenos de interferência entre os elementos da paisagem e que evoluem as combinações dialéticas mais interessantes para o geógrafo. Nos níveis superiores a ele só o relevo e o clima importam e, acessoriamente, as grandes massas vegetais. Nos níveis inferiores, os elementos biogeográficos são capazes de mascarar as combinações de conjunto. Enfim, o geossistema constitui uma boa base para os estudos de organização do espaço porque ele é compatível com a escala humana (BERTRAND, 2004, p. 146).

Dada a importância do geossistema para a análise da paisagem, Bertrand (2004) esboça uma definição teórica em que o considera como resultado da combinação do Potencial Ecológico

(clima, hidrologia, geomorfologia) com a Exploração Biológica (vegetação, solo, fauna) com a Ação Antrópica. Assim, um geossistema é um complexo essencialmente dinâmico mesmo em um espaço-tempo muito curto. Como exemplo, o autor sugere que o equilíbrio entre o potencial ecológico e a exploração biológica geraria um geossistema em estado de clímax, o que é muito raro. E por haver uma dinâmica própria interna, o geossistema não possui necessariamente uma grande homogeneidade fisionômica, sendo formado, majoritariamente, por paisagens diferentes que representam os diversos estágios de evolução do geossistema (op. cit.).

Christofolletti (1999) reforça que geossistemas são objetos de estudo da geografia física, pois representam um arranjo espacial que resulta da interação dos elementos e componentes físicos da natureza, havendo dimensão espacial e operando por meio de fluxos de matéria e energia. Monteiro (2000) acrescenta que a grandeza espacial dos geossistemas resultam da sua dinâmica ao longo do tempo e, à medida em que se intensificam as ações humanas na paisagem, os geossistemas tendem a se tornar mais complexos. Isso explica a proposta de Bertrand para a definição das unidades de paisagem, pois resultam da interação de todos os componentes paisagísticos, não sendo considerados os elementos isoladamente, ou seja, é a dinâmica do conjunto que se busca compreender ao avaliar a fisionomia da paisagem.

A análise geossistêmica busca compreender a estrutura hierárquica da paisagem por meio de um diagnóstico de caráter vertical e horizontal. Por meio de métodos de levantamento, análise e integração de variáveis antrópicas e ambientais, buscando entender potencialidades e vulnerabilidades, se elabora uma análise de síntese de unidades homogêneas que visa representar a qualidade ambiental naquele espaço-tempo analisado (MONTEIRO, 2000).

A partir dessas bases estabelecidas, surgem diversos estudos de análise da paisagem que se dedicaram a delimitar espaços homogêneos por meio da integração e análise de síntese das variáveis territoriais consideradas. Sobretudo a partir de uma maior disponibilidade de dados oriundo de sensores remotos terrestres e orbitais, da popularização dos SIG e das metodologias de análise espacial por meio de técnicas de geoprocessamento que proporcionaram maior eficácia para esse tipo de análise que podem gerar relevantes bases para o planejamento territorial em escala de paisagem.

2.5.2.1. Mapeamento de Unidades de Paisagem como base para o planejamento territorial

Para Dias e Santos (2007) uma das virtudes da análise integrada da paisagem por meio da delimitação das Unidades de Paisagem (UP) está em considerar a dimensão natural e social dos sistemas paisagísticos, o que permite uma avaliação da interação sociedade-ambiente. Embasados nos trabalhos de Bertrand (2004) e de Monteiro (2000) os autores realizaram a compartimentação das UP da região metropolitana de Curitiba, Paraná, a partir de um inventário dos elementos constituintes da paisagem e com objetivo de identificar as fragilidades, potencialidades e conflitos entre os sistemas antrópicos e naturais da área analisada. Os resultados apresentados podem servir como base para criação de um macrozoneamento e/ou para revisão e proposição de novas leis para gestão territorial. Os autores mostram ainda que a partir de uma primeira delimitação é interessante que se faça uma segunda análise em escala mais aproximada nas UP de interesse visando compreender dinâmicas peculiares que são perceptíveis somente em escala de detalhe.

Diversos estudos similares já foram publicados por todo o mundo, como, por exemplo, Pinto-Correia, Cancela d'Abreu e Oliveira (2001), Gisotti (2011) e Camargos, Rocha e Moura (2020) e, de um modo geral, apresentam propostas metodológicas bastante semelhantes que consistem na associação de dados ambientais e socioeconômicos por meio de SIG para identificação de áreas homogêneas a fim de gerar bases para um zoneamento e/ou discussões acerca de fragilidades e potencialidades da paisagem.

Nesse sentido, considera-se relevante tratar a experiência italiana no planejamento da paisagem, pois este país apresenta uma vasta experiência que pode ser vista nas bases legais estabelecidas ao longo do século XX e na elaboração dos Planos Territoriais Paisagísticos Regionais (PTPR) que foram criados com base na delimitação de UP. Embora esses planos regionais de gestão da paisagem se tornem obrigatórios somente a partir da promulgação da Lei Galasso, em 1985, vê-se que esse país já coloca em prática as ideias de planejamento e gestão territorial em escala de paisagem desde o final da década de 1930, quando da promulgação da Lei de Proteção das Belezas Naturais, em 1939 (ITALIA, 1939; ITALIA, 1985). Portanto, percebe-se ao longo do século XX uma evolução do arcabouço legal, conceitual e metodológico que coloca a Itália em uma posição de destaque no que tange ao planejamento e gestão da paisagem, o que justifica a escolha pelo recorte italiano para realização dos estudos propostos.

Vale destacar, ainda, que mais recentemente os gestores públicos italianos investem no estabelecimento dos objetivos de qualidade paisagística, que pode ser considerado como um pensamento de vanguarda nos processos de planejamento territorial.

2.5.3. Planejamento Territorial da Paisagem na Itália

A Itália pode ser considerada como um dos países referência no planejamento territorial em escala de paisagem, o que pode ser percebido *in loco* através da observação da qualidade paisagística e no reconhecimento das atividades antrópicas como parte integrante do desenvolvimento da paisagem para manutenção e valorização da cultura nacional, regional e local. Mas também está expresso através do arcabouço legal que começa a se estabelecer já no início do século XX e, mais recentemente, no emprego de metodologias baseadas no cruzamento de dados espaciais para delimitação das Unidades de Paisagem e dos Âmbitos Paisagísticos. Tais assuntos são tratados nos itens a seguir.

2.5.3.1. Histórico e leis

De acordo com o professor e pesquisador Carlo Monti (2020), os mecanismos legais de proteção da paisagem na Itália começam a ser estabelecidos a partir da década de 1920 com a criação de leis especiais e dos primeiros parques nacionais de proteção ambiental, como o parque nacional de *Abruzzo* instituído em 1921 e reconhecido oficialmente por decreto-lei em 1923 (ITALIA, 1923; PARCO NAZIONALE d'ABRUZZO, 2020). Naquele momento é dado um passo importante para conservação paisagística, mas ainda apenas no sentido de proteção dos ambientes naturais.

Em 1939 é criada a Lei de Proteção das Belezas Naturais que deixa explícita a intenção de garantir a qualidade paisagística por meio da proteção de: elementos imóveis de evidente beleza natural ou singularidade geológica; as vilas, os parques e os jardins ainda não protegidos por outras leis e que se distinguem pela sua beleza; os complexos de elementos imóveis que possuem aspecto característico com valor estético e tradicional; as belezas panorâmicas consideradas como quadros naturais, compreendendo, ainda, os mirantes acessíveis ao público de onde se pode “aproveitar o

espetáculo daquelas belezas” (ITALIA, 1939). Esse interesse e cuidado com a preservação das belezas naturais é reforçado quando da promulgação da Constituição Federal Italiana em 1947 que incorpora a tutela da paisagem como um princípio fundamental da ação do estado (ITALIA, 1947), o que pode ser considerado com um marco legal de grande importância para dar suporte à criação de novas leis e planos.

Monti (2020) ressalta que este período que vai dos anos 20 até meados dos anos 80, apesar de estabelecer importantes bases para conservação paisagística no país, apresentava uma lógica de pensamento fechada, ou seja, sem a noção de que cada objeto de interesse de preservação fazia parte de uma paisagem integrada. Assim, a proteção de elementos individuais sem contemplar os demais elementos constituintes daquela paisagem fatalmente não alcançaria os objetivos propostos. Além disso, os elementos de interesse de preservação eram somente aqueles de notável beleza cênica, o que excluía a preservação de paisagens de aspecto simples, mas que poderiam possuir condições ambientais relevantes para preservação. Portanto, nota-se que não era presente, ainda, a noção de paisagem como sistema integrado.

Durante as décadas de 1960 e 1970 é incorporada a noção de paisagem cultural e as novas leis e mecanismos de preservação passam a proteger não apenas os monumentos históricos isolados, mas todo o tecido antigo que faz parte do contexto daqueles monumentos. Já nas áreas agrícolas, não somente as belas paisagens são preservadas, mas, também, os territórios comuns visando manter o aspecto e a qualidade ambiental impedindo o crescimento de periferias urbanas que promoveriam transformações naqueles territórios (MONTI, 2020). Carlo Monti destaca o trabalho do geógrafo Emilio Sereni (1961) que define a paisagem como fruto dinâmico da interação homem/ambiente e que ela assume a forma que o homem, no curso das suas atividades produtivas, imprime conscientemente e sistematicamente à paisagem natural. Para Sereni (ib.id.) uma paisagem bela é aquela bem cultivada. Essas concepções reforçam a noção de paisagem como produto da interação do homem com o meio, sendo vista como suporte e recurso para manutenção das atividades produtivas e culturais.

Em 1975 a região *Emilia-Romagna* elabora uma análise integrada da paisagem por meio da composição de diferentes variáveis ambientais e realização de síntese dentro de quadrantes com área de 62.500m² (250m de lado). O objetivo era avaliar o potencial de uso agrícola do solo a partir da identificação das fragilidades do ambiente e do seu consequente “descarte”. Entretanto, da carta final podiam ser extraídas outras informações relevantes para o planejamento territorial, como a

indicação das zonas de risco à inundação. Essa análise, serviu como base para realização de futuros estudos que levaram à criação do plano territorial regional da referida região (MONTI, 2020).

Em 1985 é promulgada a lei 431 conhecida como Lei Galasso que define, a nível nacional, zonas de particular interesse ambiental e aponta territórios sujeitos a restrições, como faixas litorâneas, cursos d'água, florestas, geleiras, dentre outros. Além disso, a lei determina que as regiões italianas devem elaborar planos paisagísticos ou planos urbanísticos-territoriais com considerações específicas dos valores paisagísticos e ambientais (ITALIA, 1985). É, portanto, um passo decisivo para institucionalização do planejamento territorial regional considerando a paisagem como o centro da análise ambiental-territorial.

A partir de então, são elaborados estudos focados no conhecimento das peculiaridades do território, buscando identificar suas características históricas essenciais que levaram à sua atual configuração, bem como suas fragilidades e potencialidades. Como consequência, a necessidade de se subdividir em zonas se torna evidente e isso começa a guiar o pensamento dos gestores/planejadores que passam a entender que não se deve somente conservar a paisagem bela, mas também as diversidades que existem nas diferentes zonas. Essas bases contribuíram para um conhecimento mais consistente do território e foram essenciais para que, num momento mais adiante, pudessem ser estabelecidas as perspectivas de transformações para cada uma das zonas levando em conta as suas características aliadas aos objetivos de qualidade paisagística definidos. Assim se começa a pensar os planos regionais baseados em Unidades de Paisagem e na identificação das identidades dos locais, que pode ser entendido como o seu *genius loci*¹³. Esses assuntos serão aprofundados nos itens a seguir (REGIONE EMILIA-ROMAGNA, 1993. MONTI, 2020).

Percebe-se que a região *Emilia-Romagna* há uma posição de destaque no cenário italiano, pois a elaboração precoce da análise integrada por método de “descarte” gerou bases e experiência para o diagnóstico socioambiental elaborado no Plano Territorial Paisagístico Regional (PTPR) em 1993 que levou à delimitação das Unidades de Paisagem (REGIONE EMILIA-ROMAGNA, 1993). Naquele momento, o PTPR consistia basicamente numa análise-diagnóstico, não contemplando ainda objetivos de transformações futuras para as UP. Essas ideias, que atualmente

¹³ *Genius loci* é um termo em latim que se refere ao “espírito do lugar”. No âmbito do planejamento territorial é usado para se referir ao conjunto de aspectos socioculturais e paisagísticos que caracterizam um lugar, ou seja, se correspondem à essência de um lugar (NORBERG-SCHULZ, 1980).

estão no cerne do planejamento regional italiano, passam a ser incorporadas após a realização da Convenção Europeia da Paisagem (CEP) em 2000 e da publicação do Código de Bens Culturais e da Paisagem (CBCP) pelo governo italiano em 2004 (REGIONE EMILIA-ROMAGNA, 2011).

A CEP introduz o conceito de que a paisagem não é somente o aspecto visível de um ambiente a ser conservado, mas é, também, o aspecto visível de uma identidade cultural e social da comunidade que o habita. Assim, a paisagem passa a ser entendida como um elemento de identidade e, conseqüentemente, a sua preservação deve considerar, além dos aspectos ambientais, o contexto da vida cotidiana e as paisagens comuns que contribuem para configuração do ambiente de vida das populações (CONSIGLIO d'EUROPA, 2000; MONTI, 2020). Nesse sentido, passa a ser importante não somente a busca pela manutenção da qualidade ambiental e estética da paisagem, mas também a definição de objetivos de qualidade paisagística que aliam demandas socioculturais às condições territoriais.

Ainda no ano de 2000 é publicada a Lei Regional 20/2000 que disciplina a proteção e uso do território a nível comunal e provincial¹⁴. A principal novidade a partir dessa lei é a elaboração dos Planos Territoriais de Coordenação Provincial (PTCP) que têm por objetivo realizar diagnósticos e uma nova divisão de UP em uma escala de maior detalhe. Os PTCP devem estar alinhados com o plano PTPR e têm como função definir as estratégias para o desenvolvimento territorial e detalham as ações práticas possíveis no planejamento e gestão das comunas (REGIONE EMILIA-ROMAGNA, 2000).

Em 2004 é publicado o Código de Bens Culturais e da Paisagem que ratifica as premissas indicadas na CEP e traz novas demandas de reconhecimento de imóveis e de áreas de notáveis interesse público, bem como novos aspectos que devem ser contemplados pelos PTPR, gerando uma demanda de atualização deste documento (ITALIA, 2004). Maldina (2020) analisa que passa a ser necessário realizar uma análise da dinâmica de transformação e valorização dos elementos de risco e vulnerabilidade, bem como a individualização dos elementos de recuperação e requalificação das áreas comprometidas dentro das áreas de planejamento, até então mapeadas como Unidades de Paisagem.

¹⁴ A comuna é uma unidade básica de organização territorial da Itália dotada de personalidade jurídica, equivalente ao município no Brasil. Uma província é uma unidade territorial que agrega diversas comunas, entretanto não tem poder intermediário entre a comuna e a região ou o estado.

Em 2011 a Região *Emilia-Romagna* divulga uma nova divisão territorial elaborada com base nas divisões de UP regionais, atualizadas pelos PTCP e alinhadas com as premissas da CEP e do CBCP no que diz respeito à definição de objetivos de qualidade paisagística como guia para transformação da paisagem. São propostos, assim, os chamados Âmbitos Paisagísticos que trazem um modo de pensar a paisagem para além de uma tradicional definição de fragilidades e potenciais definidos com base nas variáveis ambientais analisadas. A proposta é construir uma base para projetar futuros desejáveis alinhados com as características territoriais de cada local (REGIONE EMILIA-ROMAGNA, 2011).

2.5.3.2.O PTPR da *Emilia-Romagna* e a proposição das Unidades de Paisagem

O PTPR da *Emilia-Romagna*, publicado em 1993, é parte temática do Plano Territorial Regional (PTR) e estabelece regras e objetivos para a conservação da paisagem a nível regional. O PTR, documento não publicado, é um instrumento mais amplo, com o qual a região estabelece os objetivos de desenvolvimento social e territorial visando reprodutibilidade, qualificação e valorização dos recursos sociais e ambientais (REGIONE EMILIA-ROMAGNA, 1993).

Já o PTPR, instrumento mais específico, influencia as estratégias e ações de transformação do território seja através da definição de um quadro de referência legal e conceitual para o planejamento regional seja mediante ações de tutela e de valorização paisagística-ambiental. Este plano é elaborado a partir das exigências impostas pela Lei Galasso em 1985 e, após a publicação do Código de Bens Culturais e da Paisagem em 2004, foram iniciadas as revisões para adequação, mas que ainda não foram publicadas (REGIONE EMILIA-ROMAGNA, 1993; REGIONE EMILIA-ROMAGNA, 2011; TONDELLI, 2020).

O PTPR é desenvolvido sob a convicção de que não existem diferenças entre paisagens que merecem ser conservadas e consumidas, mas sim que existem níveis de transformações possíveis em função do papel que uma determinada porção do território assume dentro do sistema ambiental, naturalístico e sociocultural a que pertence. A partir deste conceito, as regras propostas pelo plano são interpretadas não como impedimento às transformações, mas como maneiras de (re)conhecer o território visando traçar linhas de desenvolvimento compatíveis com suas características, isto é, sem perder ou destruir a identidade das comunidades e a qualidade ambiental (REGIONE EMILIA-

ROMAGNA, 1993). Lanzoni (2010) afirma que, nesse sentido, o PTPR levou o tema da paisagem da fase de uma defesa passiva a uma fase de conservação planejada de acordo com as características do território.

Assim como a maioria dos planos regionais, este instrumento é formado de um corpo normativo e de uma cartografia que delimita as áreas em que se aplicam as relativas disposições. A partir do cruzamento de uma série complexa de fatores (constituição geológica, elementos geomorfológicos, microclima, vegetação, elementos antrópicos e outros), o plano paisagístico identifica vinte e três unidades de paisagem para todo o território regional (Figura 2.18). As unidades de paisagem representam áreas territoriais com características específicas, distintas e homogêneas de formação e evolução. Além de criar zonas individuais dentro da paisagem, esse processo permite caracterizar os elementos estruturantes visando dar subsídios à gestão e ao planejamento territorial regional (REGIONE EMILIA-ROMAGNA, 1993; LANZONI, 2010).

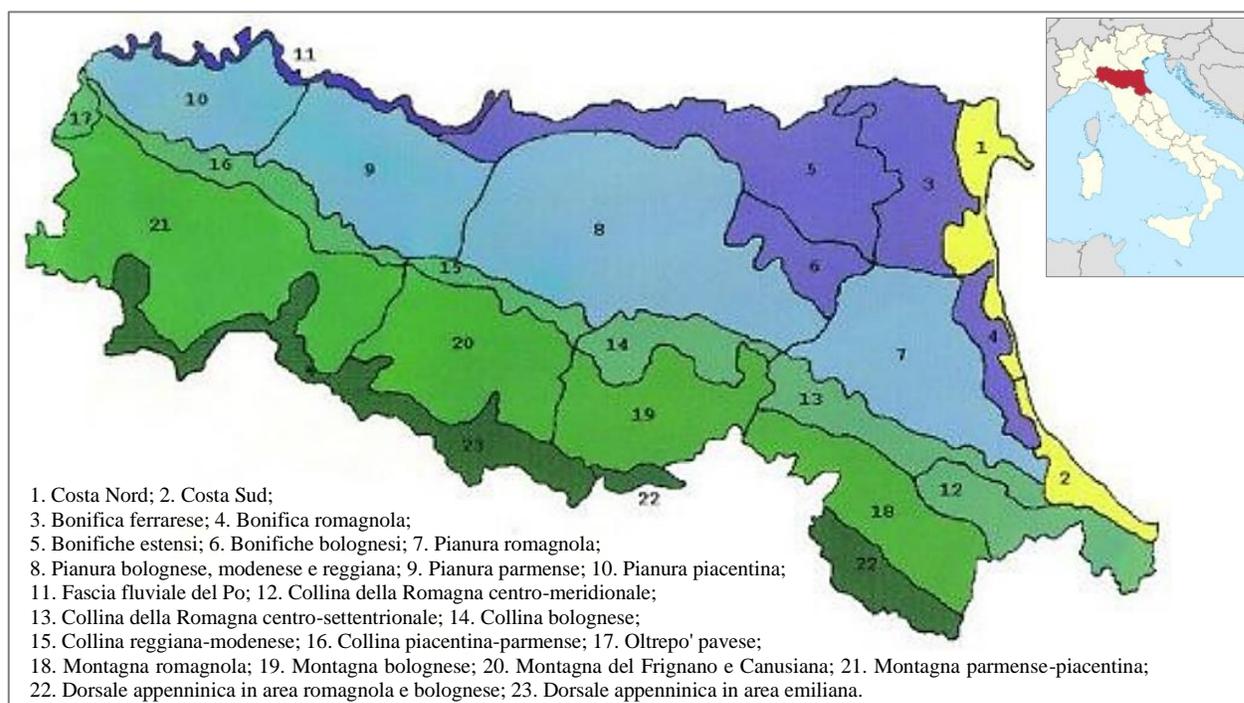


Figura 2.18 – Divisão das Unidades de Paisagem da região *Emilia-Romagna*.
 Fonte: Adaptado de Regione Emilia-Romagna (2011)

Essa subdivisão, como pode ser visto na figura, leva em consideração a fisiografia (montanha, colina, planície, costa), os sistemas temáticos (agrícola, arborizado, das águas, de assentamentos) e as invariantes estruturais da paisagem que consistem em componentes biológicos,

geomorfológicos ou de assentamentos humanos que apresentam persistência e inércia às mudanças ao longo tempo, ou seja, elementos fixos e representativos que caracterizam aquela unidade de paisagem. É importante frisar que as invariantes estruturais não são consideradas como uma rede de áreas não transformáveis, mas como um quadro de elementos fixos entorno aos quais se promovem intervenções para recuperação ou para valorização daqueles existentes e para promoção turística (REGIONE EMILIA-ROMAGNA, 1993; LANZONI, 2010).

Por ser baseado na lei Galasso (1985) o plano se mostrava efetivo na definição de limites e justificativas entre os elementos que devem ou não ser preservados. Entretanto, não foi pensado no sentido de planejar mudanças futuras, isto é, avaliar os espaços de acordo com suas possibilidades e, sobretudo, com o interesse em transformá-lo em direção a um futuro desejado. Isso gerou uma lacuna que, mais adiante, levou à proposição de novos conceitos e métodos de subdivisão de zonas de planejamento da paisagem que se adequavam às novas bases legais vigentes. Isso, pois no PTPR as UP foram delimitadas e descritas fundamentalmente com base nos aspectos naturais e históricos. As características socioeconômicas e territoriais contemporâneas teriam assumido um segundo plano, sendo representadas por alguns poucos dados que representam superficialmente os fatos, o que não é considerado suficiente para orientar transformações em curso ou para previsão de alterações futuras (LANZONI, 2010; REGIONE EMILIA-ROMAGNA, 2011).

Maldina (2020) acrescenta que as UP foram definidas através da leitura e interpretação imagens aéreas e satelitais, apoiadas pelo uso de cartas compostas de dados ambientais e socioeconômicos. Com base no PTPR, a autora organiza um quadro com a estrutura descritiva das UP que deixa claro seu viés ambiental em detrimento aos aspectos socioeconômicos e de avaliação de tendências de transformação (Quadro 2.07). Além disso, chama-se a atenção para o fato de que o PTPR apresenta uma estrutura textual de descrição da paisagem bastante consistente, entretanto essa não é acompanhada de imagens que poderiam auxiliar na compreensão das informações tratadas, como pode ser visto no documento descritivo da *UP 19 – Montagna bolognese* que consta no Anexo II. Essa UP tem como invariantes da paisagem o sistema viário em linhas de cumeada, extensa ocorrência de deslizamentos e casas-torres construídas com pedras de arenito.

O PTPR, embora seja um documento elaborado sobre um conjunto de informações robustas e bastante completo sobre aquilo que se propõe, apresenta algumas lacunas que exigiram algumas modificações posteriores. A primeira delas diz respeito à escala, pois o plano foi elaborado para toda a região e, portanto, as informações são tratadas em nível geral, não apresentando detalhes

suficientes para elaboração de projetos executivos. Para isso, foram criados os PTCP em escala de detalhe que acabaram por propor adequação dos limites das UP visando uma integração mais efetiva com os conteúdos propostos. A segunda diz respeito ao conteúdo, pois o PTPR e as UP são, basicamente, produtos de um diagnóstico ambiental, não se dedicando a pensar futuros possíveis para cada área em consonância com características, também, socioeconômicas e culturais. Dessa maneira, é publicado em 2011 uma versão prévia da revisão do PTPR que apresenta o conceito dos Âmbitos Paisagísticos e apresenta a nova divisão de zonas para a gestão territorial (REGIONE EMILIA-ROMAGNA, 2010; REGIONE EMILIA-ROMAGNA, 2011; FELLONI, 2019).

Quadro 2.07 – Critérios descritivos das unidades de Paisagem do PTPR da *Emilia-Romagna*

Descrição da Unidade de Paisagem		
1	Enquadramento territorial	superfície, população, densidade
2	Uso do solo	Agrícola, florestal, urbanizado, assentamentos precários
3	Altimetria	-
4	Capacidade de uso	em hectares, subdivisão do solo com base nas limitações de uso
5	Declividade	presença de depressões ou declives
6	Geologia	por classe litológica
7	Restrições existentes	lista sem especificação das áreas em questão
8	Componentes da paisagem e elementos caracterizantes	
	8.1 Elementos físicos	leque aluvial, paleocanais
	8.2 Elementos biológicos	fauna e flora
	8.3 Elementos antrópicos	Assentamentos históricos, tipologia histórica, organização histórica do território, etc.
9	Invariantes da paisagem	elementos recorrentes seja antrópicos (ex. sistema viário em linha de cumeada) quanto naturais (processos erosivos)
10	Bens culturais de particulares interesses	
	10.1 Bens culturais de interesse biológico - geológico	árvores, geosítio
	10.2 Bens culturais de interesse histórico - testemunhal	burgos, edifícios, zonas arqueológicas
11	Programas	planos e projetos existentes

Fonte: Traduzido de Maldina (2020) elaborado com base no PTPR de 1993

2.5.4. A Adequação do PTPR e os Âmbitos Paisagísticos

Além das lacunas supracitadas, destaca-se ainda que a CEP (2000) e o CBCP (2004) introduziram novas demandas de identificação de áreas de notável interesse público para preservação e novos conceitos de planejamento da paisagem, o que evidenciou a necessidade de adequação do PTPR. A partir desse momento, vê-se uma concepção de paisagem mais ligada à ideia de que é, ao mesmo tempo, palco e produto da manifestação das culturas ao longo do tempo sendo um importante elemento para a qualidade de vida das populações. Para dar conta dessas demandas, é proposta uma revisão do PTPR pautado na definição de *objetivos de qualidade paisagística* que são estabelecidos a partir da associação das características territoriais mapeadas com as dinâmicas em curso identificadas para cada uma das áreas (CONSIGLIO d'EUROPA, 2000; REGIONE EMILIA-ROMAGNA, 2010; REGIONE EMILIA-ROMAGNA, 2011).

Esse processo de revisão (concluído, porém ainda não publicado) se vale das UP provinciais, do conjunto de informações geradas pelos PTCP, mas inclui ainda novas pesquisas diretas sobre o território, baseadas em dados cartográficos, em imagens aéreas tomadas com perspectiva zenital e oblíqua, dentre outros materiais. Assim, busca traçar um entendimento amplo acerca da formação e evolução do território que dão subsídios para propostas de manutenção e potencialização das especificidades locais (REGIONE EMILIA-ROMAGNA, 2011; TONDELLI, 2020).

De acordo com Região Emilia-Romagna (2011), a gestão da paisagem não pode ser só um aglomerado de leis e regras com base nas características gerais do território. Deve embasar-se, também, nos objetivos traçados para as transformações intencionais e estar de acordo com as características do território. Para eles, no quadro de análise devem ser considerados dois cenários: o primeiro das mudanças naturais, de evolução espontânea da paisagem, e o segundo dos projetos institucionais que derivam do planejamento territorial. Assim, o cenário final deverá compor uma síntese das mudanças desejadas, ou seja, exprimir a intenção para a paisagem que se aspira no futuro.

Os Âmbitos de Paisagem (AP) representam, nesse contexto, o ideal de se integrar o conhecimento das características territoriais com o questionamento acerca das dinâmicas atuantes e confrontar essa base com a identificação de áreas que compartilham de mesmos sistemas estruturantes. A partir disso, traçar tendências socioeconômicas que poderão definir políticas e

ações de gestão com maior assertividade. Essa proposta, visivelmente audaciosa, visa constituir uma representação unitária e compartilhada da região, através da qual orientar a criação de paisagens e visões para o futuro. É interessante observar no traçado dos AP, representados na Figura 2.19, que foram criadas 49 áreas distintas, mas que essas são categorizadas por cores conforme os sistemas de agregação (Ag) propostos. Esses são baseados inicialmente nas características fisiográficas, mas levam em conta, também, a tendência de desenvolvimento e/ou problemas semelhantes, buscando retratar as estruturas geográficas da região (REGIONE EMILIA-ROMAGNA, 2011).

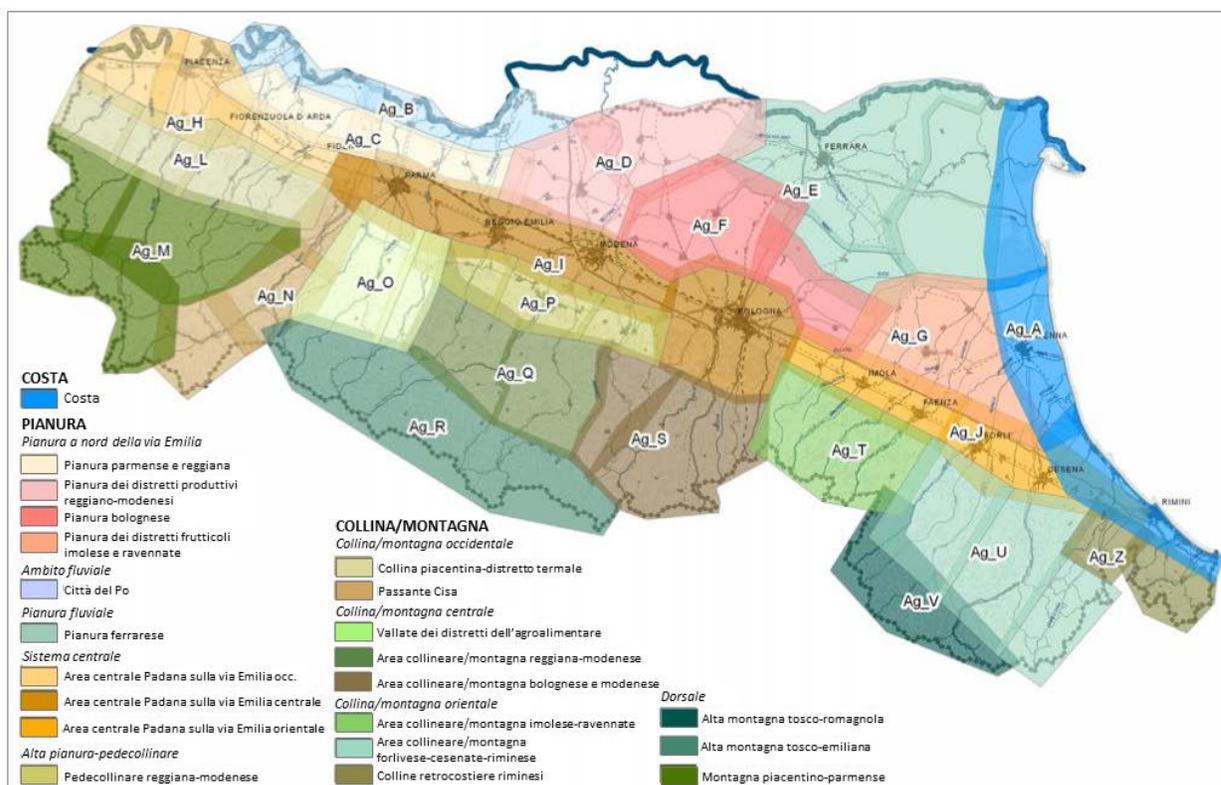


Figura 2.19 – Mapa dos Âmbitos Paisagísticos da Emilia-Romagna. Fonte Regione Emilia-Romagna (2011)

Como resultado, é esperado que essas subdivisões e agregações possam orientar a implementação de cenários futuros almejados definidos por uma série de objetivos. Todos os âmbitos paisagísticos confluem áreas com necessidade de conservação, recuperação e desenvolvimento/melhoramento. Portanto, os objetivos de qualidade paisagística devem conciliar a conservação com a melhoria e criar um novo suporte para o planejamento da paisagem regional. Observa-se ainda que as fronteiras dos AP não são claramente delimitadas, pois, em virtude da

heterogeneidade dos espaços, as fronteiras são tratadas como zonas de transições com sobreposições, chamadas de zonas de passagem que guardam características de mais de um AP (REGIONE EMILIA-ROMAGNA, 2011).

É interessante observar como essa proposta visa não somente à formação de um descritivo acerca das características da paisagem, mas exprime uma intenção voltada a um projeto de gestão da paisagem que se compromete a buscar uma qualidade difusa pelo território por meio do reconhecimento, também, das dinâmicas atuantes. Entretanto, a leitura dos documentos não evidencia se durante o processo de elaboração dos documentos houve momentos de escuta e/ou de validação das propostas com atores diversos da sociedade civil, o que poderia ser salutar para a democratização do processo.

Vale observar, ainda, que os documentos utilizam basicamente de recursos textuais e cartográficos para comunicação das informações, usando de algumas poucas fotos tomadas em solo para representação de trechos da paisagem. Acredita-se que o investimento em recursos de geovisualização, como os propostos na presente tese, poderiam auxiliar de maneira positiva na representação das paisagens, seja para facilitar ao leitor a compreensão das informações, seja como auxílio ao diagnóstico e caracterização das áreas.

Acredita-se que o uso dos AP representa um avanço em relação às UP, pois abarcam um conjunto mais complexo de informações focados não somente no diagnóstico socioambiental da área, mas também na proposição de melhorias visando um futuro desejado. Nesse sentido, acredita-se que para a reprodução desses métodos, por exemplo no Brasil, o uso de imagens aéreas com perspectiva oblíqua tenha potencial para, inicialmente, trabalhar a representação das invariantes paisagísticas das UP, ou seja, a representação do *genius loci* da paisagem. Num segundo momento, com auxílio desses recursos de geovisualização, diferentes atores da sociedade podem vir a colaborar para a definição dos objetivos de qualidade paisagística, focando na delimitação de AP.

2.5.4.1. Planejamento da paisagem no Brasil?

Até os dias de hoje não são conhecidas, no Brasil, políticas, metodologias e/ou práticas de planejamento territorial regional com enfoque na paisagem que sejam similares ao modelo italiano. Podem ser citadas diversas iniciativas realizadas em momentos distintos que se configuram como

práticas e políticas de planejamento regional, entretanto com estruturas muito distintas daquelas apresentadas.

Talvez as Unidades de Conservação (UC) representem as ações de planejamento e gestão que mais se aproximam da noção de paisagem como um sistema integrado. No Brasil, são conhecidas ações focadas na preservação ambiental desde o período colonial, como por exemplo na criação do Regimento do Pau-Brasil, em 1605, e na desapropriação de áreas para replantio de árvores, feita por D. Pedro II, em 1760 (MEDEIROS, 2006; PUREZA; PELLIN; PADUA, 2015). Entretanto, tem-se na criação do Parque Nacional de Itatiaia, em 1937, como marco nacional da criação das áreas protegidas (DELFINO, 2017).

Vê-se que o modelo brasileiro de gestão das UC absorve influências do modelo-americano “Preservacionista” – no qual são definidas zonas de proteção que excluem a possibilidade de existência de comunidades humanas – e do modelo europeu “Conservacionista” – orientado pelo uso sustentável dos recursos naturais (MORSELLO, 2001; DELFINO, 2017). Essa dualidade é observada nos códigos florestais criados desde 1934 até culminar no atual Sistema Nacional das Unidades de Conservação (SNUC) que regulamenta a criação de UC no Brasil que podem se enquadrar em 12 categorias diversas, mas que são divididas em 2 grupos principais, que são as de Proteção Integral (com objetivo de preservar a natureza, impedindo o uso dos recursos naturais) e as de Uso Sustentável (com objetivo de compatibilizar a preservação da natureza com o uso sustentável de parte dos recursos naturais) (BRASIL, 2000; BENSUSAN, 2006).

Mais recentemente, em 2006, é instituído o Plano Estratégico Nacional de Áreas Protegidas (PNAP) que reconhece as terras indígenas e quilombolas também como áreas a serem protegidas, o que reforça a importância de proteção não apenas dos aspectos naturais, mas também das populações tradicionais e de suas culturas que são desenvolvidas sobre o território (BRASIL, 2006; DELFINO, 2017).

Essas ações, assim como se vê na proposta de criação das Áreas de Proteção Ambiental (APA), UC de Uso Sustentável, pretendem afrontar essa complexidade da promoção da conservação ambiental aliada ao desenvolvimento socioeconômico. Observa-se que o modelo italiano de gestão da paisagem foi fortemente baseado nesses preceitos, gerando um arcabouço técnico, metodológico e legal que hoje viabiliza o desenvolvimento de planos e ações que dão conta de pensar a paisagem como elemento que integra as atividades humanas com o ambiente em que elas se desenvolvem. Isso teve forte influência no estudo e definição das UP como condição para

compreender as características territoriais e, a partir disso, propor ações de planejamento e gestão. Vê-se que no Brasil não foram desenvolvidos estudos, planos e/ou normativas nesse sentido, criando uma lacuna de conhecimento acerca da paisagem que hoje cria obstáculos para uma gestão integrada e efetiva.

Sob o ponto de vista das cidades, a constituição dos Planos Diretores (PD) municipais representa desde o início a intenção de gerir a paisagem urbana por meio da definição de regras de uso e parâmetros para a ocupação. Mas, ao longo da história brasileira, viu-se um crescimento populacional em ritmo mais acelerado do que a instalação de infraestruturas e serviços capazes de atender esse contingente, fazendo com que os planos desenvolvidos, por vezes, atuassem na correção de problemas e não na criação de bases para o desenvolvimento.

Villaça (1999) considera que a primeira fase de urbanização no Brasil acontece no período entre 1875 e 1930, quando conceitos europeus de embelezamento das cidades influenciam a realização de reformas higienistas nos centros urbanos brasileiros (sobretudo Rio de Janeiro), o que por consequência promove um processo de gentrificação e o crescimento da cidade informal em zonas periféricas.

A partir de 1930 se torna evidente a necessidade de planejar as cidades em função do perceptível caos urbano instaurado. Nesse contexto surge o Plano Agache (RJ) que é considerado como o primeiro PD brasileiro, pois aborda aspectos legais, de habitação e de ordenamento territorial no planejamento urbano. Principalmente, esse plano emprega o zoneamento como prática essencial de planejamento, detalhando condições para a realização de loteamentos, edificações etc., evidenciando a intenção em gerir a paisagem urbana que sofria intensas transformações (VILLAÇA, 1999; HERCULANO, 2018).

Dentre as fases subsequentes da urbanização brasileira, destacam-se ainda três períodos marcantes. Aquele em que aparecem os planos integrados de desenvolvimento (1965 a 1971) que abordam outros aspectos relacionados ao território, como econômicos, sociais e as questões metropolitanas, criando a ideia de planejamento para além dos limites municipais. Isso levou a criação de planos extremamente técnicos e longos, portanto não sendo efetivamente utilizados. Em resposta a essa fase, a partir de 1971 até 1992 os planos começam a renunciar a diagnósticos técnicos e até mesmo de mapas para representar as propostas de planejamento. Apresentando, portanto, somente diretrizes gerais e ocultando conflitos de interesses em relação ao espaço urbano, sendo considerados quase como meras “cartas de intenções”. E após a democratização do país e

promulgação da constituição de 1988, o planejamento urbano deixa de ser tratado como neutro e passa a ser visto como um processo político no qual considera a participação social. A constituição considera os PD como principal instrumento de desenvolvimento e expansão urbana municipal, que visa promover um ordenamento por meio do planejamento (VILLAÇA, 1999; VILLAÇA, 2005; HERCULANO, 2018). Nesse contexto, é promulgado o Estatuto das Cidades que estabelece o direito à cidade sustentável, elencando princípios e diretrizes que devem ser adotados nos PD obrigatórios para as cidades com mais de 20mil habitantes (BRASIL, 2001). Entretanto, na prática, percebe-se que o PD é, ainda, limitado, pois é um instrumento de planejamento territorial que se aplica à escala municipal, deixando lacunas no que tange ao planejamento em escala regional que, por sua vez, é berço de diversos processos que influenciam na dinâmica dos municípios.

Esse histórico da urbanização no Brasil, assim como aquele relacionado à conservação ambiental, nos mostra que todas essas iniciativas de proteção e/ou autorização de usos *não* foram antecedidas por estudos de características da paisagem e de seus potenciais e limitações. Acredita-se que esse tipo de estudo deva ser entendido como *base* para realização dos planos de ordenamento territorial, ou seja, deve ser elaborado anteriormente para que os planos possam ser concebidos em consideração às características ambientais, econômicas e culturais da paisagem. Isso, assim como se vê nas propostas italianas, visa assegurar a qualidade paisagística por meio do conhecimento de seus aspectos principais no espaço e tempo analisado e é entendido como norte para o desenvolvimento econômico, social e cultural com respeito às potencialidades e vulnerabilidades do ambiente natural.

Conforme ressalta Moura (2017), somente a partir do Estatuto das Cidades (2001) – que inclui a paisagem urbana como elemento essencial a ser analisado especificamente em Estudos de Impactos de Vizinhança (EIV), e da Portaria nº 127/2009 do IPHAN que estabelece a chancela da Paisagem Cultural Brasileira, mas para os casos de paisagem notável e extraordinária, é que proteção de paisagens começa a ser considerada. O IPHAN (2009, art. 1º), considera que a “Paisagem Cultural Brasileira é uma porção peculiar do território nacional, representativa do processo de interação do homem com o meio natural, à qual a vida e a ciência humana imprimiram marcas ou atribuíram valores” e que a chancela da Paisagem Cultural Brasileira “implica no estabelecimento de pacto que pode envolver o poder público, a sociedade civil e a iniciativa privada, visando a gestão compartilhada da porção do território nacional assim reconhecida (IPHAN, 2009. art. 4º).

Pereira (2018) observa que embora tenha estabelecido claramente a intenção de promover uma gestão compartilhada da paisagem, o IPHAN ainda não conseguiu instituir na prática essa nova forma de atuação que, em teoria, deveria ter maior foco e poder de planejamento e diálogo do que de fiscalização.

Outras iniciativas de planejamento em escala regional que, de certo modo, lidam com as características da paisagem são conhecidas no Brasil. Como por exemplo, a Política Nacional de Desenvolvimento Regional (PNDR), um instrumento legal que baliza a ação do governo federal visando reduzir as desigualdades sociais e econômicas intra e inter-regionais (BRASIL, 2019a) e que tem como instrumentos de planejamento os Planos Regionais de Desenvolvimento. Tomando-se o Plano Regional de Desenvolvimento do Nordeste (PRDNE) como exemplo, vê-se a realização de um extenso diagnóstico socioeconômico e ambiental de toda a região nordeste do país, entretanto sem a proposição de subdivisão de áreas de planejamento, como as UP ou os AP. Sobretudo, o planejamento não é pensado em termos de qualidade paisagística, isto é, é sempre guiado por uma lógica de desenvolvimento econômico que, por consequência, pode gerar desenvolvimento social, mas sem uma real associação com as capacidades de suporte do meio físico e tampouco uma valorização da paisagem como suporte e produto das atividades culturais (BRASIL, 2019b).

Outro exemplo relevante de planejamento regional no Brasil são os Zoneamentos Ecológico-Econômico (ZEE). Como exemplo, cita-se aquele realizado em Minas Gerais que adota as características ambientais como bases para um almejado desenvolvimento sustentável. É realizado um diagnóstico com base no cruzamento de diversas variáveis ambientais que classificam o estado em zonas de vulnerabilidade natural ou de potencial social que têm por objetivo criar um índice de possibilidade de transformação. Mesmo que apoiado em uma análise de síntese das características ambientais para planejamento regional, os ZEE não propõem uma subdivisão de áreas homogêneas como as UP para realização do planejamento da paisagem com objetivos de manutenção e melhoria da sua qualidade.

No âmbito acadêmico, são conhecidos trabalhos que propõem a análise da paisagem por meio da delimitação da UP, como por exemplo, os trabalhos de Amorim e Oliveira (2008), Dias e Santos (2010), Amorim e Coccozza (2016) e outros que, de modo geral, elaboram uma análise de síntese com base no cruzamento de variáveis ambientais visando gerar bases para planejamento e gestão territorial. Entretanto, esses conhecimentos gerados não são ainda empregados de modo

efetivo na gestão pública nacional para ordenamento e desenvolvimento das paisagens garantindo sua manutenção e melhorias.

Diante deste quadro de inexistência do planejamento da paisagem do Brasil, do conhecimento dos inúmeros problemas sócio, ambientais e econômicos decorrentes dessa cultura e da observação de experiências mais exitosas do que a brasileira, o grupo de pesquisadores envolvidos com o Laboratório de Geoprocessamento da Escola de Arquitetura da UFMG (GEOPRO-EA) decide iniciar estudos de definição de UP para o Quadrilátero Ferrífero-MG (QFe). Esses estudos, ainda em curso, visam gerar bases para promoção do planejamento dessa paisagem que é de extrema relevância ambiental e econômica para MG e que, a inexistência de um planejamento integrado da paisagem, coloca em risco a qualidade de vida das populações, as belezas cênicas, o potencial de exploração econômica e a qualidade ambiental da área. Os resultados, para que sejam usáveis por um amplo espectro de atores sociais, deverão lançar mão da utilização de recursos de geovisualização para auxiliá-los na compreensão das informações retratadas (Projeto CNPq 401066/2016-9 e Fapemig PPM-00368-18).

É, portanto, diante deste contexto que a presente tese propõe a representação das invariantes paisagísticas das UP da *Emilia-Romagna* com base na captura de imagens aéreas. Acredita-se que o modelo conceitual e metodológico empregado na Itália aliado aos ganhos em geovisualização que podem ser proporcionados pelo uso de imagens aéreas, possa servir como suporte ao planejamento da paisagem no Brasil. Portanto, são criadas aqui as propostas de representação de UP a partir das bases italianas, já consolidadas, para que futuramente essa proposta possa ser replicada em estudos no QFe ou em outras áreas do mundo. Acredita-se que a representação das invariantes paisagísticas seja um meio eficiente para o estabelecimento de diálogos com diferentes atores sociais visando à definição dos objetivos de qualidade paisagística como base para a promoção de um futuro desejável e possível.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo são apresentados os materiais e métodos adotados para realização dos estudos de caso que compõem a presente pesquisa. Inicialmente são apresentadas as áreas de estudo e a relação de estudos de caso desenvolvidos. Na sequência são detalhados os equipamentos e procedimentos utilizados para coleta, processamento e apresentação para geovisualização dos dados. Por fim, o conjunto da obra é apresentado no fluxograma de trabalho.

3.1. Áreas de estudo

O processo investigativo desta pesquisa foi realizado, basicamente, por meio de testes realizados em nove diferentes estudos de caso. Esses estudos aconteceram em seis diferentes áreas, sendo que nos bairros Conjunto Paulo VI e Confisco foram realizados três e dois estudos, respectivamente. Nesses casos, os estudos iniciais trataram da técnica de produção de dados e num segundo momento os dados produzidos serviram como base para realização de oficinas de Geodesign, quando foram realizadas avaliações acerca da geovisualização. A relação das áreas de estudo e das análises realizadas em cada uma delas está organizada no Quadro 3.01. Neste quadro, os estudos estão ordenados conforme são apresentados nos capítulos de resultados.

O quadro apresenta, também, os dados que foram produzidos com auxílio do drone¹⁵ e analisados durante a pesquisa, quais sejam: o Modelo 3D, o MDS, o MDT, o Ortomosiaco e as Fotografias Aéreas, estas tomadas em perspectiva oblíqua. Essas áreas de estudos representam a gama variada de dados e escalas que se busca analisar nesta pesquisa, partindo do elemento individual (o Modelo 3D de uma edificação), passando pela escala de bairros (MDS, MDT e Ortoimagem), até as Unidades de Paisagem (fotografias aéreas). E as análises realizadas representam a gama de investigações e análises realizados nos estudos, que se dividem entre os conhecimentos técnicos (dos métodos empregados na coleta e processamento de dados) e aplicados (no uso dos produtos para suporte à geovisualização e ao planejamento territorial). Esse arcabouço de dados, escalas e análises diversos configuram o processo exploratório adotado nesta pesquisa.

¹⁵ O mapa de declividades e o MDT mencionados no estudo de caso do bairro Conjunto Paulo VI foram produzidos a partir de curvas de nível cedidas pela PRODABEL.

Quadro 3.01 – Estudos de caso realizados por áreas de estudo

Área de estudo	Dados utilizados	Escala de Análise	Eixo de Investigação	Análise realizada
Igreja São Francisco de Assis, Pampulha	Modelo 3D	Edificação < 1.000 m ²	Técnica	Avaliação do nível de qualidade do Modelo 3D com base no LOD da OGC (2012)
Bairro Conjunto Paulo VI	MDS	Bairro (65 ha)	Técnica	Análise da Morfologia do MDS em relação à técnica de voo empregada e em comparação ao dado LiDAR
Bairro Conjunto Paulo VI e UNIBH	Ortomosaico, MDS e MDT	Edificação < 1.000 m ²	Técnica	Análise da qualidade da ortorretificação feita com base no MDS e MDT
Bairro Confisco	MDS e Ortomosaico	Bairros (340 ha)	Técnica	Análise do PEC-PCD dos ortomosaicos e do MDS em relação à quantidade de PC em solo
Bairro Conjunto Paulo VI	MDS e Ortomosaico	Bairro (65 ha)	Técnica	Avaliação da integração de dados drone com dados LiDAR
Comunidade Dandara	MDS, Ortomosaico e Modelo 3D	Bairro (38 ha)	Geovisualização	Avaliação dos produtos gerados por drone como suporte à realização da oficina de Geodesign
Bairro Conjunto Paulo VI	Modelo 3D, MDT, Declividades, Ortomosaico	Bairro (65 ha)	Geovisualização	Avaliação do raciocínio espacial de crianças a partir da utilização de diferentes fontes de dados
Bairro Confisco	MDS, Ortomosaico, Modelo 3D e Fotos Aéreas	Bairros (340 ha)	Geovisualização	Avaliação dos produtos gerados por drone como suporte à geovisualização na oficina de Geodesign
Região <i>Emilia-Romagna</i>	Fotos aéreas	Paisagem > 100 km ²	Geovisualização	Avaliação do potencial de representação das características essenciais das Unidades de Paisagem por meio de fotografias aéreas

Fonte: Elaborado pelo autor

A maior parte dos estudos foram realizados em Belo Horizonte (MG), principalmente em locais onde há a presença de assentamentos irregulares e que vêm sendo objetos de estudo de Geodesign, seja em pesquisas acadêmicas ou por ações de planejamento e gestão urbana por parte da PBH. O último dos estudos foi realizado na região *Emilia-Romagna*, na Itália, onde há uma sólida experiência de planejamento territorial regional apoiado na divisão de UP que serviram como bases para os testes aqui propostos. As Figuras 3.01 e 3.02 mostram os mapas das áreas de estudo em Belo Horizonte e na *Emilia-Romagna*, respectivamente.

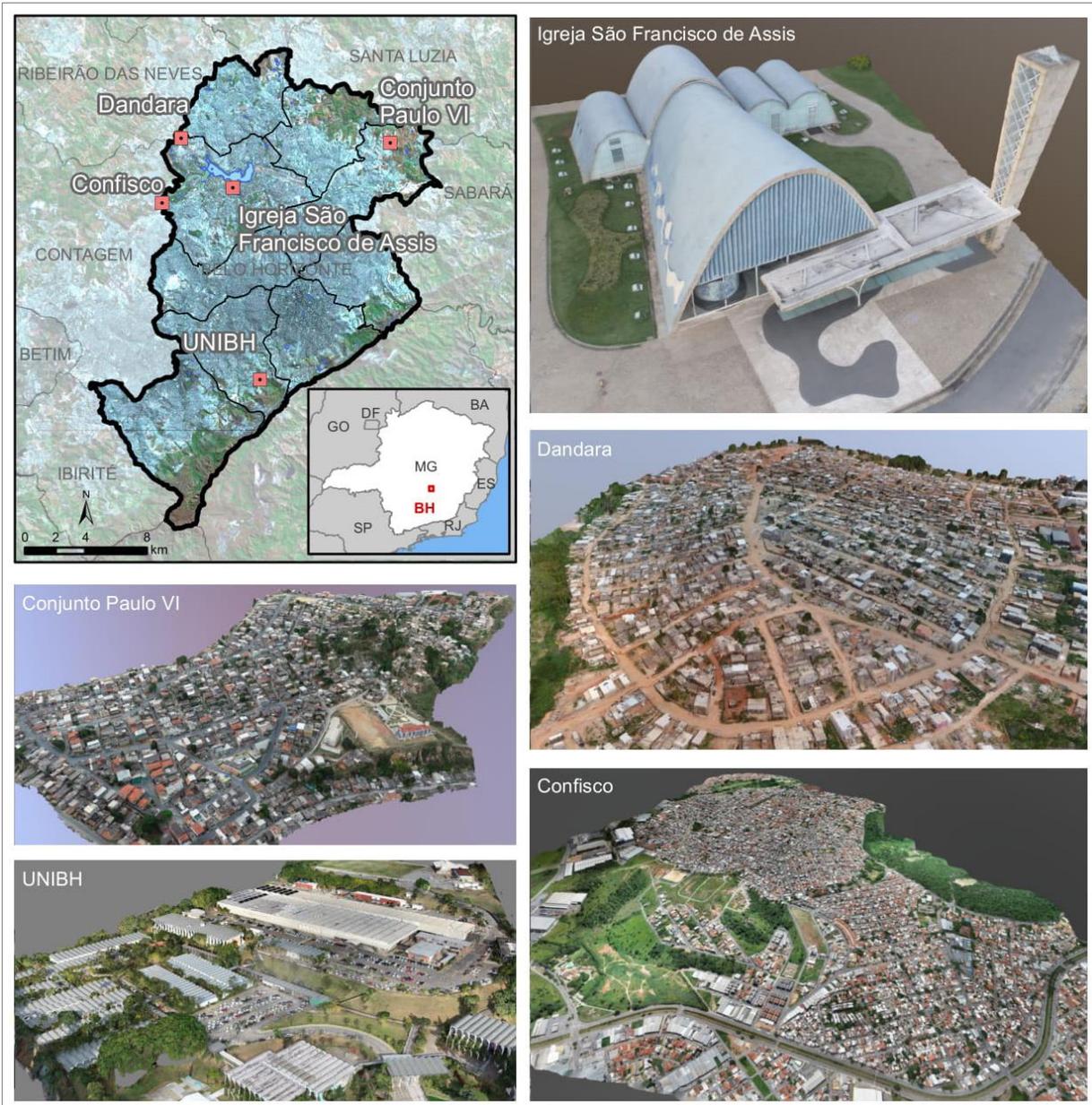


Figura 3.01 – Localização das áreas de estudos em BH. Fonte: Elaborado pelo autor a partir dos estudos de caso.

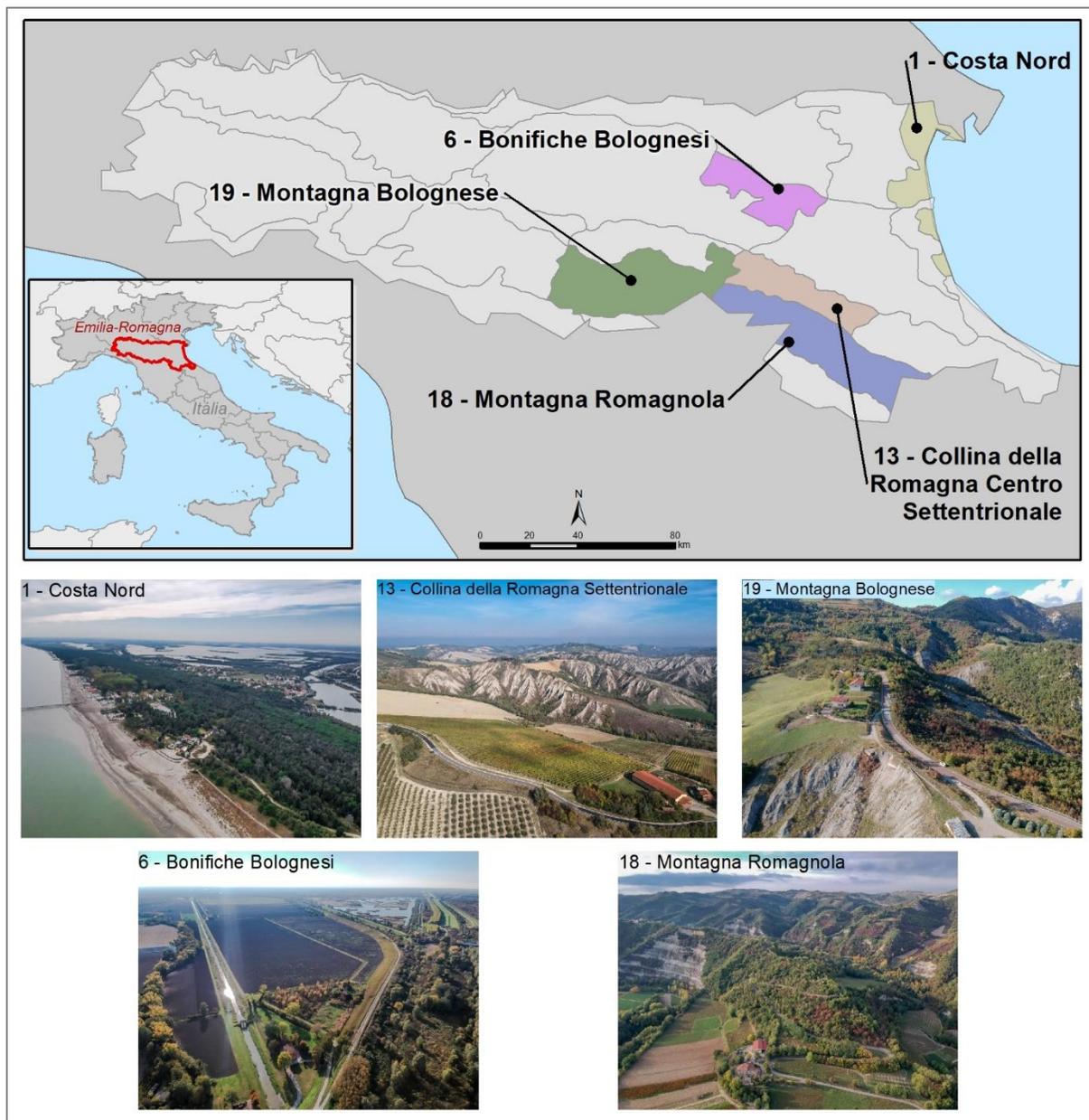


Figura 3.02 – Localização da área de estudo e de coleta de imagens na *Emilia-Romagna*. Elaborado pelo autor a partir do estudo de caso.

3.2. Drones e aplicativos controladores de voo utilizados para coleta de dados

Para realização de todos os estudos de caso, exceto aquele realizado na Itália, foi utilizado o drone multirrotor *Phantom 4 Pro* da fabricante DJI. Essa aeronave possui um sensor CMOS de 1 polegada que entrega 20MP efetivos, numa lente com campo de visada diagonal de até 84°. Já para

o estudo de caso italiano, foi utilizado o drone DJI Spark que possui um sensor CMOS de 1/2,3 polegadas que atinge 12MP. A primeira aeronave pesa 1,34 kg, autonomia para até 30 minutos de voo e maior estabilidade no ar, sendo mais adequada para os estudos que usaram técnicas de aerolevanteamento. Já a segunda aeronave pesa 0,3 kg o que lhe confere muita praticidade no transporte, sendo indicada para tomadas de fotografias livres. Ambas são categorizadas como Mini Drone, pois são capazes de operar num raio de até 7 km e 2 km, respectivamente (BLYENBURGH, 1999; DJI, 2017). Ambos são equipamentos da linha “consumidor” (não profissional) dessa fabricante e apresentam boa relação de custo-benefício, pois integram uma série de sensores já calibrados prontos para voar, não exigindo do usuário avançados conhecimentos técnicos sobre a mecânica da aeronave.

Essas aeronaves integram o grupo dos drones multirotores o que lhes confere diversidade de movimentos no ar, como girar em torno do próprio eixo, manter o foco da câmera no centro da área de coleta, posicionar a câmera nas posições verticais, oblíquas e horizontais, etc. Isso viabiliza o registro dos objetos em diferentes perspectivas o que permite a geração de modelos tridimensionais realísticos preservando a forma e textura dos objetos, o emprego de técnicas de aerolevanteamento com controle das linhas de voo e da taxa de sobreposição das imagens, a realização de fotos e filmes a partir de diferentes perspectivas e movimentos, dentre outros.

Para planejamento e controle do voo nos estudos de caso em que foram empregadas técnicas de aerolevanteamento, foi utilizado o aplicativo Map Pilot disponível para sistemas operacionais iOS. Este aplicativo possui a função *Terrain Aware* que proporciona o reconhecimento das cotas altimétrica do terreno, tomando como base uma imagem SRTM, que possui resolução espacial de 30 m. Isso faz com que a aeronave se mantenha a uma altura uniforme em relação ao solo, ou seja, numa distância constante em relação ao solo o que proporciona a coleta de todas as imagens com o mesmo GSD (*Ground Sample Distance*), reduzindo, assim, a interferência da variação do terreno na qualidade dos produtos gerados. Ressalta-se que, uma vez que a imagem SRTM não possui alta resolução espacial, essa correção não considerará todas as nuances do terreno e, logo, servirá como um atenuador da variação topográfica. Esse processo está ilustrado na Figura 3.03 que mostra o comparativo de voo com e sem o uso da função *Terrain Aware* realizado no bairro Conjunto Paulo VI.

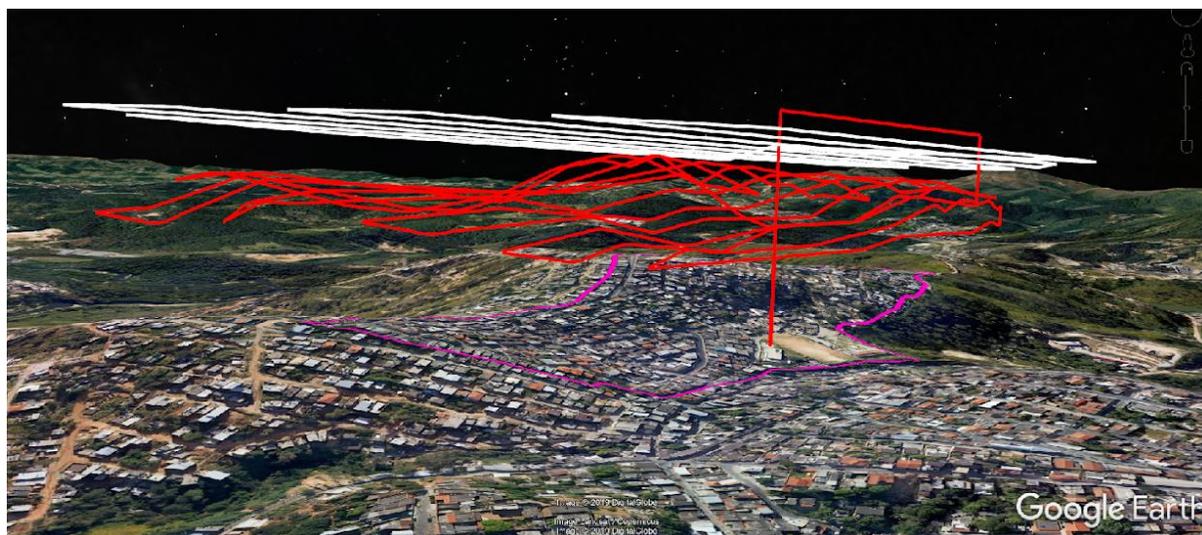


Figura 3.03 – Comparação entre as altitudes dos voos com o drone. Em lilás, preso ao solo, o limite do bairro Conjunto Paulo VI. Em vermelho as linhas de voo com altura relativa ao solo (com utilização da função *Terrain Aware*). Em branco as linhas de voo com altitude fixa (sem utilização da função *Terrain Aware*). Fonte: Elaborado pelo autor no estudo de caso Paulo VI, BH (2019).

Para a análise do modelo 3D da igreja São Francisco de Assis, na Pampulha, foi utilizado o aplicativo Pix4D Capture que permite a realização de voos para reconstrução 3D de edificações por meio de diferentes técnicas. Neste estudo de caso, foi empregada a técnica de voo circular com diferentes alturas, o que permitiu a coleta de dados da fachada e do teto da edificação, o que dá a possibilidade de uma reconstrução 3D realística em termos de forma e textura dos elementos. Neste tipo de voo a sobreposição das imagens é calculada por meio do ângulo formado entre os pontos de tomada de imagem, conforme apresenta a Figura 3.04. Não é disponível no aplicativo o percentual de sobreposição de cada imagem por meio da aplicação dessa técnica, sobretudo porque esse cálculo depende do ângulo de abertura da lente da câmera. Entretanto são disponíveis valores de que vão de 4° (mais alta sobreposição) até 20° (mais baixa sobreposição).

Para o estudo de caso da representação de UP na Itália, foi utilizado o aplicativo DJI Go que é o aplicativo básico dos drones dessa fabricante, pois possui as funções principais de configuração dos equipamentos, como definição de altura máximo de voo, faixa de frequência de comunicação com o controle remoto, calibração da bússola do equipamento, dentre outras funções. Este aplicativo permite registrar fotos e vídeos a partir de voos que devem ser controlados manualmente pelo usuário, o que permite escolher os melhores ângulos e posições para tomadas das fotografias aéreas durante o voo.

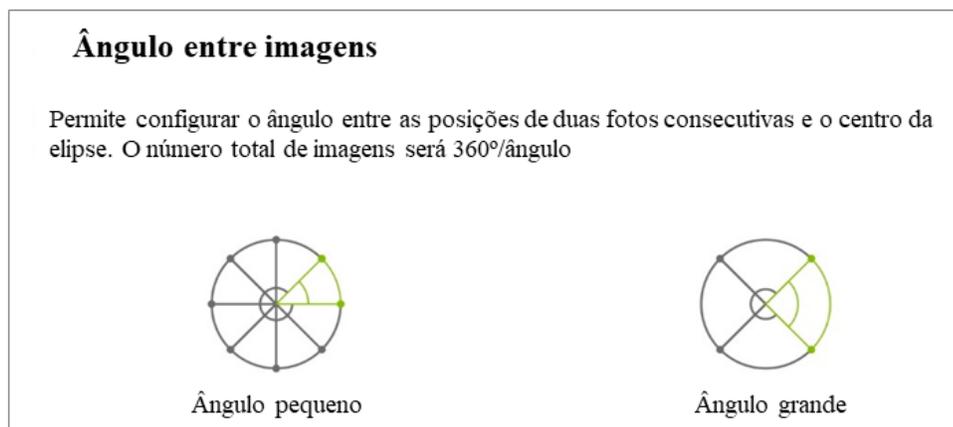


Figura 3.04 – Cálculo de ângulo entre as fotos. Fonte: Traduzido de Pix4D Capture (s/d.)

3.3. Coleta de Pontos de Controle com receptores GNSS

Este tipo de drone de linha comercial possui um receptor interno de sinal GNSS que não lhe confere alta acurácia posicional, pois não utilizam de alguma correção em solo ou de antena externa para melhoria da captura do sinal. Portanto, a utilização de PC em solo com receptores GNSS contribuem para melhoria da qualidade posicional planimétrica e altimétrica dos dados.

Nesta pesquisa, seguiu-se as instruções apresentadas por Monico (2000) e IBGE (2008) para coleta de coordenadas XYZ e foram testados dois métodos de coleta, o primeiro em modo relativo estático feito para coleta de dados no bairro Conjunto Paulo VI e na Comunidade Dandara e o segundo aplicando a técnica de correção cinemática em tempo real, conhecida como *Real Time Kinematic* (RTK), feita para coleta de dados no bairro Confisco e no UNIBH. Ambos os processos utilizam de pares de receptores GNSS sendo que um deles deve desempenhar a função de *base*, ou seja, permanecer fixo no mesmo ponto durante todo o período de coleta de dados a fim de registrar a coordenada daquele ponto a partir de um número maior de observações, o que leva a uma maior precisão do dado.

No método estático, o segundo equipamento trabalha de modo independente e deve fazer o registro de cada coordenada também por meio de um tempo prolongado de observações, sendo sugerido não menos que 10 minutos para cada ponto. Já no método RTK, os equipamentos *base* e *rover* possuem comunicação via rádio e a comunicação entre eles é usada para proporcionar acurácia do ponto registrado pelo *rover* mesmo com pouco segundos de observações. Este

procedimento foi desenvolvido para proporcionar maior agilidade na coleta de dados, mas garantindo um nível satisfatório de acurácia dos pontos, sendo que cada ponto pode ser registrado em poucos segundos, de acordo com a escolha do usuário.

Após a coleta de dados em campo, é recomendada a realização de um pós-processamento dos pontos visando a uma maior acurácia, o que é feito com base na rede de monitoramento contínuo do IBGE. Para os estudos de caso em que foi empregado o método estático, foi utilizado software *Topcon Tools* para fazer os ajustes das coordenadas com base nos dados disponibilizados pela Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo (RBMC) do IBGE. Já nos estudos de caso em que foi empregada a técnica RTK, a correção foi feita por meio da utilização dos dados de Posicionamento por Ponto Preciso (PPP) também do IBGE. Em todos os casos, a verificação da ondulação geoidal e transformação da altitude geométrica (elipsoidal) para a altitude ortométrica (geoidal), foi feita com base no modelo de ondulação geoidal MapGeo 2015 do IBGE.

Esses procedimentos foram adotados para coleta de dados em todos os estudos de caso que demandaram aerolevantamento, ou seja, não foram coletados PC com receptores GNSS somente na avaliação do modelo 3D da igreja São Francisco de Assis e na representação de UP na *Emilia-Romagna*.

3.4. Softwares usados para processamento de dados

Para o processamento dos dados coletados pelo drone foi utilizado o software Agisoft PhotoScan versão 1.4.2 que realiza a reconstrução de objetos tridimensionalmente por meio do método *Structure from Motion*. De modo geral, o processamento dos dados no software segue o seguinte fluxo de trabalho:

1. Alinhamento das imagens e geração de *Tie Points*;
 - a. Georreferenciamento das fotos com base nos PC coletados em solo e realização de novo alinhamento das imagens (quando for o caso);
2. Construção da nuvem de pontos densa;
 - a. Classificação da nuvem de pontos para permitir a criação do MDT (quando for o caso);
3. Construção do modelo 3D no formato *mesh*;

- a. Edição da *mesh* para remoção de ruídos e/ou para a geração de MDT (quando for o caso);
 - b. Texturização da *mesh* para geração de representações realísticas, quando for o caso;
4. Construção do MDS/MDT;
 5. Construção do ortomosaico (com base no MDS ou MDT)

Esse software e a maior parte do fluxo de trabalho aqui apresentado foi usado para todos os estudos de caso, exceto o da Itália que trabalhou apenas com fotografias aéreas.

Para realização das análises dos dados foram usados os softwares AutoCAD e ArcGIS. O primeiro foi utilizado no estudo de caso de avaliação do modelo 3D da igreja São Francisco de Assis para realização de gráficos de perfis a partir da nuvem de pontos da igreja, bem como para realização das medições e comparação entre o modelo e a edificação como construída. Já o segundo, foi utilizado para procedimentos que exigem ferramentas de GIS, como na extração das cotas altimétricas dos MDS para análise de suas rugosidades, na coleta de coordenadas XYZ para avaliação do PEC-PCD do ortomosaico e do MDS, na realização de medidas para avaliação da ortorretificação dos mosaicos, no teste de integração dos dados gerados por drone com os dados LiDAR, dentre outros.

3.5. Roteiro metodológico dos estudos de caso

Os materiais e métodos descritos até aqui são compartilhados por dois ou mais estudos de caso e, portanto, foram apresentados em conjunto. Nesta seção, são descritos os detalhes metodológicos para cada um dos estudos de caso e aparecem na mesma sequência em que são apresentação dos resultados.

3.5.1. Avaliação do nível de detalhe do modelo 3D da igreja São Francisco de Assis, Pampulha, BH

Para realização do Modelo 3D da igreja São Francisco de Assis foi utilizado o aplicativo Pix4D Capture e empregada a técnica de voo circular entorno à edificação com duas alturas

diversas. O primeiro a 30 m e o segundo a 45 m, o que resultou em imagens com o GSD de 1,10 cm/pixel e 1,43 cm/pixel, respectivamente. Foi adotada a sobreposição de 5° em cada uma das imagens visando garantir uma alta taxa de sobreposição.

O processamento dos dados foi realizado no software Agisoft PhotoScan e para a geração das nuvens de pontos esparsa e densa foi aplicado o parâmetro de alta densidade. Foi gerado ainda o modelo 3D texturizado para permitir uma visualização realística do edifício.

A partir da nuvem de pontos foram geradas linhas de perfil visando reconstruir o desenho do edifício conforme constava no arquivo *dwg* que apresentava suas medidas como construído que fora outrora medido *in loco*. Esse processo foi realizado no software AutoCAD e está ilustrado na Figura 3.05. O próximo passo foi unir ambos os arquivos e alinhá-los, o que permitiu realizar as medições de ambos os dados nas mesmas posições. Foram realizadas medições para as fachadas principal e posterior e em planta e os resultados são tratados individualmente, por elemento da edificação e de modo geral.

Foi usado o software Excel para registro das medidas e para os cálculos da diferença entre a edificação como construída e a modelagem gerada por drone. São analisadas, ainda, a média e o desvio padrão (DP), bem como do erro percentual relativo a cada uma das medições, que foi calculado por meio da equação 3.01

$$3.01) \quad \frac{[(Modelo\ 3D - Edificação\ como\ construída) \times 100]}{Edificação\ como\ construída}$$

Os resultados são avaliados com base nos níveis de detalhe (LOD) para modelos 3D estabelecido pela OGC (2012) e atualizado por Biljecki, Ledoux e Stoter (2016).

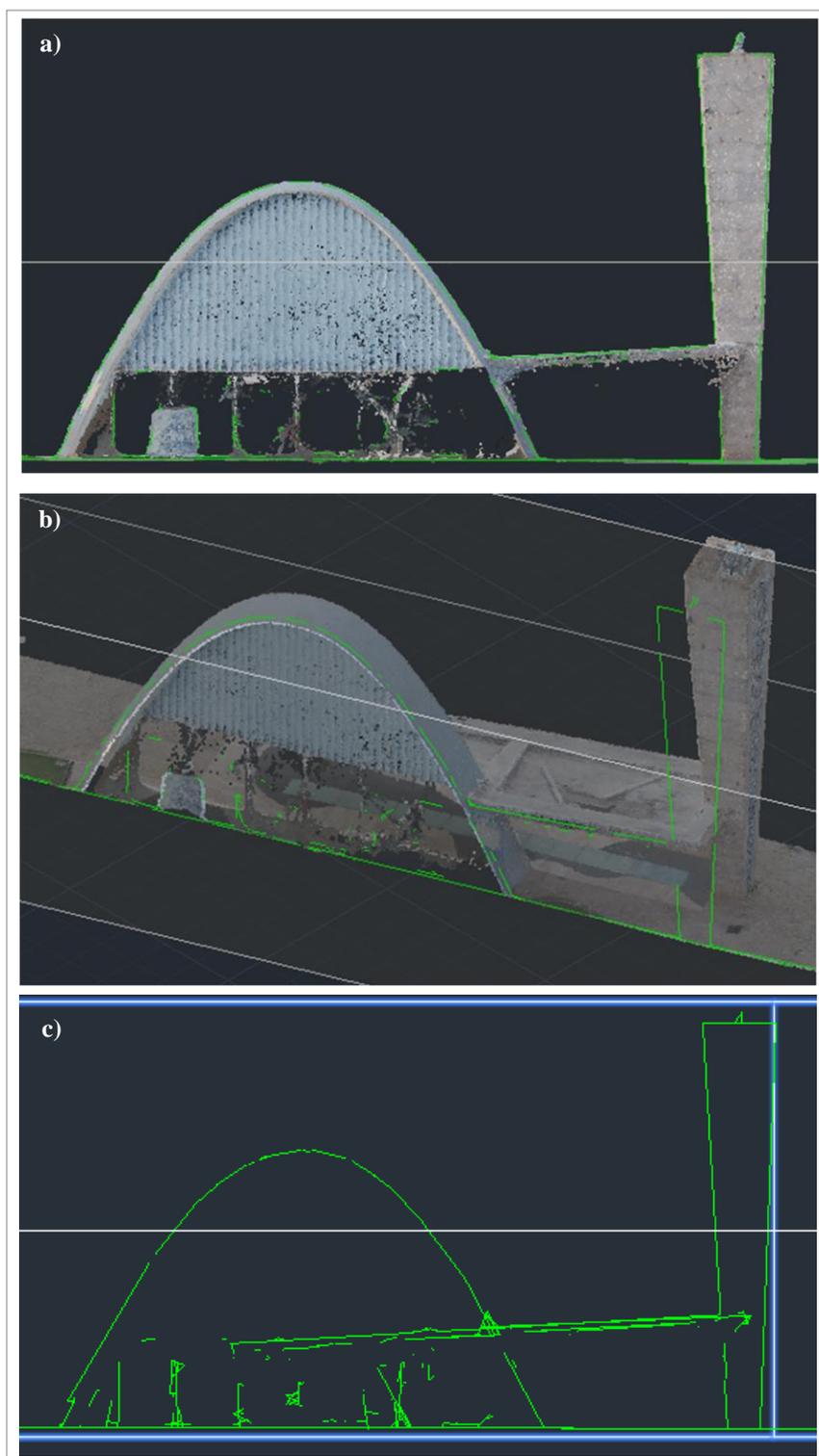


Figura 3.05 – Extração de linhas de perfil. a) Seção plana na fachada da Igreja; b) Visão oblíqua da seção plana na fachada da Igreja; c) Linhas criadas a partir da seção plana da fachada. Fonte: Elaborado pelo autor a partir do estudo de caso Igreja São Francisco de assis, Pampulha, BH (2017).

3.5.2. Avaliação da morfologia dos MDS gerados por drone: estudo de caso no bairro Conjunto Paulo VI

Com base nas observações feitas no estudo de caso anterior, foi realizada a avaliação do nível de rugosidade dos MDS gerados por drone a partir de dois diferentes métodos de voo para aerolevanteamento, o primeiro o mais comum, quando não há a correção da altimetria do drone durante o voo, nomeado aqui como voo Drone Altitude Fixa; e o segundo o método que utiliza a função *Terrain Aware* que mantém o drone em uma altura constante em relação ao solo, nomeado aqui como voo Drone Altura Relativa. O comparativo entre esses voos foi apresentado na Figura 3.03 (página 118). Foi usado, ainda, um MDS gerado a partir de LiDAR como parâmetro de comparação.

A área total de coleta de dados foi de 65,36 ha e os parâmetros dos voos estão descritos da Tabela 3.01. Os voos foram realizados em horários próximos ao meio-dia a fim de se reduzir o efeito de sombras presentes na imagem, o que poderia comprometer a extração das cotas altimétrica do terreno. Os dados LiDAR utilizados foram cedidos pela PRODABEL e fazem parte de um levantamento a *laser* contratado pela Prefeitura Municipal de Belo Horizonte (PMBH) e os parâmetros de coleta dos dados são apresentados na Tabela 3.02.

Tabela 3.01 – Parâmetros de voo com o drone

Tipo de voo	Altura relativa ao solo (com <i>Terrain Aware</i>)	Altitude Fixa (sem <i>Terrain Aware</i>)
Tempo	15min31seg	13min17seg
Horário de início voo	11:35	12:10
GSD das imagens	4,1cm/pixel	5,5cm/pixel
Altura	150m relativo ao solo	200m acima do ponto de decolagem
Imagens	261	127

Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela 3.02 – Parâmetros de aquisição dos dados LiDAR

Ângulo de abertura (FOV)	20°
Altitude do voo	2.388,1 m
Largura da faixa	1.688,1 m
Superposição lateral (entre faixas)	36,4 %
Número de faixas	76
Direção do voo	Variada
Densidade de pontos por m ² (média na área de estudo)	6,06

Fonte: PRODABEL

A análise foi realizada em três etapas, partindo da análise visual da forma dos MDS, seguida da realização de perfis topográficos e por fim uma análise da rugosidade dos modelos. Esta foi feita por meio do cálculo da diferença entre a área bidimensional e a área tridimensional a partir de 49 amostras distribuídas de modo disperso no MDS. A figura 3.06 ilustra o processo de vetorização dos polígonos amostrais feito no software ArcGIS.

Os valores encontrados para as áreas 2D e 3D foram analisados por meio da Equação 3.02 que foi elaborada visando identificar quão rugosa é uma amostra, ou seja, o quão distante da forma ideal (plana) é essa amostra.

$$3.02) \quad M = \frac{(A+\Delta A)}{A}$$

onde M é a morfologia da amostra analisada; A é a área 2D da amostra; ΔA é a diferença entre os valores da área 3D e da área 2D da amostra. Dessa maneira, uma amostra com morfologia ideal no MDS deveria apresentar valor de ΔA igual zero e, portanto, M igual a 1. Assim, quanto mais distante do valor 1 for o resultado, maior a rugosidade da amostra e, portanto, pior a morfologia do MDS. A Figura 3.07 ilustra o erro que se busca calcular.

Os resultados foram tratados por estatísticas descritivas para facilitar a compreensão, sendo avaliadas média, mediana, moda, desvio médio, desvio padrão, curtose e variância.

A figura 3.07 ilustra a comparação entre a forma rugosa visualizada no MDS e a forma ideal para o mesmo trecho. O modelo rugoso representado pelo degrade de cores do azul ao vermelho consiste em uma amostra do MDS realizada na laje de uma edificação, onde se esperava que o modelo representasse uma superfície plana. O polígono plano na cor cinza consiste na área 2D que seria a representação ideal para o trecho analisado. É possível perceber que a área para a superfície bidimensional, representada na cor cinza transparente, será menor do que a área tridimensional, representada no MDS. E que a variação entre os dois modelos é a representação do erro existente no MDS que se busca analisar.

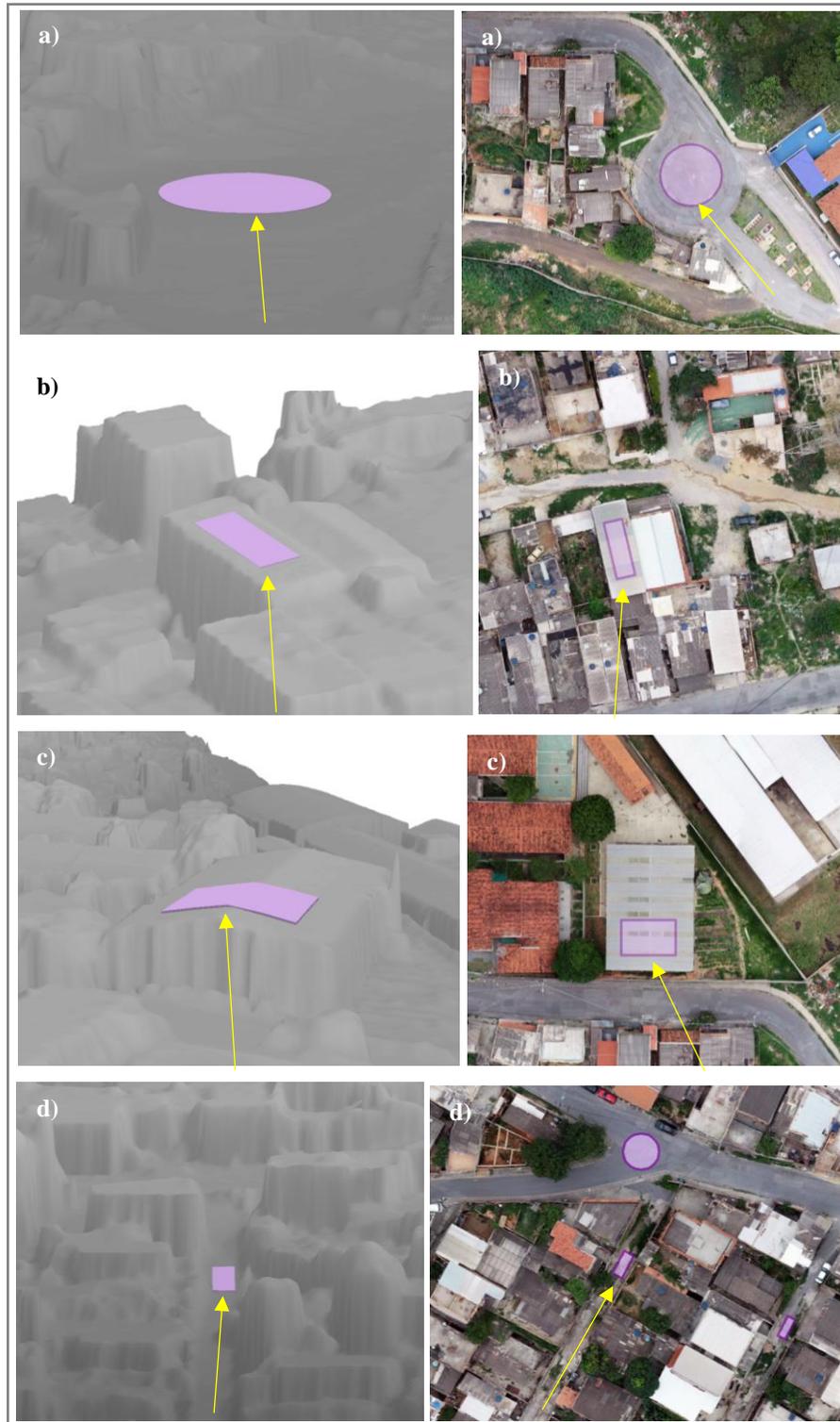


Figura 3.06 – Amostras coletadas para cálculo das áreas 2D e 3D. a) Amostra em rua plana; b) Amostra em telhado plano; c) Amostra em telhado irregular; d) Amostra em rua declivosa. Obs.1: As setas amarelas indicam a direção da visualização 3D em relação à imagem aérea 2D. Obs.2: Foi realizada uma pequena extrusão nos polígonos para melhorar a visualização na figura. Fonte: Elaborado pelo autor a partir do estudo de caso Conjunto Paulo VI, BH (2019).

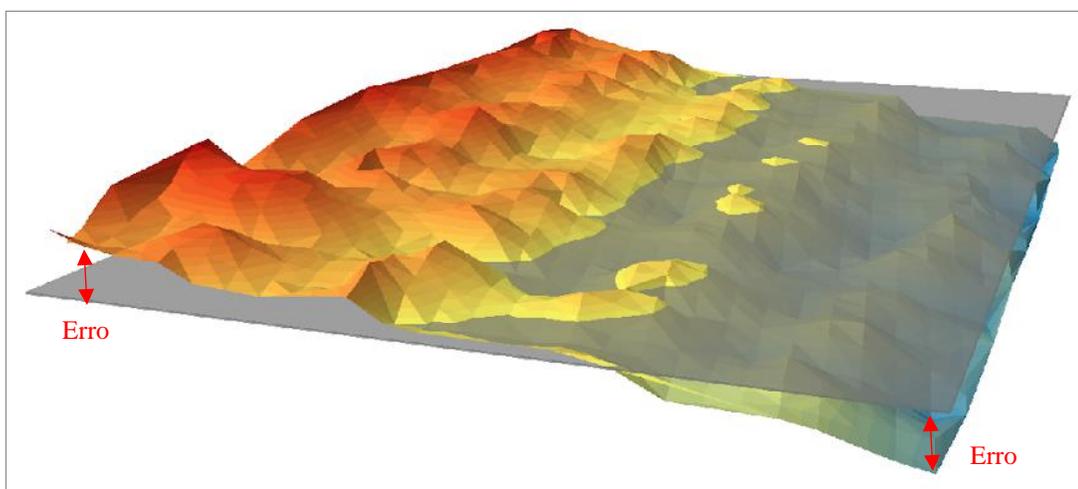


Figura 3.07 – Comparação entre área 2D e 3D. Obs.: foi realizado um exagero vertical de 2x para melhor visualização na figura. Fonte: Elaborado pelo autor a partir do estudo de caso Conjunto Paulo VI, BH (2019).

3.5.3. Avaliação da qualidade de mosaicos ortorretificados a partir de MDS e MDT: estudo de caso no UNIBH

Com base nas observações feitas no estudo de caso anterior, foi realizada uma comparação entre ortomosaicos ortorretificados com MDS e MDT a fim de compreender qual dos modelos promove a construção de uma imagem final com maior acurácia. Para isso, foi escolhida uma edificação de teto plano localizada no Centro Universitário de Belo Horizonte (UNIBH) em função da viabilidade e segurança para se realizar as medições no teto dessa edificação. Foram feitas medições planas *in loco* usando uma trena convencional e um receptor GNSS pelo método RTK. O uso de ambas as técnicas teve como objetivo assegurar a medida real da edificação, com base nos valores da trena, e verificar se os valores obtidos com os receptores GNSS são próximos às medidas reais, o que contribui para avaliação da qualidade do dado gerado com o receptor GNSS e pode orientar futuros estudos. Os resultados foram comparados com as medidas tomadas sobre os ortomosaicos e os resultados foram comparados por meio do cálculo da diferença simples entre os valores encontrados.

Para construção dos ortomosaicos, foram adotados os procedimentos de coleta de imagens e processamento dos dados já descritos anteriormente, sendo usada a técnica de voo com a altura relativa ao solo, realizada a coleta de PC em solo pelo método RTK incluindo o pós-processamento pelo PPP-IBGE e o processamento dos dados no software Agisoft PhotoScan adotando a qualidade

média para as nuvens de pontos esparsa e densa. Foi realizada, ainda, a classificação da nuvem de pontos, bem como aplicadas edições na malha *mesh* visando eliminar ruídos indesejados no MDT. Foram gerados, portanto, dois ortomosaicos sendo um ortorretificado com o MDS e o outro dom o MDT.

Uma vez que o teto da edificação é plano, foram realizadas 10 medições planas e em linha reta priorizando locais em locais de fácil reconhecimento nas imagens. Para auxiliar a análise dos resultados, são avaliados, ainda, a média e o desvio padrão dos resultados.

3.5.4. Avaliação do PEC-PCD para planimetria e altimetria dos produtos gerados por drone: estudo de caso no bairro Confisco

Buscando compreender o nível de acurácia dos dados gerados para drone, foi feita uma análise com base no PEC-PCD para planimetria e altimetria para os dados coletados na região do bairro Confisco. Para uma área de 340 ha foram coletados 18 PC e 27 Pontos de Teste (PT) para verificação da qualidade dos dados. A análise objetivava compreender a partir de quantos PC o dado atingiria sua acurácia máxima, para isso os dados foram processados com 03, 06, 09, 12, 15 e 18 PC, gerando, portanto, 06 ortomosaicos e 06 MDS que tiveram seus dados testados frente ao PEC-PCD conforme definida pela ET-ADGV (DSG, 2011).

Os pontos de controle foram coletados de maneira dispersa na área, selecionados com base na criação de uma malha de 300 m X 300 m feita por meio da ferramenta *Create Fishnet* disponível no software ArcGIS, conforme apresenta a Figura 3.08.

A coleta de imagens com o drone, os PC em solo e os parâmetros de processamento foram realizados conforme as experiências anteriores, ou seja, considerando a correção da altura de voo, a utilização do método RTK com os ajustes com base no PPP e no MapGeo (2015) do IBGE, o processamento no Agisoft PhotoScan adotando o nível de qualidade média para as nuvens de pontos e usando o MDS para a ortorretificação do mosaico final.

A verificação da Discrepância Posicional (DisPos) planimétrica e altimétrica se deu com auxílio do software ArcGIS, quando foram vetorizados sobre as imagens os pontos homólogos aos coletados em campo conforme ilustra Figura 3.09.

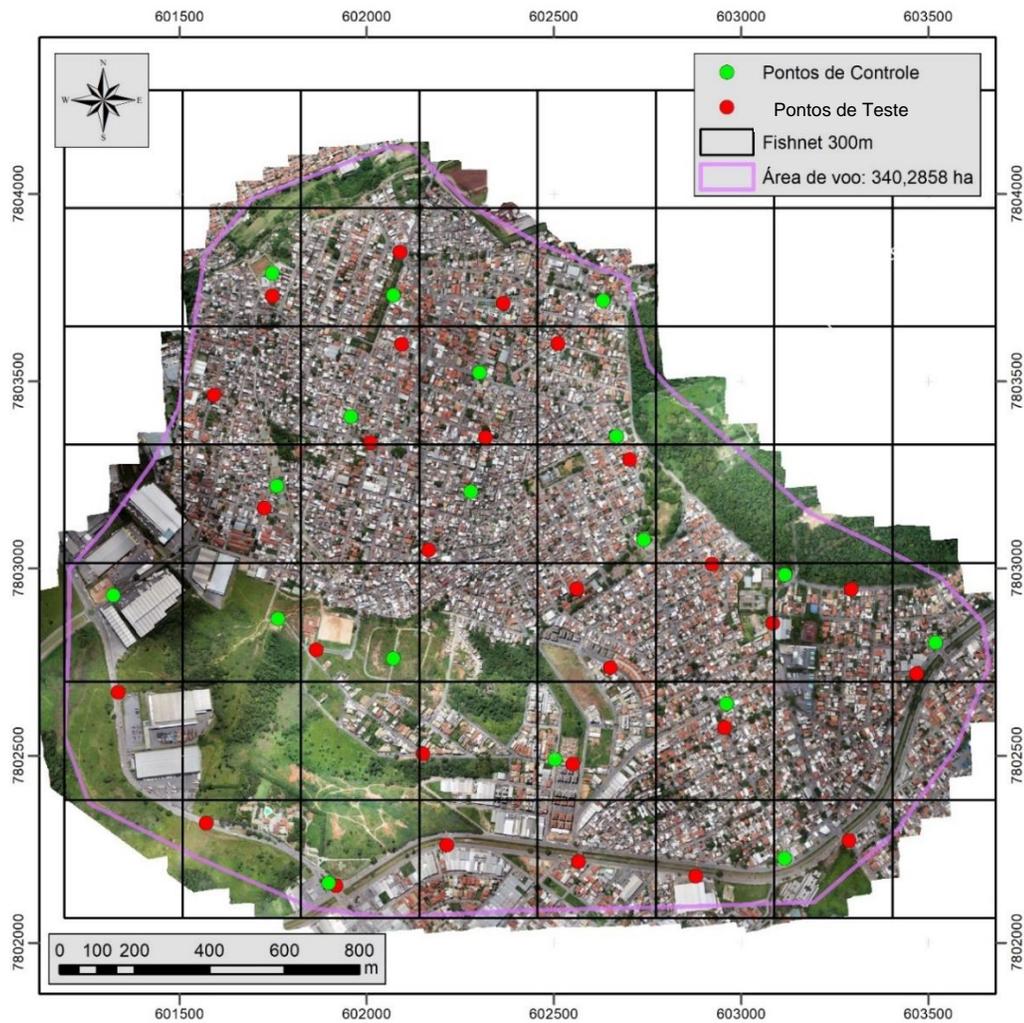


Figura 3.08 – Alocação dos PC e PT. Fonte: Elaborado pelo autor a partir do estudo de caso bairro Confisco, BH/Contagem (2019).



Figura 3.09 – Verificação da DisPos. a) Local de coleta em campo; b) local de correspondência no ortomosaico; c) discrepância posicional do ponto = 15cm. Fonte: Elaborado pelo autor a partir do estudo de caso bairro Confisco, BH/Contagem (2019).

O procedimento para verificação do PEC-PCD foi realizado no software GeoPEC desenvolvido por Santos (2010) e que tem sua metodologia detalhada em Santos et al. (2016). O procedimento de avaliação da acurácia dos dados consiste, basicamente, em:

1. Avaliação do padrão de distribuição das amostras (PT) para verificação se estão dispersas ou agrupadas, utilizando a função K de Ripley;
2. Detecção de *outliers* nos resultados com base em diagramas de *Boxplot*;
3. Teste de normalidade das amostras, pelo método de *Shapiro-Wilk*;
4. Análise de Tendência pelo método de *T-Student* se a amostra for normal. Caso contrário, utiliza-se métodos de estatísticas espaciais, como o cálculo da Média Direcional e a Variância Circular;
5. Análise de precisão a partir do cálculo da DisPos do Pontos de Teste coletados em campo e seu ponto homólogo na imagem, com base no Decreto nº 89.817 e na ET-ADGV;

São apresentadas, ainda, estatísticas descritivas, como média e desvio padrão, para auxiliar na compreensão dos resultados. Caso o produto atenda a todos os critérios, é considerado como acurado. Caso seja reprovado em alguma etapa, é considerado como não acurado, mas pode ser utilizado para outras aplicações, ou mesmo passar por ajustes para atender os critérios avaliados. O Anexo III apresenta o relatório de processamento gerado pelo software GeoPEC para um dos produtos analisados.

3.5.5. Avaliação da integração de dados drone e LiDAR: estudo de caso no bairro Conjunto Paulo VI

A partir da verificação da acurácia dos dados nos estudos de caso anteriores, é interesse, ainda, verificar a possibilidade de integração desses dados com a base de dados já utilizada pela PBH para planejamento e gestão territorial. Dessa maneira, é proposta a análise das transformações temporais a partir da combinação de dados LiDAR (2015) como dados coletados por drone e corrigidos por PC em solo (2019).

Parte-se da observação de que as imagens aéreas permitem identificar somente parte das transformações ocorridas no território, não sendo possível observar, por exemplo, o acréscimo volumétrico das edificações, informação considerada relevante para a gestão urbana. Além disso,

compreender a possibilidade de integração de dados drone com LiDAR pode ajudar na atualização da base de dados municipais, sobretudo em áreas de ocupações recentes (irregulares ou não), o que gera subsídios para acompanhamento das transformações territoriais e para uma gestão urbana mais eficiente.

A análise é realizada por meio de uma álgebra de mapas simples, aplicando uma subtração do MDS do drone (2019) com o do LiDAR (2015) por meio da ferramenta *Raster Calculator* disponível no ArcGIS. Os dados utilizados são os mesmos apresentados no segundo estudo de caso, sendo o MDS gerado pelo drone coletado por meio da técnica de voo com altura relativa ao solo, ajustado com base em PC em solo e processado no Agisoft PhotoScan adotando média qualidade para a nuvem de pontos densa. Já o MDS LiDAR foi criado com emprego da ferramenta *Topo to Raster* disponível no software ArcGIS. O resultado da subtração gerou um novo raster com valores variando de -30 a +20 metros, o que representam as mudanças volumétricas na área analisada. Esses valores foram classificados a partir de interpretações feitas com base nos MDS e nas ortomagens tomadas nas mesmas datas que os modelos de superfície.

3.5.6. Uso dos produtos gerados por drone como suporte à realização de oficinas de Geodesign: estudo de caso na comunidade Dandara

Para dar suporte à realização da oficina de Geodesign na comunidade Dandara, foram coletados dados espaciais com auxílio do drone. Foram empregadas as já mencionadas técnicas de voo com correção de altura da aeronave, de coleta de pontos de controle com receptores GNSS por meio do método estático e geração dos produtos por meio do processamento no software Agisoft PhotoScan. Como suporte à elaboração dos Modelos de Representação, Processo e Avaliação, foram utilizados o MDS e o ortomosaico. E como suporte à geovisualização na oficina de Geodesign, foi utilizado o Modelo 3D texturizado.

Visando compreender se os dados proporcionavam ganhos em geovisualização, foram observadas as reações dos atores envolvidos nas oficinas por meio da técnica de observação participante, usada para realização de pesquisas de cunho qualitativo. Essa técnica se mostrou adequada para a situação, uma vez que nossa participação nessa oficina se configurava somente um apoio ao diálogo entre a PBH e a população local, e a criação de questionários ou outros

mecanismos de avaliação, poderia gerar desgaste dos participantes, tirando o foco do motivo principal da participação deles que era a definição de um plano em comum acordo entre técnicos da gestão pública e moradores locais.

3.5.7. Uso do modelo 3D gerado por drone como suporte ao desenvolvimento do raciocínio espacial: estudo de caso no bairro Conjunto Paulo VI

Visando avaliar em que medida o modelo 3D gerado por drone pode promover ganhos em geovisualização e, conseqüentemente, um melhor raciocínio espacial aos usuários dos dados, foram aplicados testes de raciocínio espacial com crianças moradoras do bairro Conjunto Paulo VI.

Foram utilizados os dados já elaborados para o bairro Conjunto Paulo VI, principalmente o modelo 3D, e foram criados novos mapas com informações análogas ao modelo 3D, que são: a ortoimagem gerada pelo drone, que representa o uso e cobertura do solo; o modelo digital de terreno, que representa as variações topográficas; e o mapa de declividade, que representa o grau de inclinação das vertentes. Todas as crianças receberam um mapa em branco, apenas com a delimitação das quadras, que foi utilizado como folha de resposta para as questões formuladas. Os mapas utilizados, bem como a folha de respostas, estão disponíveis no Anexo IV e o modelo 3D do bairro pode ser acessado neste link: <https://bit.ly/2OPFmFB>.

Em função da faixa etária do grupo, todas as crianças que receberam os mapas impressos receberam informações individualizadas sobre o que significava cada um dos dados representados nos mapas e como elas deveriam interpretá-los. As crianças que trabalharam com o modelo 3D receberam informações adicionais de como utilizar o mouse para navegar no modelo. Nenhuma das crianças apresentou dificuldades iniciais tanto para compreensão das informações nos mapas quanto para a navegação virtual. Houve, ainda, o apoio de estudantes de mestrado e doutorado inscritos em uma disciplina da pós-graduação que realizava pesquisas no bairro, que contribuíram para registrar as reações e percepções das crianças, bem como auxiliá-los em casos de dúvidas. Os estudantes foram orientados para que, em hipótese alguma, ajudassem as crianças a responder às questões.

Estiveram presentes 21 crianças com faixa etária de 5 a 12 anos. Antes de iniciarmos as atividades específicas do Geodesign as crianças foram convidadas a interpretar os dados fornecidos

por meio de algumas questões básicas. O objetivo dessas questões era o de verificar a capacidade de compreensão das informações dispostas nos mapas e no modelo 3D a fim de comparar como se dá o processo de absorção dessas informações e em que medida esses recursos contribuem para a resolução das questões. Foram realizadas 3 questões que avaliavam a capacidade de raciocínio espacial partindo do nível de abstração mais básico, de simples reconhecimento da informação no mapa, até o nível mais avançado, que exigia a integração de diferentes dados oriundos de diferentes fontes e o seu processamento mental. As questões foram elaboradas com base nos conceitos apresentados por Ishikawa e Kastens (2005) e Merwe (2009).

As crianças foram separadas em 3 grupos distintos e a quantidade de crianças por grupo foi condicionada pela disposição das mesas e dos computadores do laboratório de informática da Escola Municipal Sobral Pinto (EMSP), conforme apresenta o Quadro 3.02.

Quadro 3.02 – Organização dos grupos

Grupo	Quantidade de crianças	Dados utilizados
A	5	Mapas impressos
B	10	3D + Mapas impressos
C	6	3D

Fonte: Elaborado pelo autor

Os resultados são analisados com base nas observações do comportamento das crianças durante a atividade, ou seja, na agilidade e facilidade para encontrar as respostas e na motivação, envolvimento e interesse durante a atividade. Mas, também, com base na assertividade das respostas em relação às questões postas.

3.5.8. Uso dos produtos gerados por drone como suporte à geovisualização em oficinas de Geodesign: estudo de caso no bairro Confisco

Visando testar os produtos gerados por drone para um público de especialistas, mas que ainda não conheciam a área de estudo, foi realizada a oficina de Geodesign no bairro Confisco como parte integrante de uma disciplina de pós-graduação da UFMG.

Foram utilizados os mesmos dados já descritos para o estudo de caso da avaliação da PEC-PCD, sendo o ortomosaico, o MDS e o modelo 3D texturizado. As pessoas convidadas a participar possuíam experiência em SIG, em cartografia, em design, dentre outras áreas, mas em geral não conheciam a área de estudo.

A percepção do uso dos produtos foi feita, novamente, por meio da observação participante, ou seja, coletando impressões dos usuários sem a estruturação de questões diretas.

3.5.9. Uso de imagens aéreas com perspectiva oblíqua como meio de representação de Unidades de Paisagem na *Emilia-Romagna*, Itália

Para representação das UP da região *Emilia-Romagna*, foram tomadas fotografias aéreas em perspectiva oblíqua, utilizando o drone DJI Spark. As imagens buscavam representar as invariantes estruturais das UP conforme descrito no PTPR (REGIONE EMILIA-ROMAGNA, 1993).

Para preparação do trabalho de campo e escolha de locais onde realizar a tomada de imagens aéreas, foi utilizado o programa Google Earth para orientação da escolha dos pontos de decolagem. Os locais escolhidos deveriam integrar todas as invariantes estruturais da UP sob análise, conforme descrito no PTPR, visando testar a capacidade de se sintetizar em poucas imagens as informações descritas em modo textual no documento. Isso é entendido como uma avaliação da possibilidade de ampliação do olhar acerca das características da paisagem, tornando a informação mais clara e usável para diferentes públicos.

Após a coleta de dados, as imagens foram selecionadas e tratadas no software Adobe Lightroom visando melhorar a qualidade da visualização. Os resultados são analisados com base nas características descritas no PTPR e com as observações feitas em campo.

3.6. Fluxograma

Visando apresentar de modo organizado a sequência de estudos de caso, destacando a relação entre eles, é elaborado o Quadro 3.03 e o Fluxograma de trabalho apresentado na Figura 3.10. O quadro consolida as informações tratadas neste capítulo, dando uma visão geral das etapas

práticas desta pesquisa. Já o fluxograma acrescenta as relações e conexões entre os estudos, mostrando como os resultados de alguns estudos influenciaram a realização de estudos subsequentes, bem como apresenta a ideia geral desta pesquisa de que os estudos ligados à técnica influenciaram fortemente os estudos ligados à geovisualização, no sentido de criar bases técnicas para a construção de dados que possibilitaram a avaliação de seus usos como recursos de geovisualização. Inversamente, entende-se que os estudos de geovisualização influenciam indiretamente os estudos ligados à técnica, sendo que algumas questões de pesquisa nascem da demanda de geovisualização e, assim, motivam à realização da análise técnica.

Quadro 3.03 – Relação de estudos de caso realizados na pesquisa

Av.	Estudo de caso	Conceito/Parâmetro de referência	App controlador de voo e técnica empregada	PC em solo	Softwares e técnicas empregadas	Dados analisados
Técnica	Análise LOD do modelo 3D da igreja São Francisco de Assis (Pampulha, BH)	OGC (2012); Biljecki, Ledoux e Stoter (2016); Edificação como construída	Pix4D Capture; Voos circulares a 30m e 45m com 5° de sobreposição	Não	Agisoft PhotoScan: nuvem de pontos esparsa, nuvem de pontos densa, modelo 3D texturizado; AutoCAD: extração de linhas de perfil a partir de nuvem de pontos, medição da edificação como construída e como modelada pelo drone	Modelo 3D texturizado; Edificação como construída
	Análise da rugosidade de MDS a partir de diferentes técnicas de voo	MDS LiDAR; Formulação proposta pelo autor	Map Pilot: voo com altura relativa ao solo e voo com altitude fixa	Sim. Estático	Agisoft PhotoScan: nuvem de pontos esparsa, georef. PC, nuvem de pontos densa, MDS; ArcGIS: criação MDS LiDAR; criação de linhas de perfil; coleta de amostras sobre os MDS	MDS drone altura relativa; MDS drone altitude fixa; MDS LiDAR
	Análise da qualidade da ortorretificação a partir de MDS e MDT	Edificação como construída	Map Pilot: voo com altura relativa ao solo	Sim. RTK	Agisoft PhotoScan: nuvem de p. esparsa, georef. PC, nuvem de p. densa, MDS, MDT, ortomosaicos; ArcGIS: medições dos ortomosaicos	Edificação como construída; Ortomosaico-MDS; Ortomosaico-MDT
	Análise do PEC-PCD no bairro Confisco	PEC-PCD (DSG, 2011); Coordenadas GNSS	Map Pilot: voo com altura relativa ao solo	Sim. RTK	Agisoft PhotoScan: nuvem de p. esparsa, georef. PC, nuvem de p. densa, MDS, ortomosaico (x6); ArcGIS: DisPos pontos GNSS e pontos observados nos ortomosaicos; GeoPEC: avaliação do PEC-PCD	MDS (x6) e Ortomosaico (x6)
	Avaliação da integração de dados LiDAR e drone	Proposto pelo autor	Map Pilot: voo com altura relativa ao solo	Sim. Estático	Agisoft PhotoScan: nuvem de pontos esparsa, georef. PC, nuvem de pontos densa, MDS, ortomosaico; ArcGIS: álgebra de mapas, classificação dos resultados, criação de linhas de perfil	MDS LiDAR; MDS drone; Imagem aérea PBH; Ortomosaico drone
Geovisualização	Avaliação dos ganhos de geovisualização na oficina de Geodesign na Dandara	Geovisualização; Observação participante	Map Pilot: voo com altura relativa ao solo	Sim. Estático	Agisoft PhotoScan: nuvem de pontos esparsa, georef. PC, nuvem de pontos densa, modelo 3D texturizado	Modelo 3D
	Avaliação de ganhos em raciocínio espacial das crianças do Conjunto Paulo VI	Geovisualização; Teste de raciocínio espacial proposto pelo autor	Map Pilot: voo com altura relativa ao solo	Sim. Estático	Agisoft PhotoScan: nuvem de pontos esparsa, georef. PC, nuvem de pontos densa, modelo 3D texturizado ArcGIS: mapas temáticos	MDT, Declividades, Ortomosaico e Modelo 3D
	Avaliação de ganhos em geovisualização na oficina de Geodesign com acadêmicos (bairro Confisco)	Geovisualização; Observação participante	Map Pilot: voo com altura relativa ao solo	Sim. RTK	Agisoft PhotoScan: nuvem de pontos esparsa, georef. PC, nuvem de pontos densa, MDS, ortomosaico, Modelo 3D texturizado; ArcGIS: Mapas temáticos	MDS, Ortomosaico, Modelo 3D e Fotos Aéreas
	Avaliação da representação de UP na <i>Emilia-Romagna</i>	Geovisualização; PTPR (1993)	DJI Go: fotografias aéreas com perspectiva oblíqua	Não	Adobe Lightroom: tratamento das fotos aéreas	Fotos aéreas

Fonte: Elaborado pelo autor

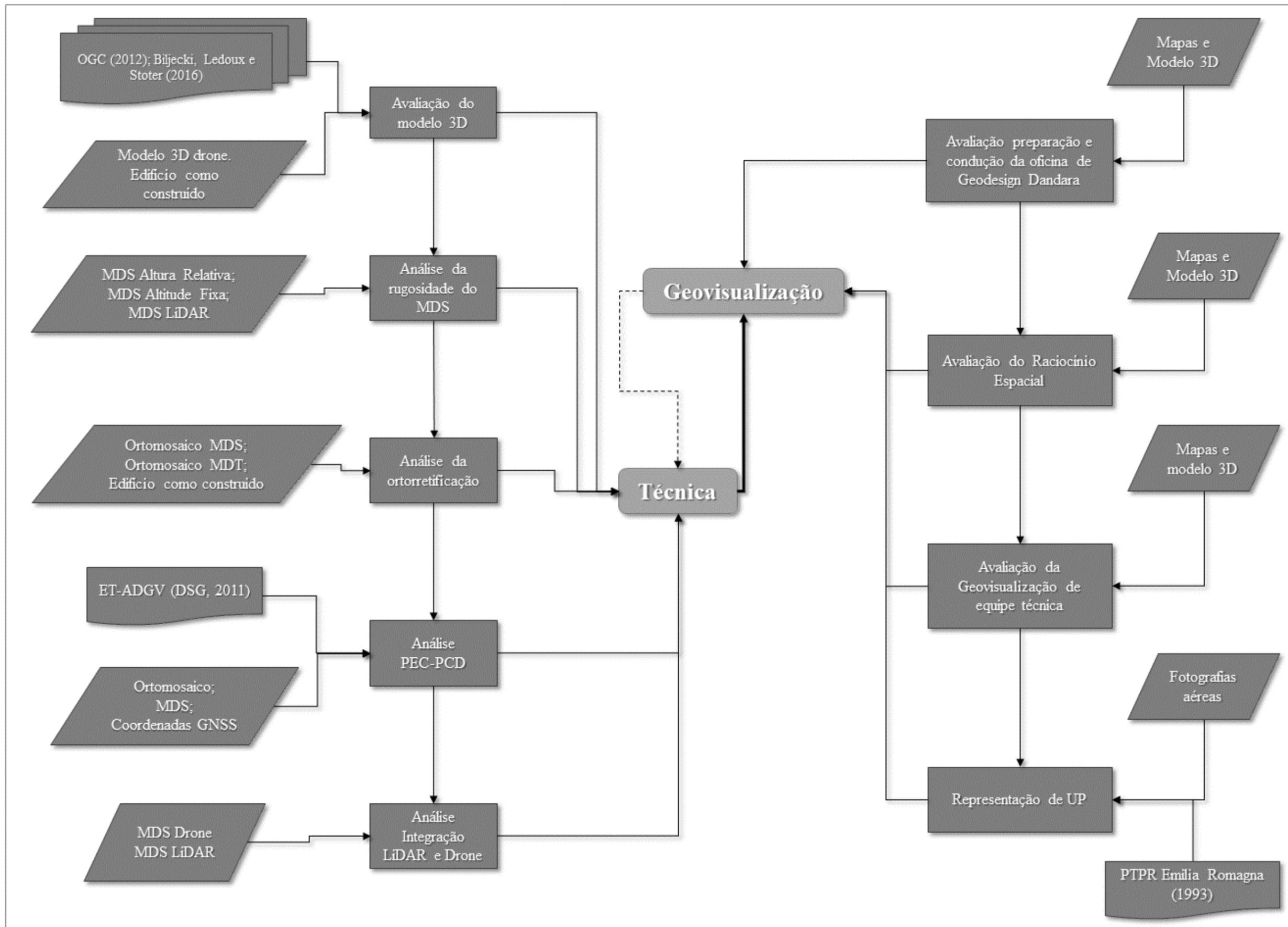


Figura 3.10 – Fluxograma de trabalho

4. ESTUDOS DE CASO DA TÉCNICA DE COLETA DE DADOS

Este capítulo apresenta os estudos de caso que se dedicaram a compreender os aspectos técnicos da produção de dados espaciais com drone, como na avaliação das técnicas de voo para coleta de imagens aéreas, na acurácia e qualidade dos produtos gerados e na integração dos dados com outras bases cartográficas. Foram realizados testes em diferentes escalas que vão do objeto territorial isolado, como na avaliação de um modelo tridimensional de um edifício, até a escala de bairros, como na avaliação do PEC-PCD de uma área de 340 ha. Os estudos contribuem para compreensão de quais técnicas podem ser empregadas para a coleta de dados e quais os resultados possíveis a partir delas. E os resultados destacam que esta ferramenta permite gerar dados espaciais com satisfatória qualidade gráfica e acurácia a um custo acessível e com alta agilidade, o que pode ser útil para planejamento e gestão territorial.

4.1. Avaliação do Nível de Detalhe de um modelo 3D gerado por drone: Estudo de caso da Igreja São Francisco de Assis, Pampulha, BH/MG

O primeiro estudo de caso visou analisar a qualidade dos modelos 3D gerados por drone e, para isso, foi escolhida a Igreja São Francisco de Assis, localizada nas margens da Lagoa da Pampulha, Belo Horizonte/MG. Essa igreja foi escolhida por sua relevância histórica e cultural para o país e para o mundo, pois integra o conjunto arquitetônico e paisagístico da lagoa da Pampulha elaborado pelo arquiteto Oscar Niemeyer e que recebeu o título de patrimônio cultural da humanidade concedido pela UNESCO (Figura 4.01). Além disso, considera-se que a análise do modelo tridimensional deste monumento seja relevante, pois ele é composto por formas arredondadas e irregulares que são complexas para a reconstrução tridimensional. A avaliação do nível de detalhe do modelo 3D gerado pelo drone é feita a partir da medição do modelo e de sua comparação as medições feitas na edificação como construída (*as built*).



Figura 4.01 – Vista para a Igreja São Francisco de Assis, Pampulha, Belo Horizonte. Foto do autor, mai/2017.

4.1.1. Parâmetros de coleta e de processamento de dados

A avaliação da insolação no local nos levou à decisão de realizar a coleta de dados às 6h:30min da manhã, horário em que o céu se encontrava iluminado, porém o sol ainda não despontava no horizonte. Esse tipo de iluminação difusa é favorável para o tipo de levantamento realizado, pois não há formação de sombras na edificação, o que favorece o processamento das imagens no software, reduzindo erros causados pela presença de sombras, além de garantir um modelo com coloração homogênea. Durante o voo foi necessário realizar correções de rota da aeronave para evitar sua colisão com árvores e postes de iluminação presentes no local (Figura 4.02). Esse movimento durante o voo provocou uma variação do GSD de cada foto o que provocou distorções no modelo final, como pode ser observado nas medições do modelo.

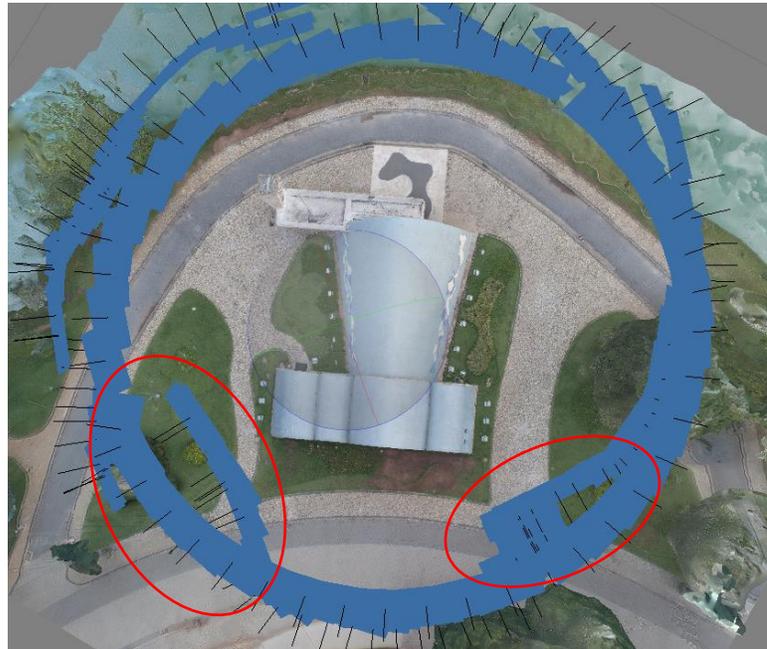


Figura 4.02 – Captura de imagens em campo. Destaque para alguns ajustes de rota. Fonte: Elaborado pelo autor.

Visando atingir um alto nível de detalhe, conforme tabela da OGC (2012), foram testados os parâmetros de processamento de modelos 3D do software Agisoft PhotoScan e os melhores resultados foram obtidos por meio da criação de das nuvens de pontos esparsa e densa com alta qualidade, pois promovem a geração de um maior adensamento dos pontos. Para a criação do arquivo *Mesh*, que corresponde ao modelo 3D, foram utilizados como parâmetros o *Tipo de Superfície* “arbitrária (3D)” que é recomendada para modelagem de objetos individuais em 3D, e para a *Quantidade de faces* a opção “alta”, que permite a geração de um modelo 3D com maior detalhamento dos elementos.

A textura gerada no modelo foi avaliada visualmente por meio do reconhecimento dos desenhos do painel de Cândido Portinari presente na parte posterior da edificação. Isso, pois a pintura do artista apresenta pequenos detalhes e sua representação fiel à realidade nos dá a noção do grau de detalhamento da textura aplicada. Além disso, em toda a fachada e também na torre da igreja existem pequenos ornamentos que podem ser reconhecidos no modelo 3D, o que reforça a compreensão do resultado da textura do modelo. Os melhores resultados foram obtidos com o valor de *Tamanho da Textura/quantidade* igual a “12288 x 1”. Esses resultados podem ser observados na Figura 4.03.



Figura 4.03 – Detalhes de forma e textura no modelo 3D da igreja. Fonte: Elaborado pelo autor.

O texto da OGC (2012) destaca que os modelos 3D, para atender ao LOD 3, devem proporcionar o reconhecimento dos objetos em suas formas reais, onde se possa perceber todas as características exteriores representativas, proporcionando compreender as formas reais do objeto, incluindo os detalhes salientes do telhado e da fachada da edificação. Percebe-se, portanto, que o resultado gerado é satisfatório perante essas premissas adotadas pela OGC (2012). Destaca-se, ainda, que os traços visíveis na pintura de Portinari (que dão formas às figuras representadas) possuem, aproximadamente, 3cm de espessura, valor muito inferior ao indicado por Biljecki, Ledoux e Stoter (2016) para atendimento ao LoD 3.3 quando deve ser possível reconhecer

elementos a partir de 20cm. Para uma melhor visualização dos dados aqui apresentados, pode-se acessar o modelo 3D da igreja neste link: <https://bit.ly/2XWQgxa>.

4.1.2. Medições e avaliação do nível de detalhe do modelo 3D

Para avaliação do nível de detalhe da edificação, foram realizadas medições em planta e transversais de modo a cumprir com todas as formas do edifício. Os resultados foram analisados e interpretados das seguintes maneiras: para cada medida individualmente, o que nos permite detectar locais onde ocorreram maiores discrepâncias e inferir sobre suas possíveis causas; para cada elemento da edificação (fachada frontal, fachada posterior e planta baixa), o que nos permite inferir sobre a qualidade do resultado com base na complexidade da forma e da sua posição em relação ao ângulo de captura das imagens; e de modo geral para toda a edificação, o que nos permite avaliar qual o nível de detalhe do modelo com base nos parâmetros definidos pela OGC (2012). A seguir, os resultados são apresentados agrupados por cada trecho analisado da edificação.

4.1.2.1. Fachada Principal

A partir da seção criada para geração das linhas de contorno da Fachada Principal, foram geradas 20 medições, sendo 5 para a altura da fachada, 5 para a largura da fachada, 5 para a altura da torre e 5 para a largura da torre, conforme exemplifica a Figura 4.05. Os resultados estão dispostos na Tabela 4.01 e mostram que na fachada principal o nível de discrepância foi baixo, mantendo uma média de 13cm de deslocamento para as alturas e 14cm para as larguras.

Percebe-se que os pontos com maior percentual de erro, ou seja, maior discrepância proporcional ao tamanho da estrutura medida, foram os locais onde houve o deslocamento da rota da aeronave durante o voo, sendo próximo ao ponto 1 da medição da altura. Percebe-se que, além da mudança de GSD das fotos, por meio da alteração da distância entre drone e objeto, há também uma mudança de direção da foto, o que causa uma mudança no percentual de sobreposição de cada foto bem como uma mudança de perspectiva do objeto, como destacado pelas setas vermelhas na Figura 4.06. Esses fatores associados estão sendo entendidos como a causa das distorções observadas.

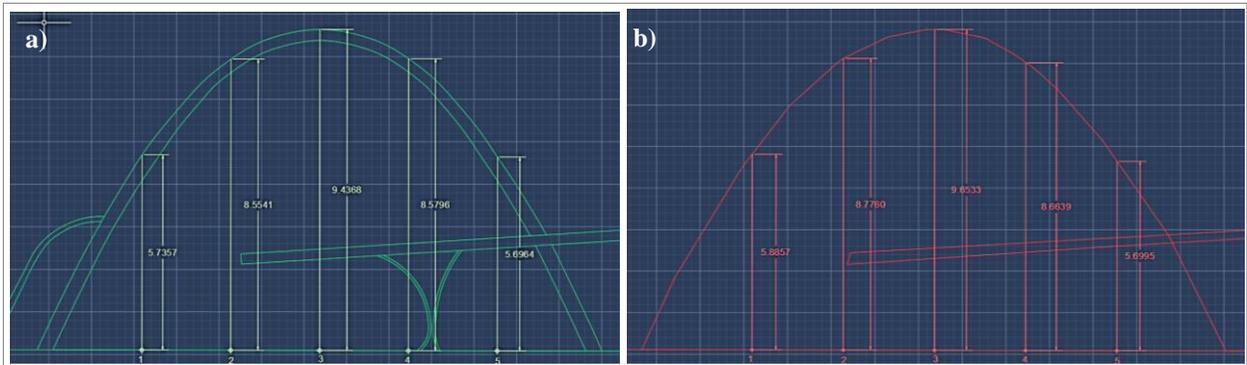


Figura 4.05 – Medições na Fachada Principal (em metros). a) Medição das alturas da Edificação como construída; b) Medição das alturas no Modelo 3D. Fonte: Elaborado pelo autor.

Avaliando os resultados obtidos na medição da torre, observa-se, também, uma baixa discrepância, porém sendo mais significativo nas medições da sua largura. Esse erro ocorreu em função da forma da torre, que possui 14m de altura e apenas 1,7m de largura (em média), ou seja, uma forma fina e bastante vertical, o que dificulta sua medição precisa. Além disso, há de se considerar que as fotos foram tomadas apenas no entorno na igreja de modo geral, ou seja, apenas a parte externa da torre foi fotografada de perto. Durante as medições, observou-se que a maior parte da distorção na forma da torre estava na sua porção interior (Figura 4.06).

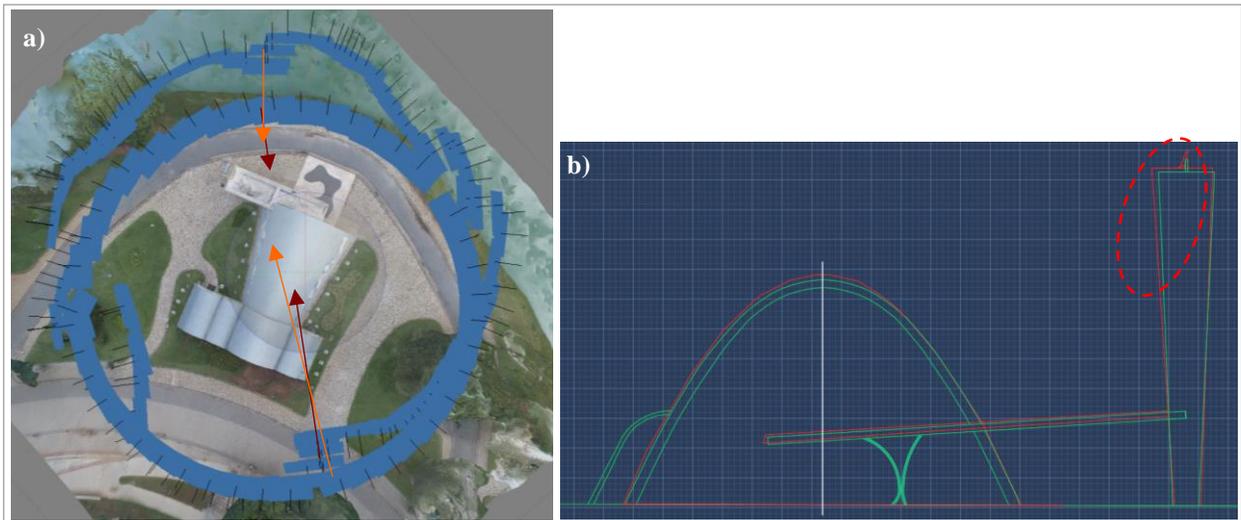


Figura 4.06 – Erros observados na coleta de dados. a) direção e distância das fotografias; b) região de maior distorção na forma da torre. Elaborado pelo autor

Tabela 4.01 – Medições na Fachada Principal e na Torre (em metros)

Fachada Principal						
Altura						
Ponto	Edificação	Modelo 3D	Diferença	Média	Desv.P	% Erro
1	5,7357	5,8857	0,15	0,1352	0,0927	2,62
2	8,5541	8,776	0,2219			2,59
3	9,4368	9,6533	0,2165			2,29
4	8,5796	8,6639	0,0843			0,98
5	5,6964	5,6995	0,0031			0,05
Fachada Principal						
Largura						
Ponto	Edificação	Modelo 3D	Diferença	Média	Desv.P	% Erro
1	15,1422	15,3003	0,1581	0,1419	0,0327	1,04
2	13,569	13,7261	0,1571			1,16
3	11,736	11,8342	0,0982			0,84
4	9,6528	9,7708	0,118			1,22
5	6,9519	7,1298	0,1779			2,56
Torre						
Altura						
Ponto	Edificação	Modelo 3D	Diferença	Média	Desv.P	% Erro
1	14,0000	14,1607	0,1607	0,1637	0,0024	1,15
2	14,0000	14,1622	0,1622			1,16
3	14,0000	14,1637	0,1637			1,17
4	14,0000	14,1652	0,1652			1,18
5	14,0000	14,1667	0,1667			1,19
Torre						
Largura						
Ponto	Edificação	Modelo 3D	Diferença	Média	Desv.P	% Erro
1	1,3083	1,3554	0,0471	0,1032	0,0443	3,6
2	1,5181	1,5933	0,0752			4,95
3	1,7264	1,8296	0,1032			5,98
4	1,9348	2,066	0,1312			6,78
5	2,1431	2,3023	0,1592			7,43
Média Geral		0,1360		Desvio Geral		0,0543

Fonte: Elaborado pelo autor

4.1.2.2. Fachada Posterior

A partir da seção criada para geração das linhas de contorno da Fachada Posterior, foram geradas 28 medições, sendo 23 para as alturas e 5 para as larguras (Tabela 4.02). Como há uma variação da forma na parte posterior da edificação, foi realizada uma subdivisão em 4 partes, que foram nomeadas como “A”, “B”, “C” e “D” para a medição das alturas. Além disso, os pontos de encontro de cada uma das partes mencionadas foram medidos separadamente, e foram nomeados de “V” em função de sua forma semelhante a um vale (Figura 4.07).

Tabela 4.02 – Medições na fachada posterior (em metros)

Fachada Posterior							
Altura							
A	Ponto	Edificação	Modelo 3D	Diferença	Média	Desv.P	% Erro
	1	1,9125	2,4094	0,4969	0,1503	0,2286	25,98
	2	3,3373	3,5539	0,2166			6,49
	3	3,8345	3,9734	0,1389			3,62
	4	3,9151	3,9080	-0,0071			-0,18
	5	3,6485	3,5545	-0,0940			-2,58
B	Ponto	Edificação	Modelo 3D	Diferença	Média	Desv.P	% Erro
	1	3,5056	3,5635	0,0579	0,0991	0,0409	1,65
	2	3,8328	3,9060	0,0732			1,91
	3	3,9313	4,0097	0,0784			1,99
	4	3,8398	3,9776	0,1378			3,59
	5	3,5274	3,6756	0,1482			4,20
C	Ponto	Edificação	Modelo 3D	Diferença	Média	Desv.P	% Erro
	1	5,2461	5,3955	0,1494	0,1382	0,0556	2,85
	2	6,7648	6,8691	0,1043			1,54
	3	7,2501	7,3253	0,0752			1,04
	4	6,7677	6,9075	0,1398			2,07
	5	5,2233	5,4458	0,2225			4,26
D	Ponto	Edificação	Modelo 3D	Diferença	Média	Desv.P	% Erro
	1	3,6539	3,8733	0,2194	0,2774	0,0949	6,00
	2	3,9257	4,1347	0,2090			5,32
	3	3,8293	4,0629	0,2336			6,10
	4	3,2984	3,5847	0,2863			8,68
	5	1,8550	2,2936	0,4386			23,64
V	Ponto	Edificação	Modelo 3D	Diferença	Média	Desv.P	% Erro
	1	2,6981	3,1445	0,4464	0,4285	0,0184	16,54
	2	2,7743	3,2039	0,4296			15,48
	3	2,7390	3,1486	0,4096			14,95

Fachada Posterior - 5 Medidas						
Largura						
Ponto	Edificação	Modelo 3D	Diferença	Média	Desv.P	% Erro
1	22,6830	23,1078	0,4248	0,5250	0,3761	1,87
2	21,4610	21,9504	0,4894			2,28
3	15,0667	16,2366	1,1699			7,76
4	6,6865	6,8898	0,2033			3,04
5	4,7558	5,0933	0,3375			7,10
Média Geral		0,2656		Desvio Geral		0,2298

Fonte: Elaborado pelo autor

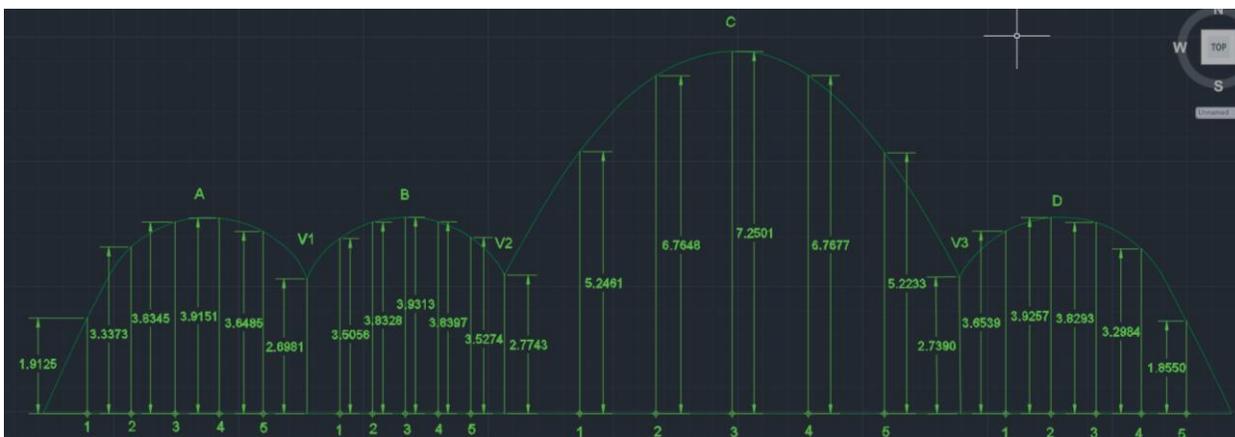


Figura 4.07 – Pontos de medição do edifício nas partes “A”, “B”, “C”, “D” e “V”. Fonte: Elaborado pelo autor.

Essas formas em “V” são bastante específicas e estreitas e, por isso, foram os locais com piores resultados nas medições, tendo a discrepância média de 42cm, o que representa em torno de 15% das alturas dos pontos em “V” até o solo. Além desses pontos, destaca-se que a medição da altura do ponto 1 da parte “A” e do ponto 5 da parte “D” apresentaram grandes distorções. Esses pontos estão na região onde houve um significativo desvio da rota da aeronave durante o voo, conforme foi demonstrado na Figura 4.06. Foram identificadas discrepâncias de 49cm e 43cm, respectivamente, o que representa aproximadamente 26% e 23% das alturas, respectivamente. Nos demais pontos as discrepâncias variaram em média de 6cm a 20cm, atingindo no máximo 8% da dimensão total do elemento.

Considerando a largura da fachada posterior, houve, também, uma grande distorção em relação às outras medições, tendo como média geral para as larguras o valor de 52,5cm com desvio padrão de 0,3761. Isso se deu em função da largura total da edificação ter maior medida do que a altura, pois quando se analisa o erro percentual, percebe-se que as larguras tiveram um desempenho semelhante às alturas. Na análise geral, o resultado é considerado satisfatório, sendo a média de 25,84cm com desvio padrão de 0,2382.

4.1.2.3. Planta Baixa

A partir da seção criada para geração das linhas de contorno da Planta Baixa, foram geradas 25 medições, sendo 15 em comprimento e 10 na largura da edificação (Tabela 4.03). Como há variação da forma da planta da edificação, foi realizado, também, uma subdivisão das áreas para

uma melhor medição, sendo elas nomeadas de “A”, “B” e “C” para comprimento e “A” e “B” para a largura (Figura 4.08).

Tabela 4.03 – Medições em planta (em metros)¹⁶

Planta Baixa							
Comprimento							
	Ponto	Edificação	Modelo 3D	Diferença	Média	Desv.P	% Erro
A	1	8,02	7,5691	-0,4509	-0,4873	0,0288	-5,62
	2	8,02	7,5509	-0,4691			-5,85
	3	8,02	7,5327	-0,4873			-6,08
	4	8,02	7,5145	-0,5055			-6,30
	5	8,02	7,4963	-0,5237			-6,53
B	1	26,42	25,8136	-0,6064	-0,5986	0,0062	-2,30
	2	26,42	25,8175	-0,6025			-2,28
	3	26,42	25,8214	-0,5986			-2,27
	4	26,42	25,8253	-0,5947			-2,25
	5	26,42	25,8293	-0,5907			-2,24
C	1	8,02	7,5181	-0,5019	-0,4764	0,0201	-6,26
	2	8,02	7,5308	-0,4892			-6,10
	3	8,02	7,5436	-0,4764			-5,94
	4	8,02	7,5563	-0,4637			-5,78
	5	8,02	7,569	-0,451			-5,62
Largura							
	Ponto	Edificação	Modelo 3D	Diferença	Média	Desv.P	% Erro
A	1	23,8	23,8109	0,0109	0,0689	0,0458	0,05
	2	23,8	23,8399	0,0399			0,17
	3	23,8	23,8689	0,0689			0,29
	4	23,8	23,8978	0,0978			0,41
	5	23,8	23,9268	0,1268			0,53
B	1	11,0809	11,0832	0,0023	-0,1035	0,0836	0,02
	2	12,1849	12,1343	-0,0506			-0,42
	3	13,2889	13,1854	-0,1035			-0,78
	4	14,3929	14,2365	-0,1564			-1,09
	5	15,4969	15,2877	-0,2092			-1,35
Média Geral			0,3471	Desvio Geral		0,2255	

Fonte: Elaborado pelo autor

¹⁶ Os valores negativos foram multiplicados por (-1) para geração da média e desvio padrão geral

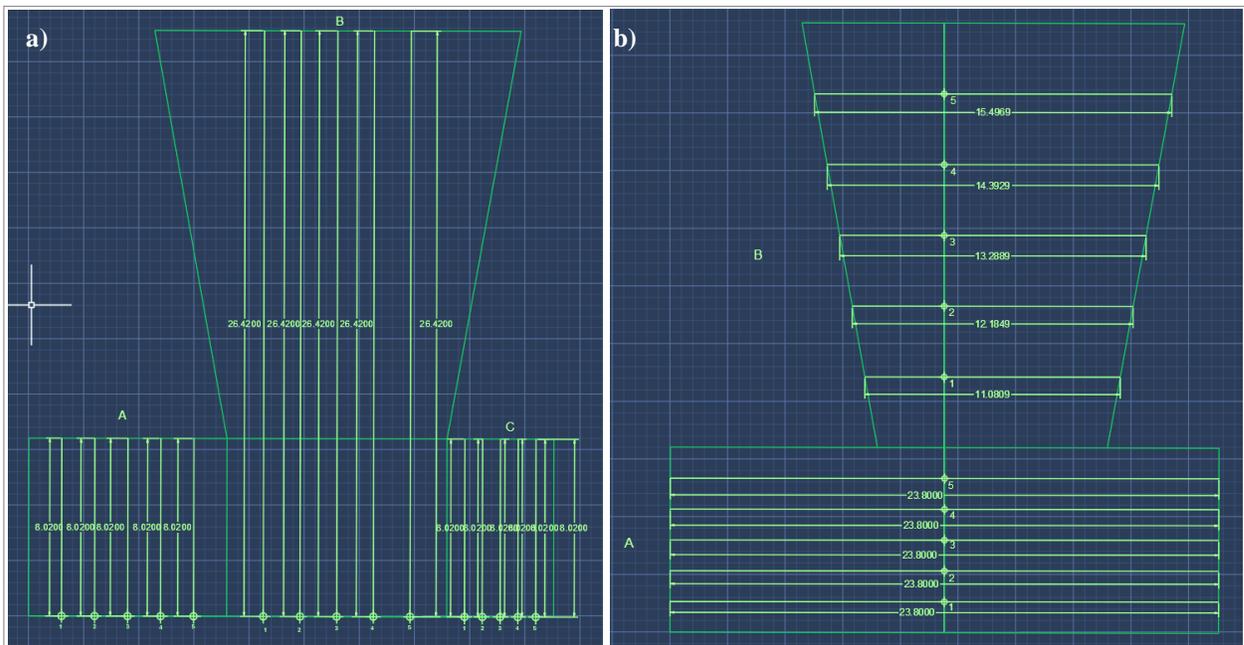


Figura 4.08 – Medições em planta da edificação: a) Comprimento e destaque para as partes “A”, “B” e “C”; b) Largura e destaque para as partes “A” e “B”. Fonte: Elaborado pelo autor

De modo geral o resultado é considerado como satisfatório, entretanto observa-se que os resultados das medições da largura obtiveram resultados melhores do que os de comprimento. Neste, a média da discrepância variou entre 47cm a 59cm, sendo a parte “B”, que possui maior comprimento, a com pior performance. Esse resultado está relacionado com o tamanho da forma, pois foi o maior elemento medido da igreja e, conseqüentemente, as discrepâncias obtiveram maiores valores. Entretanto, proporcionalmente a discrepância foi baixa, girando em torno de 2,3% e com um desvio padrão de 0,0062.

Já para as larguras o resultado foi considerado excelente, pois a discrepância média não ultrapassou os 10cm, tendo um percentual de erro limitado a 1% e com um desvio padrão de 0,0647.

Avaliando a média e o desvio padrão de todas as medições, os resultados encontrados foram bastante satisfatórios. A tabela 4.04 mostra que os valores não ultrapassaram 34cm, sendo aceitável até para o LOD3 que requisita discrepância máxima de 50cm para o desvio das coordenadas XYZ.

Tabela 4.04 – Síntese das medições na Igreja São Francisco de Assis (em metros)

Média Geral das Fachadas	0,212
Desv.P Geral das Fachadas	0,189
Média Geral da Planta	0,347
Desv.P Geral da Planta	0,225
Média Geral da Edificação	0,258
Desv.P Geral da Edificação	0,211

Fonte: Elaborado pelo autor

Nota-se que o pior desempenho se relaciona às medições em planta. Além dos aspectos já mencionados, vale destacar que as imagens foram obtidas com a câmera na posição oblíqua (Figura 4.09), o que favorece a coleta de dados da fachada da edificação, porém gera distorções para o mapeamento planimétrico conforme explicam Wolf e Dewitt (2000) (Figura 4.10).



Figura 4.09 – Fotografia coletada para a modelagem tridimensional. Foto do autor (2017).

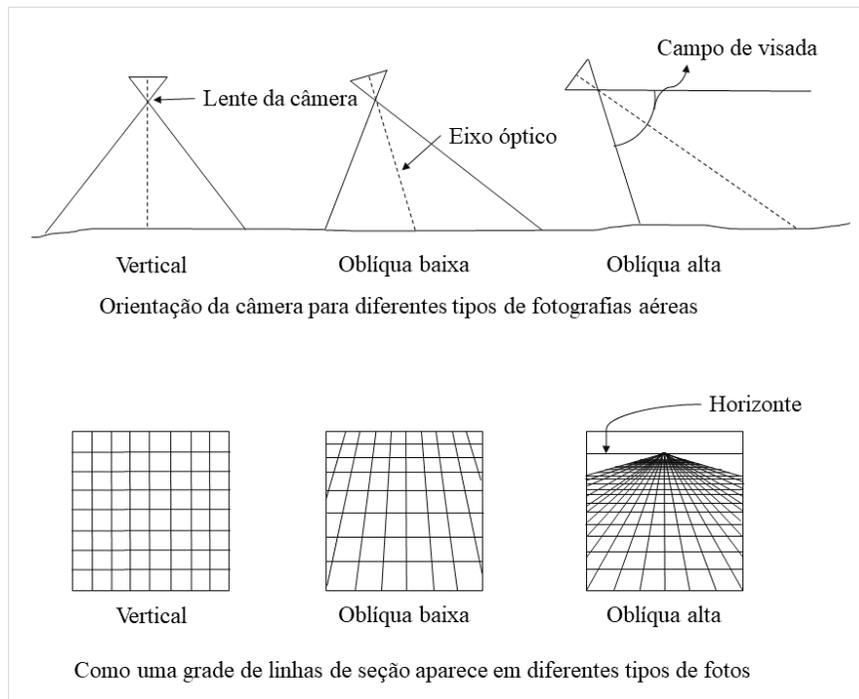


Figura 4.10 – Distorções causadas em fotografias oblíquas. Fonte: Traduzido de Wolf e Dewitt (2000)

Vale destacar que neste estudo a edificação como construída foi adotada como referência e, portanto, não foram analisadas as coordenadas XYZ, mas sim as dimensões do objeto. E, como era objetivo compreender a qualidade do modelo 3D gerado pelo drone, não foram utilizados pontos de controle para georreferenciamento das imagens. Nesse sentido, acredita-se que a utilização de PC pode contribuir para resultados ainda mais satisfatórios e que outros estudos podem ser feitos visando compreender a acurácia absoluta XYZ dentro de um sistema de projeção e coordenadas.

Por fim, este estudo de caso nos permitiu compreender que os modelos 3D gerados por drone, além de possuírem alta resolução gráfica (1 cm para o modelo gerado), conseguem reproduzir com boa fidelidade morfológica os objetos modelados. Os erros encontrados nos chamam a atenção para a necessidade de se manter uma distância regular entre o sensor e o objeto imageado, a fim de garantir homogeneidade nas imagens, seja no percentual de sobreposição entre elas, quanto no GSD de cada uma, o que se mostra como requisito para a reconstrução tridimensional com qualidade. Estes resultados nos chamam a atenção para a qualidade dos dados gerados por drone em levantamentos aerofotogramétricos, uma vez que se observa que em grande parte dos estudos publicados não há considerações acerca da correção da altitude de voo frente às

variações topográficas e que possivelmente existem erros que estão sendo desconsiderados. Diante dessa questão, é proposto o estudo de caso a seguir, que buscou comparar diferentes métodos de coleta de dados com drone por meio da avaliação da qualidade dos modelos de superfície gerados.

4.2. Análise da morfologia de MDS gerados por drone: estudo de caso no bairro Conjunto Paulo VI, BH/MG.

A partir das observações feitas para o modelo 3D da igreja São Francisco de Assis, é elaborada a hipótese de que para garantir um MDS com fidelidade morfológica é necessário garantir uma distância homogênea entre a aeronave e o(s) alvo(s) imageado(s) durante a coleta de imagens, ou seja, realizar a correção da altitude de voo do drone de modo a manter a aeronave em distância sempre constante em relação ao solo, acompanhando as variações da topografia.

Diante disso, foi realizado um estudo de caso no bairro Conjunto Paulo VI, BH/MG, no intuito de analisar a qualidade morfológica dos MDS gerados por drones, discutindo suas implicações na geração de produtos derivados, como os MDT e ortomosaicos. Foi adotado como referência um MDS gerado a partir de nuvem de pontos LiDAR coletado com uma densidade de 6,06 pontos/m² (Tabela 3.02, página 124) e comparados dois dados gerados por drone, que são o MDS do voo realizado com Altura Relativa ao solo e o MDS do voo realizado com Altitude Fixa.

A avaliação dos MDS se deu, inicialmente, por meio da análise visual da morfologia das edificações presentes nos modelos, na sequência foram gerados e comparados perfis topográficos nos MDS (considerando terreno e edificações) e, por fim, foi realizada uma avaliação da rugosidade dos modelos, considerando a discrepâncias entre as áreas bidimensionais e tridimensionais em amostras selecionadas.

Visualmente o MDS gerado pelo drone com Altura Relativa já apresentou melhor morfologia dos alvos imageados. É possível perceber mais nitidamente a delimitação dos telhados das edificações, maior homogeneidade nas cotas altimétricas das pistas de rolamento e, de modo geral, formas com os ângulos mais bem definidos para todos os objetos em solo, conforme evidencia o comparativo apresentado na Figura 4.11.

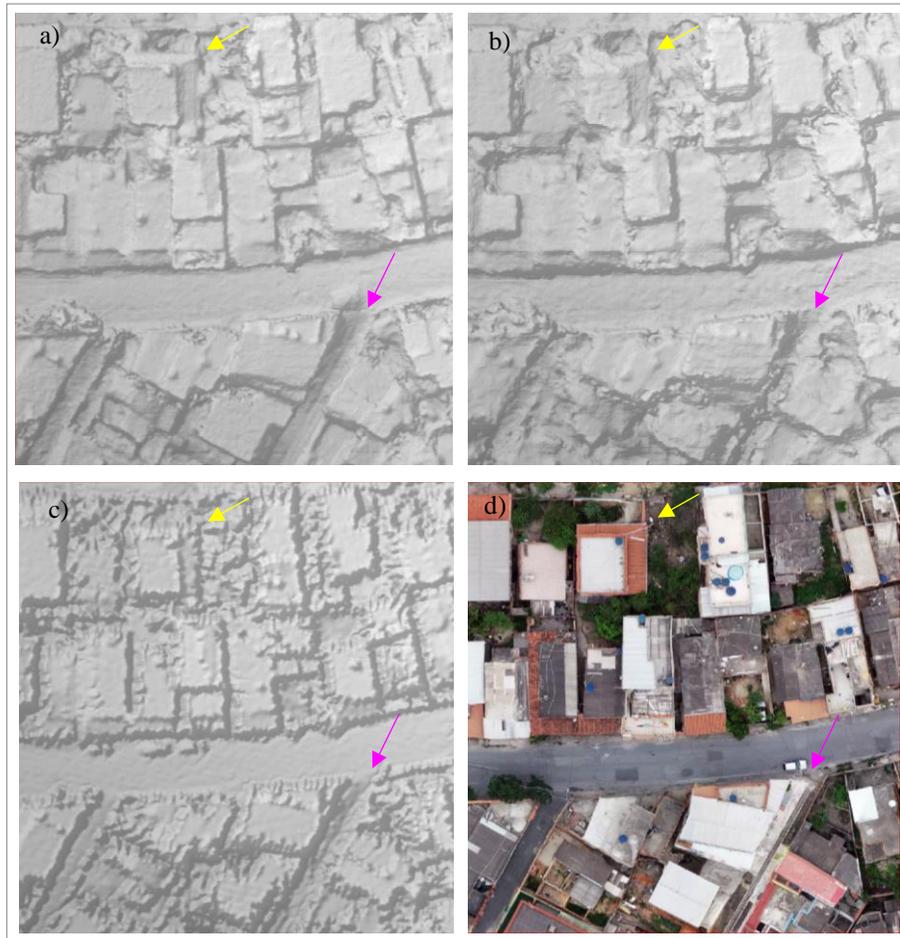


Figura 4.11 – Comparação entre os MDS. a) MDS Drone Altura Relativa; b) MDS Drone Altitude Fixa; c) MDS LiDAR; d) Ortomosaico Drone Altura Relativa. As setas amarelas comparam distorções em telhado irregular de uma edificação e as setas rosas comparam distorções no terreno em um beco estreito. Fonte: Elaborado pelo autor no Conjunto Paulo VI.

Ao avaliar os perfis das edificações, nota-se que as cotas altimétricas são muito semelhantes para os três dados, o que reforça a noção de que os produtos gerados por drone com auxílio de PC são compatíveis com dados LiDAR. Nos perfis, é possível observar uma melhor representação das edificações no MDS Altura Relativa. As Figuras 4.12, 4.13, 4.14 e 4.15 apresentam dois comparativos entre perfis topográficos gerados em situações distintas, sendo a primeira uma edificação isolada, distantes de outras edificações e de vegetação densa, em terreno plano, onde espera-se maior qualidade morfológica no MDS. O segundo perfil abarca duas edificações em terreno declivoso, em área com alta concentração de edificações, onde entende-se que há maior complexidade para geração dos MDS com boa fidelidade morfológica. Em ambos os casos houve uma melhor representação da forma das edificações no MDS Altura Relativa se comparado ao MDS gerado pelo Drone Altitude Fixa. Os dados LiDAR apresentaram melhor capacidade de

registrar as cotas altimétricas reais em trechos estreitos do terreno entre as edificações, porém este dado por haver uma menor densidade de nuvem de pontos (se comparado aos dados coletados por drone neste estudo) representa as edificações com formas bastante irregulares.

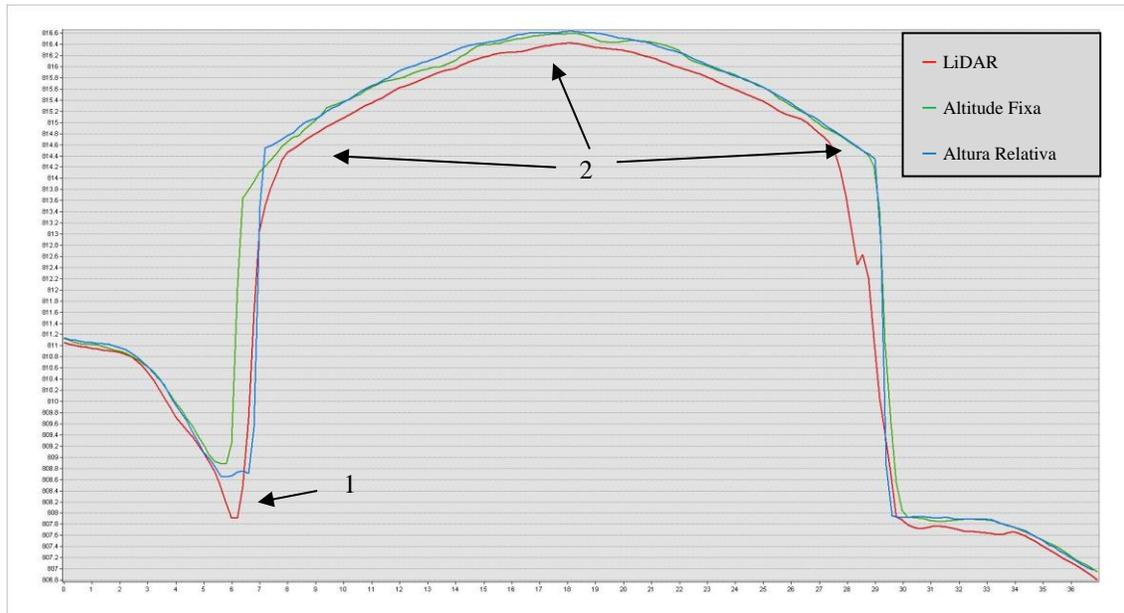


Figura 4.12 – Perfis Topográficos A-B sobre uma edificação em área livre. 1: Trecho do terreno ao próximo à edificação; 2: Bordas arredondadas e rugosidade no telhado. Fonte: Elaborado pelo autor.



Figura 4.13 - Edificação analisada em área livre. Fonte: Elaborado pelo autor.

Na Figura 4.12 percebe-se que as edificações são representadas por linhas mais regulares no MDS Altura Relativa, o que reforça as observações visuais iniciais. Entretanto, o dado LiDAR foi o único que conseguiu capturar a cota do terreno no trecho próximo à edificação, indicado pela seta 1. Isso, pois se trata de um sensor ativo, que não depende da iluminação da superfície para captura do dado.

A Figura 4.14 evidencia essa impossibilidade dos drones gerarem dados sobre o terreno em locais onde há formação de sombras, como explicam Aber, Marzolf e Ries (2010). É o caso deste trecho do bairro, onde há alta densidade de edificações e a perda da informação do terreno é destacada pelas setas de número 2 nas Figuras 4.14 e 4.15.

Observa-se na Figura 4.14 que os dados LiDAR apresentam formas mais arredondadas nas quinas das edificações, como indica a seta de número 1, bem como as paredes das edificações apresentam angulação mais distantes de 90° em relação ao solo, se comparado com o Drone Altura Relativa. Isso é entendido pela menor densidade de pontos do dado LiDAR em relação aos dados do drone, que decorre da diferença de altitude de voo entre os dois equipamentos.

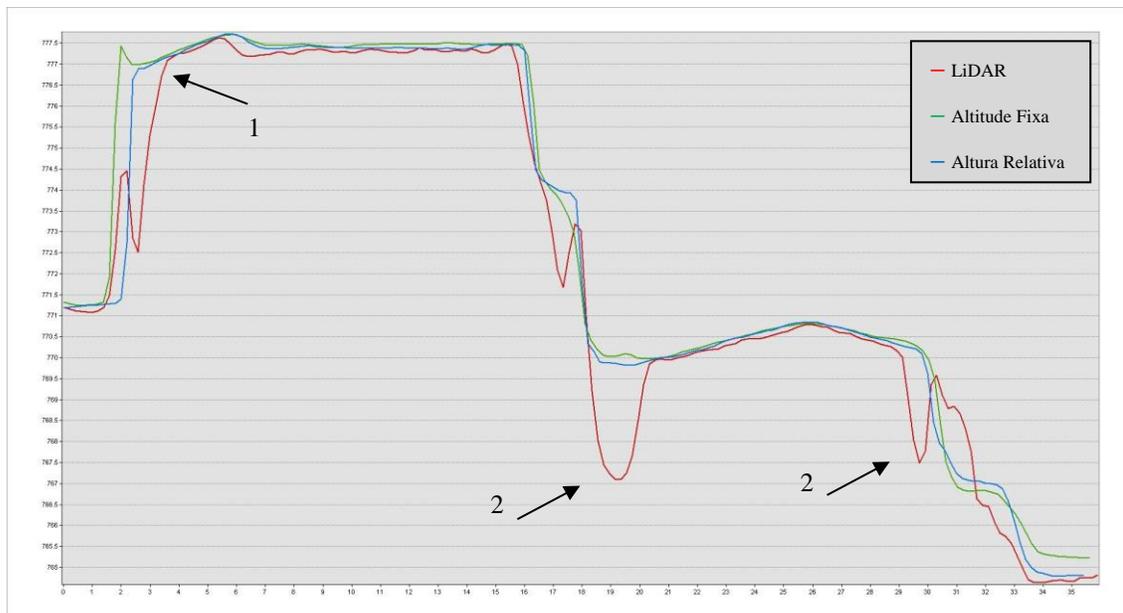


Figura 4.14 – Perfis topográficos C-D sobre edificações em área adensada. Fonte: Elaborado pelo autor.



Figura 4.15 – Edificações analisadas em área adensada. 1: Quina arredondada da edificação; 2: Altitude do terreno.
Fonte: Elaborado pelo autor.

Quando avaliada a ortorretificação dos mosaicos gerados com base nos MDS, percebe-se novamente resultados melhores para os dados com correção da altitude de voo, conforme pode ser observado no comparativo apresentado pela Figura 4.16. Neste procedimento não foi avaliado o ortomosaico cedido pela PRODABEL, pois o procedimento de ortorretificação da imagem não foi informado pela empresa e, aparentemente, foi utilizado um MDT o qual não se teve acesso.

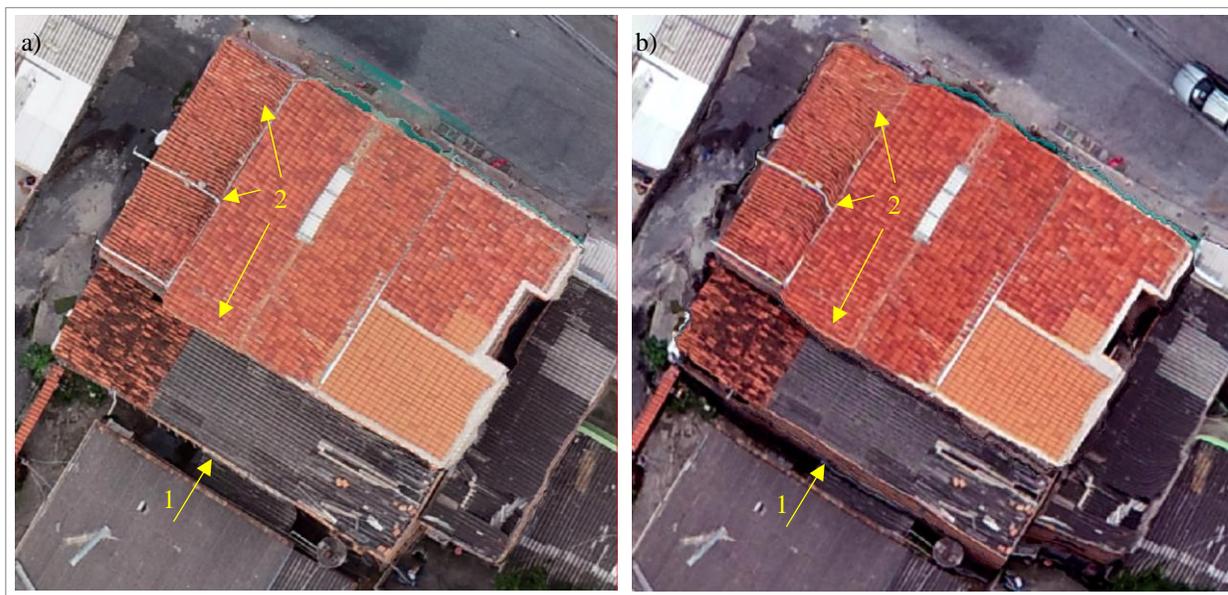


Figura 4.16 – Comparação entre a ortorretificação dos mosaicos. a) Ortomosaico Altura Relativa; b) Ortomosaico Altitude Fixa. 1: Limite mal definido do telhado; 2: Distorções nas formas do telhado. Fonte: Elaborado pelo autor.

Na Figura 4.16, destacado com o número 1, percebe-se que o Ortomosaico Altitude Fixa apresenta um limite do telhado mais mal definido, sendo visível parte da parede da edificação misturada ao telhado. Já o número 2 indica distorções na forma do telhado que podem dificultar a vetorização dessa edificação de modo preciso. Esses erros podem ser explicados pela quantidade inferior de imagens necessárias para a recobrimento da área no voo com altitude fixa e pela a variação do GSD das imagens coletadas no voo com altitude fixa, o que dificulta a geração dos produtos com uma regularidade na forma dos objetos. Os testes aqui apresentados, mostram que tais problemas podem ser reduzidos se aplicada a técnica de correção da altitude de voo para coleta de dados.

Os resultados apresentados até aqui sustentam as observações de que a correção da altitude de voo proporciona uma melhor representação dos elementos no MDS. Entretanto, considera-se que a avaliação por perfis está restrita a pequenos trechos do MDS e não geram uma base estatística que contribua para entendimento de como o problema se dispersa ao longo do MDS.

Para possibilitar essa compreensão, é realizada a análise morfológica dos MDS com base nas amostras geradas e conforme apresentado na Equação 3.02 (página 125) e os resultados são apresentados na Tabela 4.05.

Tabela 4.05 – Análise da Morfologia dos MDS

Dado	LiDAR	Altura relativa	Altitude fixa
Média	1,0683	1,0241	1,0340
Mediana	1,0314	1,0132	1,0139
Moda	1,0173	1,0044	1,0026
Desvio Médio	0,0635	0,0192	0,0305
Desvio Padrão	0,1260	0,0230	0,0424
Curtose	25,0808	-0,1147	5,0705
Variância	0,0156	0,0005	0,0018

Fonte: Elaborado pelo autor

Os valores mais distantes de 1 indicam áreas com maior rugosidade nas amostras, ou seja, locais com maior irregularidade no MDS. A tabela nos mostra que o Drone Altura Relativa apresentou a melhor performance média para o cálculo da morfologia do MDS e os valores de Moda, Mediana, Desvio Médio, Desvio Padrão contribuem para entender que os resultados apresentam baixa variabilidade em todo o MDS, ou seja, os valores são bastante semelhantes em todo o modelo. Todos os dados apresentaram um valor de Moda mais baixo do que a Mediana e a

Média, o que representa uma assimetria positiva na dispersão desses dados. Isso quer dizer que a maioria dos dados de todos os modelos está mais próxima de 1 do que a média encontrada.

Há um destaque para o Drone Altitude Fixa, pois apresentou a maior quantidade de valores mais próximos do 1, representado pelo menor valor de Moda. Entretanto, nesse MDS há uma maior variação dos resultados, o que pode ser observado pela média, variância e desvios maiores, o que pode ser explicado pela variação da distância das fotos em relação aos objetos, o que causa um nível de distorção que é variável ao longo do modelo. Foram realizadas análises baseadas em diagramas *boxplot* para verificação da presença de *outliers*, porém nenhum dos MDS apresentou tal característica.

O MDS LiDAR por haver uma baixa densidade da nuvem de pontos, se comparada aos dados gerados por drone, gerou um MDS com bastante rugosidade. Nesse sentido, sob a análise empregada, esse dado apresenta erros mais grosseiros do que os demais dados analisados, tendo grande desvio em relação à forma real dos objetos imageados. Entretanto, por ser um dado gerado por sensor ativo, é o único que permite a coleta das cotas altimétricas do terreno em toda a área de estudo, sem perdas de informações causadas pela presença de sombras.

A análise da Curtose nos permite compreender a forma da curva de dispersão dos valores analisados. O resultado negativo observado para a Altura Relativa indica uma curva com maior “achatamento” do que a normal, conhecida como Platicúrtica, o que indica uma baixa repetição de valores. Além das outras estatísticas descritivas já terem indicado uma boa performance desse modelo, visualiza-se, por meio da curtose, que não há grande recorrência dos dados. Isso nos dá uma noção da ausência de erros sistemáticos nos dados, pois os erros são dispersos e proporcionais em todas as suas dimensões, sendo estes derivados da forma variada das amostras analisadas. Já os demais dados apresentam o oposto, um valor de Curtose superior a 5, o que indica uma curva de dispersão mais “pontaguda” do que a normal, conhecida como Leptocúrtica. Isso indica que os resultados encontrados estão concentrados numa mesma região de valores, ou seja, há uma recorrência de valores de erro, o que nos leva a entender que se relacionam a erros sistemáticos derivados do método de coleta dos dados. A Figura 4.17 apresenta a classificação das curvas de distribuição de dados quanto à curtose.

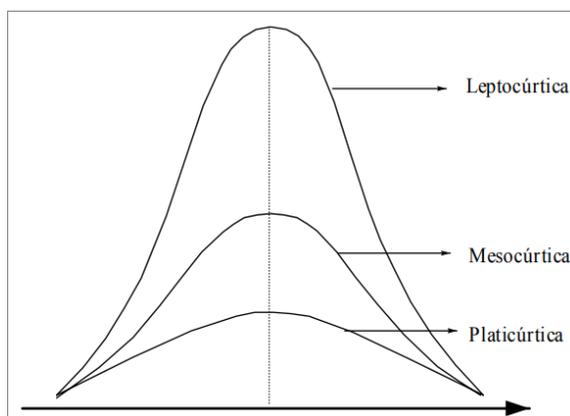


Figura 4.17 – Classificação da distribuição quanto à curtose. Fonte: adaptado de Neto (2002)

Por fim, a observação visual, representada pela Figura 4.11, foi corroborada pelos dados apresentados na Tabela 4.05 que comprova a maior irregularidade e presença de ruídos no modelo gerado pelo Drone Altitude Fixa em relação ao do Drone Altura Relativa.

A análise dos dados gerados neste estudo reforça a observação feita a partir do estudo de caso anterior e comprovam que a manutenção de uma distância fixa entre o drone e os alvos imageados é essencial para representar os objetos com formas e proporções mais próximas do real, o que proporciona a criação de uma base de dados mais acurada no sentido da forma dos objetos representados.

É nítido que a qualidade morfológica do MDS influencia na ortorretificação das imagens e, portanto, sugere-se que as técnicas aqui descritas sejam empregadas visando garantir uma maior qualidade dos dados gerados por drones. As distorções observadas no mosaico do Drone Altitude Fixa podem comprometer, por exemplo, o processo de restituição aerofotogramétrica de modo preciso, uma vez que os alvos são vistos nas imagens com maiores distorções.

Uma das alternativas usuais para geração de ortomosaicos com menos distorções visuais é realizar a ortorretificação do mosaico com base em um MDT. Entretanto, mesmo que seja conhecido o fato de que uma ortorretificação feita com um MDT gerará um produto diverso daquele ortorretificado com um MDS, ainda não são conhecidos os níveis de distorções para avaliação dos prós e contras da técnica. Para responder a essa demanda, é proposto o estudo de caso apresentado a seguir.

4.3. Comparação da Ortorretificação a partir de MDS e MDT: Estudo de caso no UNIBH, BH/MG.

A partir das observações feitas acerca da ortorretificação, é proposta a medição de um telhado plano de uma edificação e a comparação com as medidas encontradas em mosaicos ortorretificados com MDS e MDT a fim de verificar qual dessas imagens apresenta maior acurácia na representação. A investigação se iniciou a partir das observações de variação de dimensões dos elementos entre os dois tipos de ortomosaicos, utilizando os dados elaborados para o bairro Conjunto Paulo VI. Num segundo momento foram realizadas as medições de um telhado no Centro Universitário de Belo Horizonte (UNIBH), pois o local proporcionava acesso com a devida segurança para realizar as medições.

Inicialmente, é preciso destacar que a geração dos MDT a partir de drones é um desafio, pois os drones realizam, em essência, uma modelagem da superfície por meio do registro da radiação eletromagnética refletida pelos objetos – nesta tese utiliza-se apenas câmeras convencionais que operam com a luz visível. Portanto, a construção de um MDT consiste, basicamente, na aplicação de algoritmos que permitem eliminar as informações de superfície e, num segundo momento, preencher os buracos criados pela filtragem através de um método de interpolação de dados.

Nesse sentido, um MDT gerado por drone haverá, geralmente, uma forte intervenção do usuário e do uso de algoritmos remodeladores de superfícies, o que poderá, por vezes, resultar na criação de superfícies irreais. São dados que devem, portanto, ser gerados e usados com parcimônia a fim de evitar análises e conclusões equivocadas.

4.3.1. Geração e edição do MDT

O primeiro passo dessa investigação foi a identificação dos valores mais adequados para a filtragem da nuvem de pontos a fim de reduzir a intervenção do usuário na classificação manual da nuvem de pontos, bem como a utilização de algoritmos para suavização do terreno. Os valores que apresentaram melhor resultado na classificação da nuvem de pontos estão dispostos na Tabela 4.06.

Tabela 4.06 – Parâmetros para classificação da nuvem de pontos

Parâmetro	Valor
Ângulo máximo (°)	10
Distância (m)	0,3
Tamanho da célula	30

Fonte: Valores definidos pelo autor

A Figura 4.18 mostra o resultado da classificação da nuvem de pontos a partir desses valores utilizados, por meio de um comparativo entre o MDS e o MDT gerados.

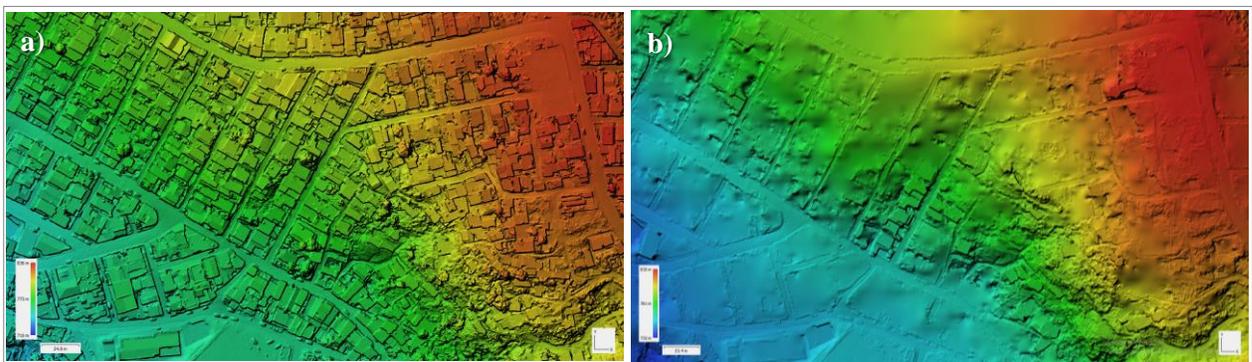


Figura 4.18 – Comparativo MDS e MDT a partir da classificação automática da nuvem de pontos. a) MDS; b) MDT. Fonte: Elaborado pelo autor na área do UNIBH.

Para melhoria dos resultados foram aplicadas técnicas de edição do MDT, gerando uma superfície suavizada, com menos rugosidades oriundas do MDS. Para isso, foi testada a função *Smooth Mesh* que promove uma suavização das rugosidades existentes no relevo, conforme ilustrado na Figura 4.19, e o resultado obtido foi uma alteração da superfície real modelada, portanto, recomenda-se a utilização mínima possível dessa ferramenta, a fim de não criar terrenos irreais.

A partir do MDT suavizado foi realizada a ortorretificação e o resultado, em geral, é graficamente mais agradável do que aqueles gerados com base nos MDS, como ilustrado na Figura 4.20.

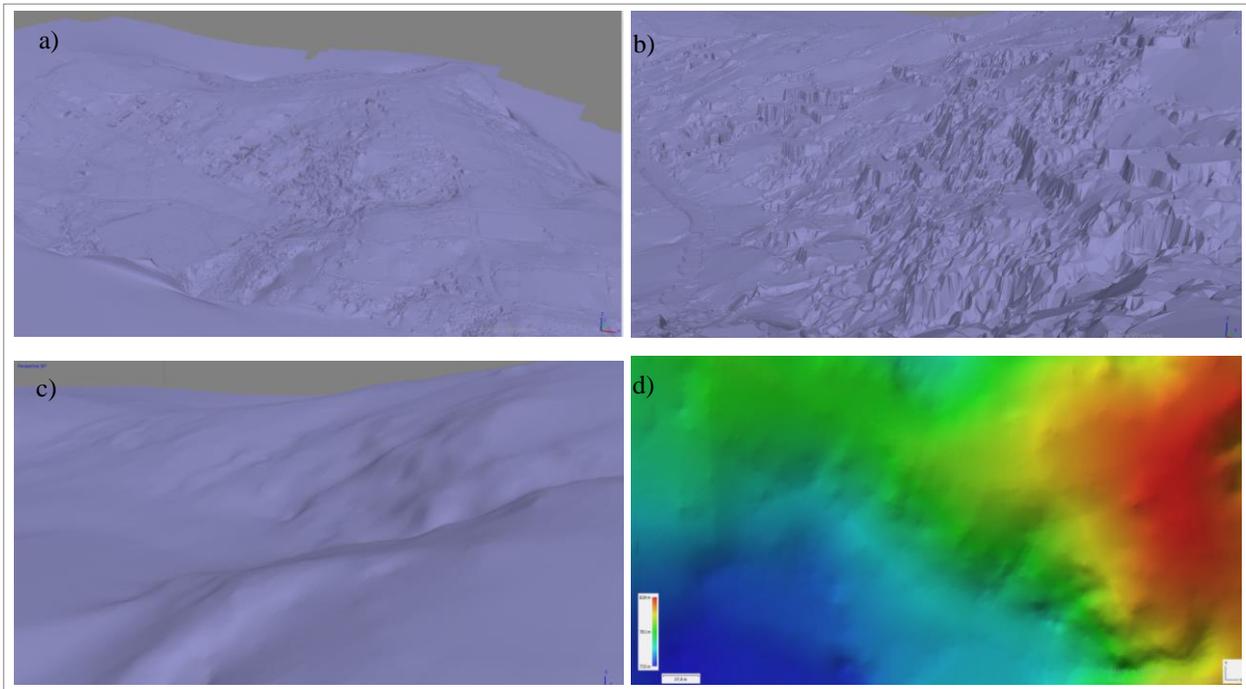


Figura 4.19 – Processo de suavização da malha mesh para construção do MDT. a) *Mesh* com rugosidade (erros); b) Detalhe na rugosidade da *Mesh*; c) Resultado da suavização com a função *Smooth mesh*; d) MDT final.
 Fonte: Elaborado pelo autor na área do Conjunto Paulo VI.

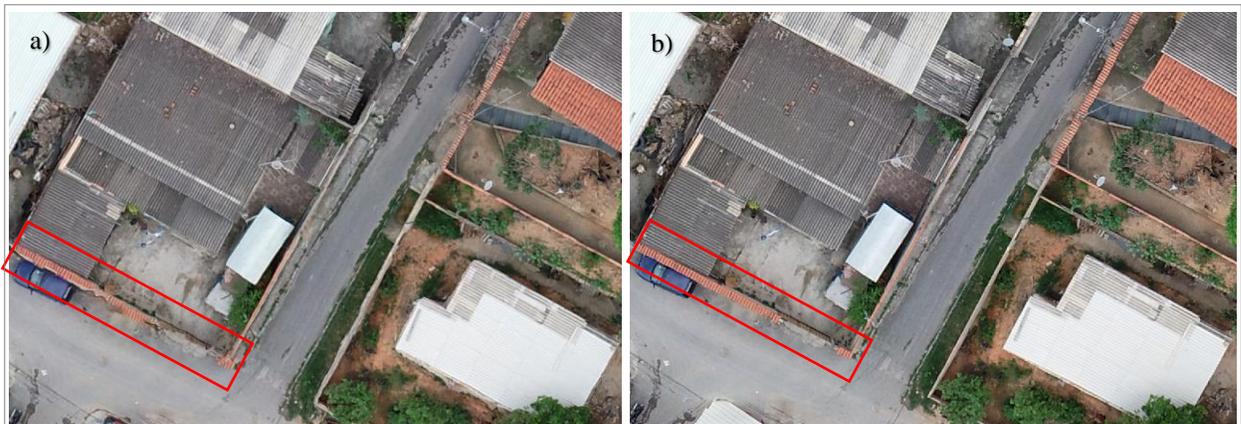


Figura 4.20 – Comparação entre ortomosaicos. a) Ortorretificado com MDS; b) Ortorretificado com MDT.
 Fonte: Elaborado pelo autor na área do Conjunto Paulo VI.

Embora as formas das edificações apareçam mais bem definidas na ortoimagem ortorretificada com o MDT, percebe-se que há uma importante variação no tamanho dos objetos nesse tipo de imagem, em relação aos ortomosaicos gerados com base no MDS. Pode-se deduzir que essa distorção tenha origem na variação volumétrica entre os modelos utilizados para a ortorretificação, isto é, na variação da posição real do objeto (registrada no MDS) para sua posição projetada no terreno (representada no MDT).

Uma análise comparativa inicial mostrou que o tamanho e a forma das edificações variam significativamente entre essas duas ortomagens, como evidencia a Figura 4.21. Nesta figura, o polígono vermelho delimita um edifício com base na ortorretificação gerada com o MDT e totaliza uma área de 667,89 m². Já o polígono azul delimita o mesmo edifício visto na imagem ortorretificada com base no MDS e totaliza uma área de 562,81m².



Figura 4.21 – Diferenças de áreas nos ortomosaicos. a) Imagem ortorretificada com MDT; b) Imagem ortorretificada com MDS. Fonte: Elaborado pelo autor na área do Conjunto Paulo VI.

Entende-se que esta discrepância de 105,08 m², que representa um acréscimo de aproximadamente 18% na área do edifício medido pelo MDS, é muito elevado e que tal distorção não pode ser desconsiderada nos procedimentos de coleta de dados espaciais com drone. Portanto, busca-se entender a melhor alternativa que permita criar bases cartográficas com acurácia suficiente para ações de planejamento e gestão urbana.

4.3.2. Medição em campo e comparação com imagens ortorretificadas

Para compreensão dessas distorções foram realizadas 10 medições em linha reta em um telhado de uma edificação (Figura 4.22). Em campo, foram realizadas medições com uma trena convencional e coletados pontos de controle com um receptor GNSS através do método RTK. Após o processamento dos dados, foram gerados os ortomosaicos com base no MDS e no MDT e

realizadas as demais medições com auxílio do ArcGIS. Os resultados são apresentados em separado para o comparativo com os resultados do receptor GNSS e das medições com a trena (Tabelas 4.07 e 4.08).



Figura 4.22 – Pontos de medição do telhado. Fonte: Elaborado pelo autor na área do UNIBH.

Tabela 4.07 – Medições da edificação com GNSS *versus* medições nos ortomosaicos

ID	GNSS (m)	MDS (m)	MDT (m)	GNSS - MDS (m)	GNSS - MDS (%)	GNSS - MDT (m)	GNSS - MDT (%)
1	3,828	3,83	4,005	0,002	0,05	0,177	4,62
2	3,834	3,894	4,06	0,060	1,56	0,226	5,89
3	7,273	7,355	7,668	0,082	1,13	0,395	5,43
4	7,311	7,56	7,787	0,249	3,41	0,476	6,51
5	7,3	7,425	7,72	0,125	1,71	0,420	5,75
6	7,095	7,108	7,392	0,013	0,18	0,297	4,19
7	3,482	3,453	3,579	0,029	0,83	0,097	2,79
8	3,826	3,89	4,05	0,064	1,67	0,224	5,85
9	3,826	3,804	4,074	0,022	0,58	0,248	6,48
10	3,687	3,613	3,713	0,074	2,01	0,026	0,71
MÉDIA				0,072	1,31	0,259	4,82
DESVIO PADRÃO				0,048	0,76	0,111	1,40

Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela 4.08 – Medições da edificação com trena *versus* medições nos ortomosaicos

ID	Trena (m)	MDS (m)	MDT (m)	TRENA - MDS (m)	TRENA - MDS (%)	TRENA - MDT (m)	TRENA - MDT (%)
1	3,905	3,83	4,005	0,075	1,92	0,100	2,56
2	3,905	3,894	4,06	0,011	0,28	0,155	3,97
3	7,385	7,355	7,668	0,030	0,41	0,283	3,83
4	7,415	7,56	7,787	0,145	1,96	0,372	5,02
5	7,36	7,425	7,72	0,065	0,88	0,360	4,89
6	7,165	7,108	7,392	0,057	0,80	0,227	3,17
7	3,495	3,453	3,579	0,042	1,20	0,084	2,40
8	3,91	3,89	4,05	0,020	0,51	0,140	3,58
9	3,88	3,804	4,074	0,076	1,96	0,194	5,00
10	3,745	3,613	3,713	0,132	3,52	0,032	0,85
MÉDIA				0,065	1,344	0,195	3,53
DESVIO PADRÃO				0,033	0,797	0,093	1,025

Fonte: Elaborado pelo autor

Observa-se que os resultados, assim como esperado, apresentam maiores distorções nas medições realizadas na imagem ortorretificada com o MDT e que o percentual médio de erro é de 4,82% para as medições com o GNSS e de 3,53% para as medições com a trena. É interessante destacar que o voo foi realizado a uma altura de 75 m acima do nível do terreno e que a edificação analisada possui 3,5 m de altura, ou seja, representa 4,67% da altura do voo.

Entende-se que esses dados não são suficientes para afirmar que é possível estabelecer uma constante que relacione altura do voo *versus* altura da edificação para estimar a dimensão do erro. Contudo, com base nos dados analisados, acredita-se que edificações mais altas sofrerão maiores distorções se comparadas às edificações mais baixas, pois ao invés de ajustar as imagens com a altura real dos objetos (ortorretificação com MDS), o ajuste passa a ser feito com a informação do terreno, causando um aumento na sua representação. Esse raciocínio está esquematizado na Figura 4.23.

Reforça-se que essa é uma dedução com base na observação dos resultados e que outros estudos devem ser feitos para aprofundamento acerca dessa questão, o que pode subsidiar uma conclusão mais sólida para essas observações.

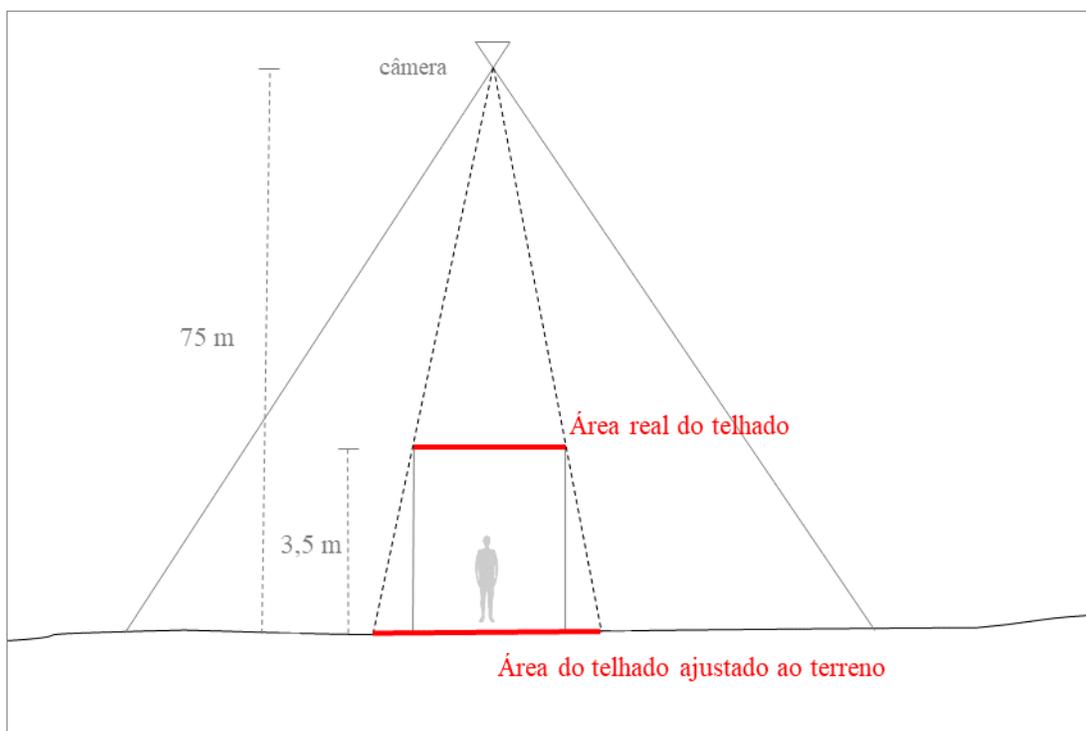


Figura 4.23 – Esquema de distorção da edificação na ortorretificação em MDT. Fonte: Elaborado pelo autor.

Contudo, os dados analisados nos mostram que os MDS proporcionam a geração de ortomosaicos com melhor representação das áreas dos elementos, mesmo que graficamente apresentem algumas distorções nos limites das edificações e nas vegetações. Portanto, o usuário deve estar ciente dos prós e contras de cada uma das técnicas no momento de decidir qual modelo utilizar para a ortorretificação. Ao usar o MDT, tem-se como vantagem a geração de uma imagem com representação gráfica mais agradável, na qual os edifícios e elementos arbóreos aparecem com formas mais nítidas. Entretanto, assume-se com o uso deste dado maiores erros na medição das áreas dos elementos, gerando tendencialmente áreas maiores. Já ao usar o MDS, tem-se como vantagem a representação das áreas dos edifícios com maior fidelidade, favorecendo este tipo de cálculo. Entretanto, perde-se a qualidade gráfica das representações sendo que alvos como edifícios e elementos arbóreos aparecem com limites distorcidos e, às vezes, indefinidos.

A partir da compreensão do melhor modelo para a ortorretificação, buscou-se avaliar a acurácia dos dados gerados frente às normativas nacionais, com vistas a discutir as possibilidades de seu uso para o planejamento territorial.

4.4. Avaliação da acurácia posicional planimétrica e altimétrica de dados gerados por drone: Estudo de caso na região do bairro Confisco, divisa entre BH e Contagem/MG

Diversos estudos vêm sendo realizados no sentido de testar a acurácia dos dados coletados por drones e, em geral, apresentam resultados satisfatórios frente aos parâmetros estabelecidos pelo PEC-PCD. Entretanto, não há um consenso, ainda, acerca da quantidade ideal de PC para se atingir a Classe-A, que representa o nível de qualidade mais elevado, bem como não se sabe se há uma relação constante da quantidade de PC por área. Entende-se que essas informações podem ser relevantes para orientar o planejamento e execução do aerolevanteamento com drone e, portanto, faz-se aqui uma análise visando contribuir nessa direção.

Para uma área de 340 ha com grande variação de tipologias de uso do solo e com relevo formado por colinas e vales, foram coletados 18 PC e 27 Pontos de Teste (PT), sendo gerados 6 ortomosaicos distintos com 3, 6, 9, 12, 15 e 18 PC. Para todos os ortomosaicos foram testados os 27 pontos com auxílio do software GeoPEC e os resultados nos dão a ideia da qualidade dos produtos em relação à quantidade de pontos. A distribuição dos PC para cada imagem está representada na Figura 4.24.

Os resultados obtidos mostram que planimetricamente os produtos gerados por drone atenderam ao PEC-PCD Classe-A a partir de 9 pontos de controle, o que pode ser considerado como uma baixa quantidade de pontos de controle para esta área de estudo que totaliza 340 ha. Os resultados encontrados para a análise planimétrica se encontram resumidos no Quadro 4.01.

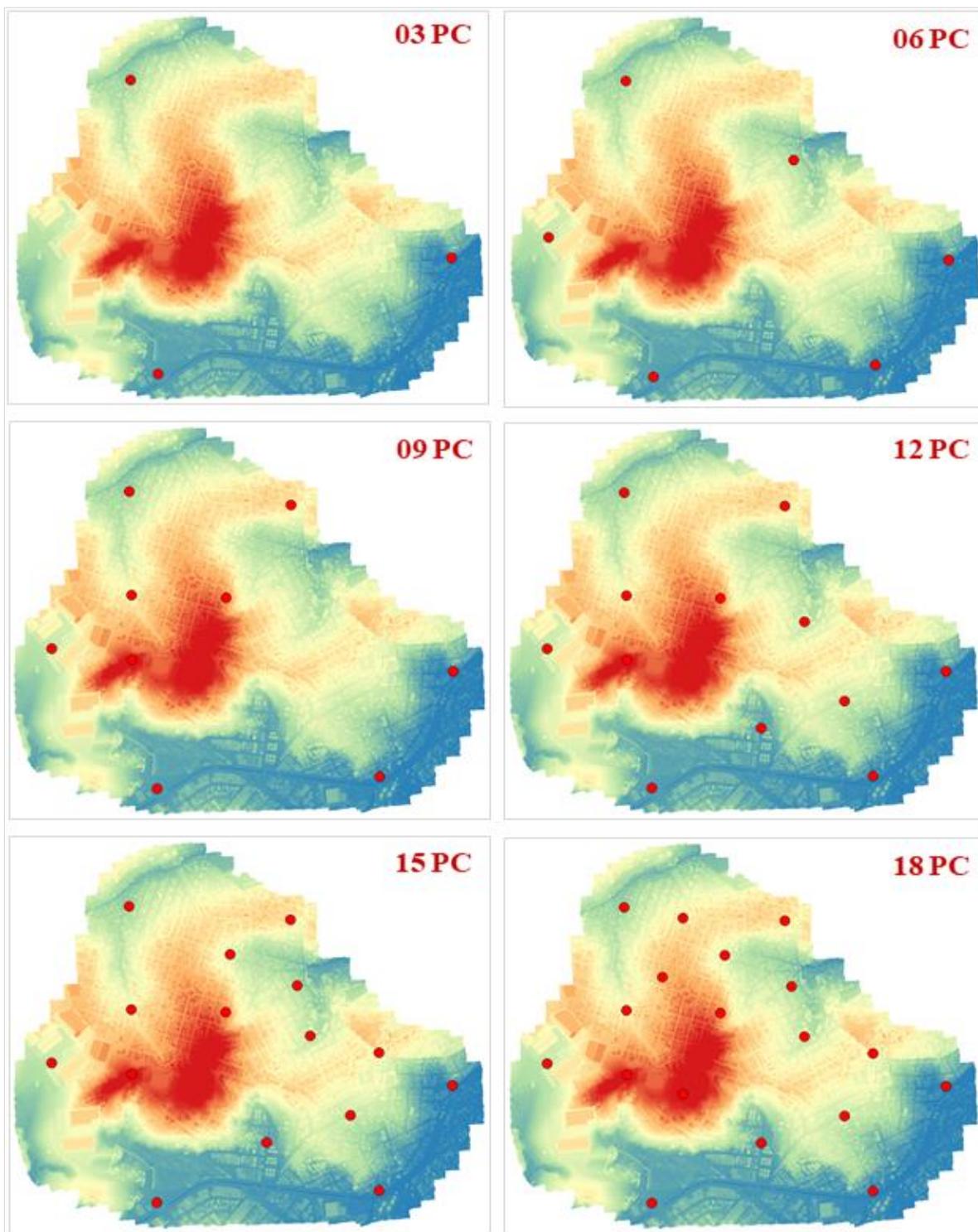


Figura 4.24 – Distribuição dos PC para georreferenciamento dos mosaicos. No MDS de base, as cores quentes representam as maiores cotas altimétricas e as cores frias as mais baixas. Fonte: Elaborado pelo autor no estudo de caso Confisco.

Quadro 4.01 – Classes do PEC-PCD para Planimetria em relação à quantidade de PC

Dado	Classe do PEC		DisPos	Tendência	Área/PC (ha)
	1:1.000	1:2.000			
Ortomosaico 18PC	A	A	0,1635	Não Tendencioso	18,889
Ortomosaico 15PC	A	A	0,1657	Não Tendencioso	22,667
Ortomosaico 12PC	A	A	0,1605	Não Tendencioso	28,333
Ortomosaico 09PC	A	A	0,1673	Não Tendencioso	37,778
Ortomosaico 06PC	B	A	0,1766	Não Tendencioso	56,667
Ortomosaico 03PC	B	A	0,1925	Não Tendencioso	113,333

Fonte: Elaborado pelo autor.

Os testes de avaliação da tendência dos erros comprovam que não foram encontrados erros sistemáticos nos dados e, além disso, que uma alta densidade de pontos por área não necessariamente garantirá um melhor resultado na posição planimétrica do dado gerado.

Observa-se que os ortomosaicos georreferenciados com 09 a 18 PC obtiveram resultados muito semelhantes, sendo a Discrepância Posicional (DisPos) relativa ao ortomosaico de 12 PC aquela que obteve o menor valor. Entretanto, a variação entre esses dados é da ordem de poucos centímetros e tais variações podem ter diferentes causas, incluindo a subjetividade do usuário ao vetorizar o ponto homólogo sobre o ortomosaico. Portanto, não se considera aqui que o ortomosaico de 12 PC obteve desempenho suficientemente melhor do que aquele de 18PC que justifique uma conclusão precipitada de que menos PC pode obter melhores resultados. Mas observa-se que os dados são consistentes para afirmar que a partir de 09 PC o resultado do mapeamento possui variações mínimas na DisPos para planimetria.

É interessante destacar que em trabalhos semelhantes tem-se observado que a partir de 10 PC, para diferentes áreas mapeadas, os resultados são satisfatórios para a planimetria. É o caso de Zanetti, Gripp Júnior e Santos (2017) que testaram 5, 10 e 15 PC para uma área de 144 ha e observaram que a partir de 10 PC os dados atenderam ao PEC-PCD Classe-A, e de Braghirolli et al (2019), que testaram 5, 10, 15 e 20 PC para uma área de 19 ha e obtiveram resultados satisfatórios, que atendiam ao PEC-PCD Classe-A, a partir de 10 PC.

Foi analisada a correlação entre a DisPos e a relação dada pelo cálculo da Área total dividida pela quantidade de Pontos de Controle (Área/PC) e os resultados comprovam que há uma correlação positiva entre os dados, ou seja, menos PC tendem a gerar uma pior acurácia dos dados. A Figura 4.25 mostra a correlação obtida e indica que um adensamento excessivo dos dados, como,

por exemplo a coleta de 1 PC por hectare, tende a gerar uma DisPos da ordem de 0,15, ou seja, sem grandes ganhos em relação aos 09 PC. No gráfico é possível observar a equação que determina a reta e que o valor do Coeficiente de Determinação (r^2) está próximo de 1, o que indica alta confiabilidade dos dados.

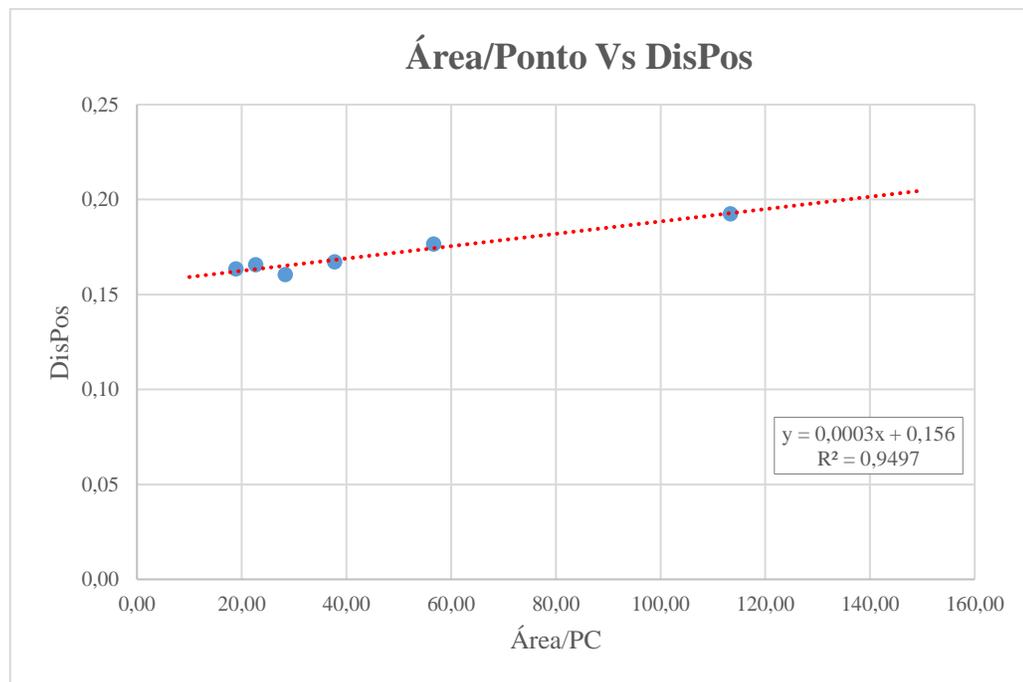


Figura 4.25 – Correlação entre Área/PC e DisPos para dados planimétricos. Fonte: Elaborado pelo autor

No que tange à análise para a altimetria, os resultados se mostraram insatisfatórios e nenhum dos dados atendeu à Classe-A para a escala de 1:1.000 ou 1:2.000. Diante do baixo desempenho dos dados, buscou-se uma nova tentativa de processamento dos dados com uma maior quantidade de PC. Para isso, fez-se a inversão dos PC com os PT, sendo que os 27 PT foram utilizados para o georreferenciamento e os 18 PC foram utilizados para a checagem do PEC-PCD. Os resultados são apresentados no Quadro 4.02 e, mesmo tendo sido gerados com base nos MDS, são apresentados referenciados à equidistância das curvas de nível, em função do modelo de processamento disponibilizado pelo GeoPEC.

Conforme foi apresentado, para que as curvas de nível com equidistância de 1m, analisadas na escala de 1:1.000, sejam enquadradas no PEC Classe-A, 90% dos valores testados devem ter discrepância inferior a 0,50m, sendo o EP (calculado pelo RMS) inferior a 0,33m. Esses valores

correspondem à Classe-B para MDS, ou seja, a Classe-A para MDS é ainda mais restritiva do que os valores apresentados no Quadro 4.02.

Quadro 4.02 – Classes do PEC-PCD para Altimetria em relação à quantidade de PC

Dado	Equidistância				DisPos	Tendência	Área/PC (ha)
	1m	2m	5m	10m			
DSM 27 PC	-	B	A	A	0,5348	Não Tendencioso	12,593
DSM 18PC	-	C	A	A	0,6860	Não Tendencioso	18,889
DSM 15PC	-	C	A	A	0,6891	Não Tendencioso	22,667
DSM 12PC	-	C	A	A	0,6741	Não Tendencioso	28,333
DSM 09PC	-	C	A	A	0,7276	Tendencioso	37,778
DSM 06PC	-	D	B	A	0,8205	Tendencioso	56,667
DSM 03PC	-	-	B	A	1,1629	Tendencioso	113,333

Fonte: Elaborado pelo autor. Destaque para o DSM com 27 PC e 18 PT.

Os resultados apresentam padrão semelhante ao que foi observado para a análise da planimetria, sendo que a partir de 12 PC os resultados se mostram bastante semelhantes. Entretanto, para a altimetria a utilização de uma menor quantidade de PC, igual o inferior a 9, compromete a utilização dos produtos, pois os mesmos apresentaram erros sistemáticos, identificados por meio da análise de tendência.

A precisão máxima obtida para as curvas de nível foi de 5m de equidistância, considerando o PEC Classe-A, o que significa dizer que elas atendem a um mapeamento na escala de 1:10.000 com a máxima acurácia, conforme as normativas de referência. A discrepância posicional máxima permitida para essa classe é de 2,5m e o EP de 1,67, valores que correspondem ao PEC-PCD Classe-B para os MDS. O teste com 27 PC mostrou que com uma maior quantidade de PC é possível melhorar a acurácia dos dados, entretanto não foi possível alcançar o PEC-PCD Classe-A para os MDS analisados.

Assim como apresentado para a análise planimétrica, foi realizada a análise da correlação entre a DisPos encontrada e a Área coberta por 1 ponto e os resultados sugerem que para o atendimento à Classe-A é necessário a utilização de mais do que 1 PC por hectare, o que pode tornar o trabalho excessivo e contraproducente (Figura 4.26).

Novos testes que promovam um maior adensamento dos PC devem ser realizados a fim de checar essa observação, levando em consideração, também, o tempo e o esforço empreendido para

discutir a viabilidade dessa metodologia para coleta de dados. Além disso, ressalta-se que este estudo checkou dados de uma realidade única, por meio de métodos e equipamentos específicos, e que outras situações avaliadas com outros equipamentos poderão gerar resultados, também, distintos.

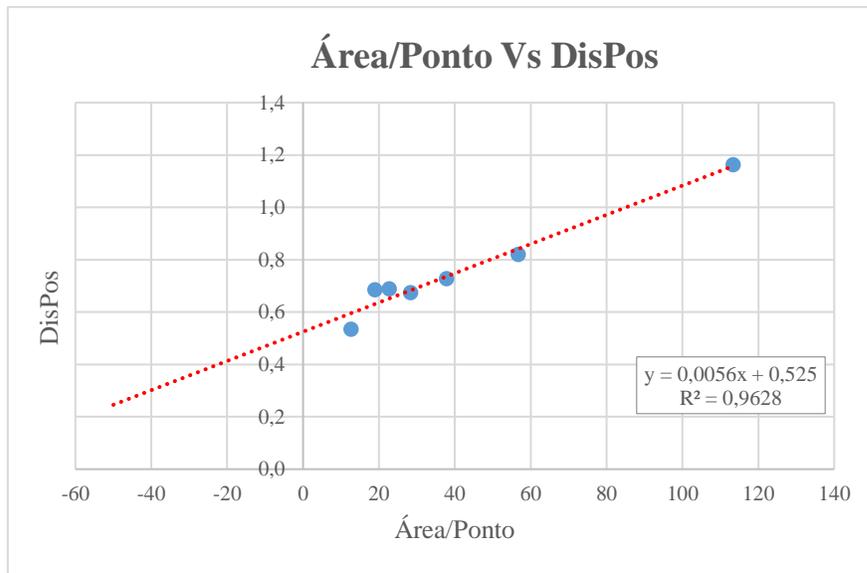


Figura 4.26 – Correlação entre Área/PC e DisPos para dados altimétricos. Fonte: Elaborado pelo autor

O gráfico apresentado na Figura 4.26 mostra uma forte correlação positiva, onde entende-se que a qualidade do resultado está diretamente condicionada à quantidade de PC coletados, ou seja, um menor valor de Área/Ponto. Entretanto, se considerarmos que o valor de r^2 próximo a 1 sugere que a linha de tendência é confiável, podemos entender que para alcançar a discrepância máxima aceita no PEC-PCD Classe-A para MDS, que corresponde a 0,27, será necessário mais do que 1 PC por hectare.

Os resultados aqui apresentados mostram que é possível gerar dados planimétricos (ortomosaico) com acurácia Classe-A mantendo a alta agilidade de coleta de dados, reforçando o uso do equipamento como alternativa de custo acessível e satisfatória eficiência para ações de planejamento e gestão territorial, como, por exemplo, na atualização de base de dados em locais com rápida transformação territorial, como são a maioria dos assentamentos irregulares. Entretanto, para a altimetria (MDS) é importante considerar a acurácia máxima foi atendida somente para a escala de 1:10.000, o que não inviabiliza o uso da ferramenta para análises de menor escala e/ou para representações dos elementos da superfície.

Vale destacar que os valores estipulados para o PEC-PCD foram definidos para verificação de dados coletados por aeronaves tripuladas equipadas com câmeras métricas e outros equipamentos auxiliares para a aerofotogrametria. Em geral, esses equipamentos geravam imagens com GSD de, aproximadamente, 10 cm que resultavam em mapas com escala de 1:1000, que é a classe mais restritiva na avaliação do PEC-PCD. Com a difusão do uso dos drones como ferramenta para aerofotogrametria, tem-se observado a geração de imagens com GSD muito inferior, o que confere maior detalhe da superfície e, portanto, fica evidente a necessidade de definição de novas normas mais adaptadas a esses equipamentos e métodos para coleta de dados espaciais. Tal aspecto é discutido por Braghirolli et al. (2019), que destacam a necessidade de criação de classes mais restritivas no PEC-PCD, ou mesmo a criação de normas específicas, para os produtos gerados por drone. Os autores observam que a facilidade para atingir o PEC Classe-A é um indício da necessidade de estreitamento dos limites para classificação dos produtos cartográficos gerados por drones, e que isso poderia promover maior confiabilidade a esses dados.

4.5. Integração de dados drone e LiDAR para atualização de bases de dados espaciais em áreas de fragilidade social: Estudo de caso no bairro Conjunto Paulo VI, BH/MG

Um dos argumentos para utilização do drone para coleta de dados é sua utilização para atualização de base de dados de modo ágil e com custo acessível, o que pode contribuir para a gestão territorial. Observa-se que BH apresenta uma grande demanda de gestão de assentamentos precários, locais de rápida transformação territorial, e que o levantamento de dados sistemáticos que ocorre em média a cada 5 anos não consegue acompanhar todas as mudanças, criando um *gap* de informação base para a gestão da cidade.

A partir disso, busca-se verificar se é possível utilizar dados de diferentes fontes como meio de atualização da base de dados existente e, sobretudo, como meio de identificação das transformações territoriais ocorridas no espaço de tempo analisado. Os testes foram realizados em uma área de fragilidade social onde tem-se observado um rápido incremento de novas casas, muitas vezes em locais de risco e/ou não autorizados para a edificação. Esse tipo de análise pode contribuir para a gestão pública do município, agilizando o processo de geração de informações que podem

contribuir para o planejamento e orientação dos trabalhos técnicos em campo, bem como a atualização da base de dados existente.

A análise consistiu basicamente na comparação das transformações observadas na área a partir do uso do MDS criados por LiDAR em 2015 e pelo drone em 2019. Inicialmente foram gerados perfis topográficos sobre o MDS drone e o MDS LiDAR em áreas sem transformações aparentes no período e foi observado que ambos apresentavam as mesmas cotas altimétricas, o que mostrou que seria possível a geração das análises. O segundo passo consistiu numa simples subtração dos MDS, sendo que os locais em que foram observadas as transformações no período analisado registraram valores diferentes de zero. A interpretação dos resultados se deu com base nos perfis topográficos e na observação das imagens aéreas e, a partir desses dados, foi proposta uma classificação dos resultados obtidos conforme apresenta a Figura 4.27.

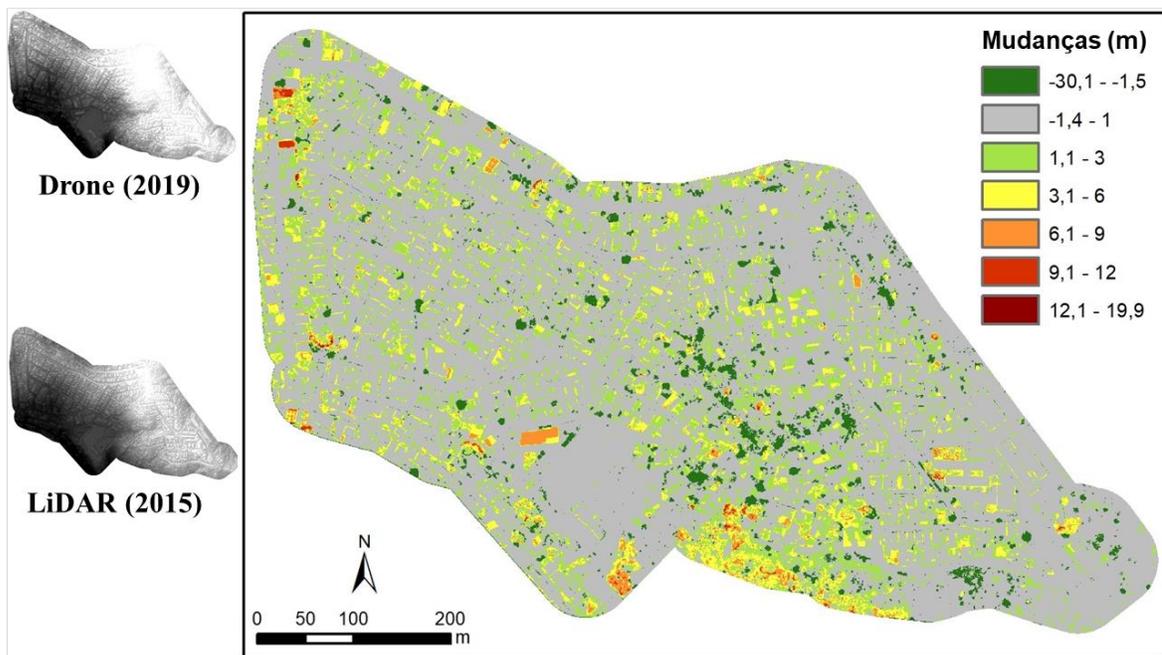


Figura 4.27 – Resultado da álgebra de mapas. Fonte: Elaborado pelo autor

A primeira classe, com valores de -30,1 m a -1,5 m, mostra os locais onde a cobertura vegetal foi removida e outros objetos extintos no período analisado. Foram observadas várias alterações irrelevantes relacionadas às propostas do estudo, como variação da posição de veículos estacionados, que levaram à interpretação de que esta classe é composta, predominantemente, por ruídos e, portanto, não foi considerada na análise.

Os valores identificados entre -1,4m a 1m representaram os locais que permaneceram inalterados no período analisado, correspondendo basicamente aos eixos viários e aos edifícios sem modificações perceptíveis. Foram notados ruídos significativos nos resultados de até 1 m quando localizados nas bordas do edifício devido à diferença da fonte dos dados. Portanto, esses valores não foram considerados como mudanças reais.

Os valores de 1 m a 3 m representaram edificações com alterações de até 1 piso, podendo ser um edifício novo ou o acréscimo de um piso em um edifício já existente (Figura 4.28).

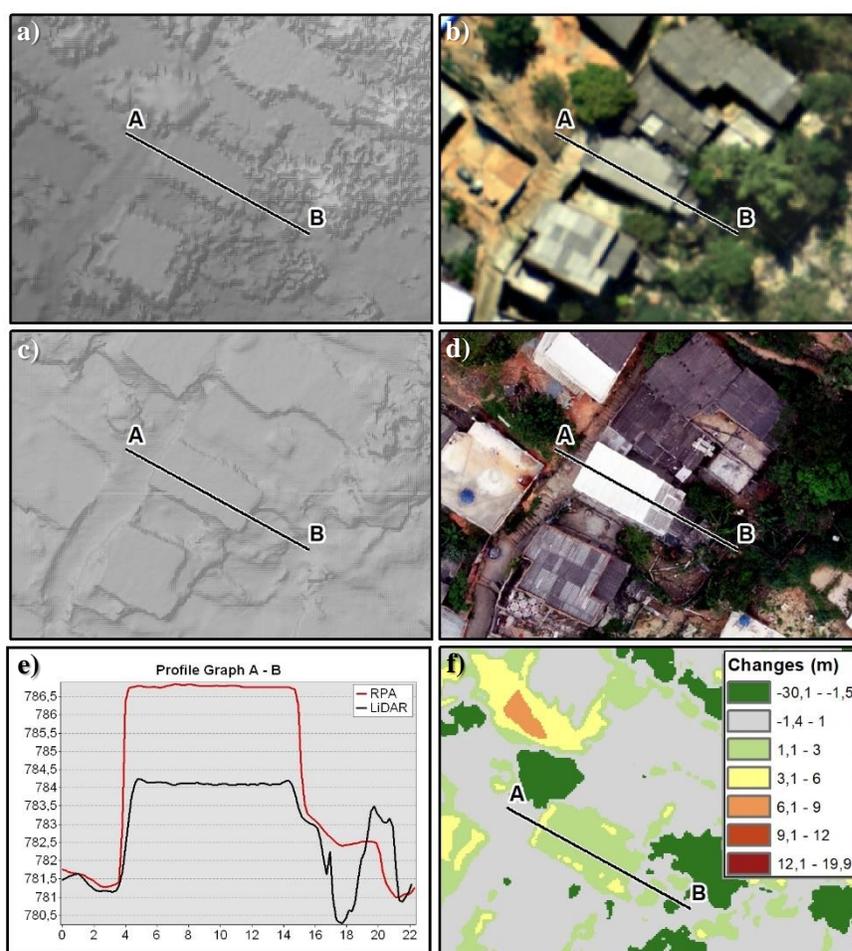


Figura 4.28 – Alterações até 3m. a) MDS LiDAR (2015); b) Ortomosaico PBH (2015); c) MDS drone (2019); d) Ortomosaico drone (2019); e) Perfil topográfico; f) Resultado da subtração dos MDS. Fonte: Elaborado pelo autor

A figura mostra que é impossível perceber o aumento de volume do edifício apenas com as fotos aéreas, sendo perceptíveis algumas mudanças, mas não o suficiente para inferir sobre o volume. Neste caso, a análise mostrou uma edificação já existente em que houve o acréscimo de

um pavimento que pôde ser corretamente detectado pela análise. Vale destacar que essa é uma área de relevo declivoso, com vias estreitas e edificações muito próximas umas das outras e com presença de vegetação, fatores que dificultam o processo de análise.

Os resultados com valores entre 3 m e 6 m representam as edificações com incremento de até dois novos pavimentos. Por se tratar de mudanças mais significativas em relação aos vizinhos, esses locais apresentaram baixo nível de ruído e, portanto, uma identificação robusta.

Os valores que apresentam variações de 6 m a 9 m representam aqueles edifícios com aumento de até três andares. Em geral, os resultados foram bastante semelhantes aos da classe anterior: um aumento volumétrico maior levando a uma menor quantidade de ruído nos dados devido a uma mudança mais evidente e menos interferência dos objetos circundantes. Na área de estudo, poucas mudanças foram identificadas neste nível; por exemplo, destaca-se a construção de um posto de saúde com três pavimentos (Figura 4.29).

Esta figura representa um dos locais em que a análise foi facilitada, pois trata-se de um terreno plano e vazio em 2015 onde foi construída uma estrutura de, aproximadamente, 9 m de altura, gerando uma alteração significativa e facilmente perceptível na área. Assim, vê-se que o resultado da álgebra de mapas é, também, mais bem definido, com baixa quantidade de ruídos.

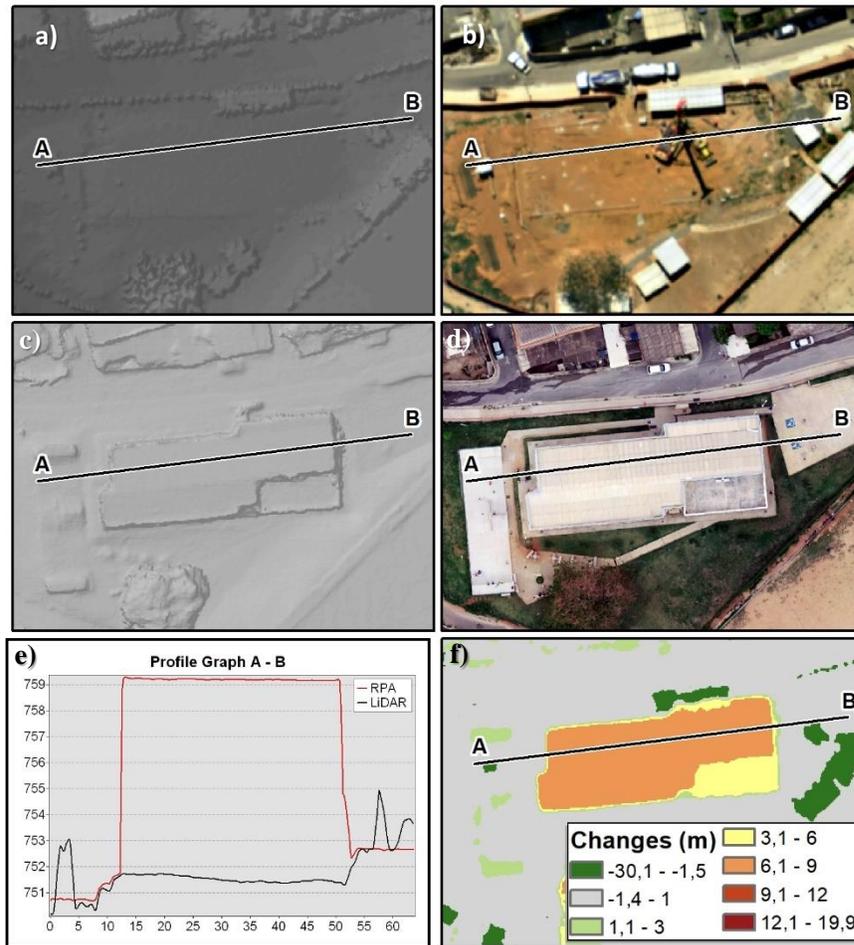


Figura 4.29 – Transformações até 9m. a) MDS LiDAR (2015); b) Ortomosaico PBH (2015); c) MDS drone (2019); d) Ortomosaico drone (2019); e) Perfil topográfico; f) Resultado da subtração dos MDS. Fonte: Elaborado pelo autor.

Foram identificadas alterações em dois edifícios do bairro que resultaram em valores entre 9 m e 12 m, representando um aumento de até quatro andares. Tal como nas duas classes anteriores, não foram observados ruídos significativos nesta classe devido à variação significativa entre as datas analisadas, mostrando que se pode desenvolver uma análise com assertividade e qualidade nesses casos.

Com valores superiores a 12m, a última classe é composta por ruídos provenientes dos dados e mudanças observadas na vegetação que não representa um dado confiável e tampouco é objeto desta análise. Não foram observados incrementos significativos de mais de quatro andares nas edificações do bairro no período analisado.

É fundamental destacar que essa análise exigiu uma forte interação homem-máquina e não se mostrou amigável ao processo de automação. Tal fato deve ser levado em consideração quando

da replicação da metodologia, buscando avaliar se é viável para a situação a ser estudada. Vale mencionar que outras metodologias para integração dos dados e outros filtros de análise espacial que podem ajudar a reduzir a quantidade de ruídos podem ser testados visando reduzir a interação e subjetividade do usuário.

Por outro lado, a técnica se mostra simples e ágil e o resultado da álgebra de mapas, mesmo sem o empenho na criação de classes, já indicava os locais com maiores transformações territoriais e isso pode ajudar no trabalho de gestão territorial, por exemplo na identificação das maiores transformações e organização dos trabalhos de campo para averiguação *in loco*.

O maior desafio nesta análise foi o de separar o ruído dos dados relevantes, o que é causado pela densidade diferente das nuvens de pontos usadas para criar os modelos de superfície, o que exige forte interação com o analista.

4.6. Considerações acerca das análises técnicas

O estudo das técnicas de coleta de dados nos mostra o potencial dos drones para apoio à criação e/ou atualização de base de dados espaciais. É um equipamento compacto, de custo acessível, de fácil manuseio (se comparado a outros métodos para coleta dos mesmos tipos de dados) e que pode ser usado em diversas situações, seja para criação de base de dados espaciais para uso em SIG, seja para representação tridimensionais que vão de elementos individuais a uma paisagem. E a literatura disponível nos mostra uma enormidade de aplicações possíveis para os produtos gerados e, acredita-se, existem ainda muitas questões a serem respondidas no que tange à qualidade dos produtos gerados e às técnicas para geração destes.

Todos os resultados aqui apresentados não são entendidos como conclusões fechadas de estudos que buscaram esgotar todas as possibilidades possíveis visando responder algum aspecto. Mas sim como etapas de um aprendizado obtido a partir de testes que nos possibilitaram conhecer as características da ferramenta, seu nível de qualidade e acurácia e algumas possibilidades de aplicações associadas aos projetos a que estamos envolvidos, principalmente de planejamento e gestão territorial e da paisagem de modo colaborativo. Assim, compreender as técnicas, os resultados possíveis, os benefícios e os limites dessa ferramenta contribui, sobretudo, para que possamos ter maior autonomia na geração de dados para apoiar a realização de oficinas de

Geodesign, seja na possibilidade de criação de uma base de dados atualizada que permite um bom embasamento para a criação dos Modelos de Representação, de Processo e de Avaliação, seja na criação de modelos tridimensionais representativos que auxiliam na visualização da informação espacial – a *Geovisualização* – que é uma parte crucial para a efetiva participação dos atores no processo de criação de propostas, negociação e tomada de decisão.

Nesse contexto, os resultados obtidos a partir das análises técnicas são considerados satisfatórios, pois atendem a essa demanda de modo técnico e economicamente viável e com qualidade atestada frente aos parâmetros de análise a que foram submetidos. Vale observar que as técnicas aqui testadas são reproduzíveis em qualquer situação em que haja permissão legal, condições meteorológicas favoráveis e segurança para voar o drone. Nesse sentido, se mostra uma possibilidade interessante para os gestores municipais, como no caso de BH, que podem assumir o protagonismo no processo de coleta de dados possibilitando uma maior autonomia na criação e atualização das bases de dados espaciais e agilizando as análises e ações de gestão territorial. Por parte de pesquisadores, a ferramenta pode contribuir na mesma direção, dando maior autonomia e agilidade na realização de estudos que requerem a utilização de dados espaciais como, por exemplo, em análises geomorfológicas, geológicas, de risco a movimentos de massa, hidrológicas, urbanas etc.

Entretanto, para nós, a compreensão da técnica e estabelecimento da metodologia de coleta de dados representa metade do caminho no percurso investigativo desta tese, pois nos interessa saber, ainda, como esses dados são compreendidos pelos usuários que os leem e, assim, o quanto esses dados podem contribuir efetivamente para o planejamento colaborativo. Não do ponto de vista do planejador construtor de mapas e análises, mas sim a partir da perspectiva do usuário, da pessoa do lugar que deve compreender o que esses dados representam e se eles conseguem atuar como estímulo para ativação das suas memórias e trazer à tona os seus conhecimentos para serem usados durante o processo criativo como suporte, mas com o mínimo de impedâncias, estimulando, agregando novas formas de ver o território e proporcionando novos *insights*.

Para dar conta dessas questões, partimos das observações das dificuldades dos participantes das oficinas de Geodesign e das observações de que os modelos tridimensionais são graficamente e morfologicamente realísticos. Assim, propõe-se a realização de testes destes modelos como recursos de geovisualização, uma vez que são representações do território mais realísticas e, portanto, de mais simples compreensão, além de permitirem ao usuário uma navegação livre, de

modo a escolher o ponto de visada de seu interesse. Essas possibilidades se mostram interessante, uma vez que podemos trazer para a sala de discussões de uma oficina de Geodesign as representações daquele território sob análise com a qualidade das representações associada à liberdade de navegação.

Reforça-se que para iniciar as investigações acerca da geovisualização, foi necessário conhecer os aspectos da coleta, processamento e apresentação de dados e, portanto, esta conexão entre os dois universos se fez necessária. Uma vez apropriados dos aspectos técnicos, pudemos testar com mais segurança as representações espaciais em duas e três dimensões, buscando favorecer a compreensão da informação espacial por meio da geovisualização e, com isso, dar suporte ao planejamento territorial colaborativo.

5. ESTUDOS DE CASO DE GEOVISUALIZAÇÃO

Este capítulo apresenta as experiências na utilização dos produtos gerados por drone como suporte à geovisualização em oficinas de Geodesign. De um modo geral os estudos foram realizados com base na observação do comportamento e dos comentários dos participantes das oficinas e buscam tratar dos aspectos qualitativos ligados aos ganhos em geovisualização. Os produtos gerados com auxílio do drone foram utilizados nas duas etapas da terceira iteração do framework proposto por Steinitz (2012): na etapa de preparação da oficina, a coleta de dados espaciais deu suporte à criação dos Modelos de Representação, de Processo e de Avaliação; já na realização da oficina foram usados modelos 3D e fotografias aéreas como recursos complementares de geovisualização.

Os estudos de caso consistem, basicamente, em testes de utilização desses dados para avaliar se os métodos de coleta de dados empregados e os produtos gerados proporcionam ganhos efetivos na preparação e condução das oficinas. Foram realizados testes em três oportunidades: a primeira na comunidade Dandara, em 2017, que contou com a participação das lideranças da comunidade e de técnicos da prefeitura municipal visando estabelecer acordos para o processo de regularização em curso. Este foi um estudo de caso que envolvia uma situação real e os dados foram utilizados para mediar a discussão entre gestores públicos e moradores locais. A segunda no bairro Conjunto Paulo VI, em 2019, que contou com a participação de crianças como meio de sensibilização da comunidade acerca das situações que estava ocorrendo no bairro. Esse estudo nos gerou a oportunidade de aplicar testes de raciocínio espacial com pessoas leigas em cartografia, nos permitindo avaliar os diferentes recursos usados na oficina. A terceira no bairro Confisco, em 2019, quando estudantes de graduação e pós-graduação e técnicos do governo municipal e estadual aplicaram a metodologia de Geodesign como método de planejamento territorial colaborativo. Esse estudo nos permitiu avaliar a qualidade dos recursos quando utilizados por uma equipe técnica qualificada, mas que desconhecia a área de estudo.

De um modo geral, os estudos visam estudar o grau de compreensão das informações espaciais por parte dos sujeitos envolvidos em processos de co-design, o que não nos apresenta como tarefa simples. Há uma enorme diversidade de participantes em todos os sentidos: idade, gênero, raça, condição social, grau de escolaridade, nível de interesse no processo, características comportamentais etc. A pluralidade de atores envolvidos é natural e desejável, pois entende-se que

a diversidade de olhares favorecerá a criação de ideias distintas, maximizando as possibilidades de se contemplar as demandas do local. Isso tem sido observado nas diversas experiências em oficinas de Geodesign apoiados e/ou conduzidos pela equipe do GEOPRO-EA e foram alguns dos motivadores para desenvolvimento dos estudos apresentados a seguir.

5.1. Experiência Dandara

A comunidade Dandara localiza-se na porção noroeste do município de Belo Horizonte e é uma das maiores e mais antigas do município, tendo completado 10 anos de existência em 2019. O nome é uma homenagem a uma das líderes do Quilombo dos Palmares que durante o século XVII lutou contra o regime escravocrata existente no período colonial brasileiro. A ocupação da área foi organizada por movimentos populares e na noite de 09 de abril de 2009 promoveram a instalação de 150 famílias num terreno de 40 mil metros quadrados considerado ocioso, improdutivo e sem funções sociais pelos ocupantes (OCUPAÇÃO DANDARA, 2012; BRIGADAS POPULARES, 2019). Em 2017 a comunidade já era habitada por 1.200 famílias, que totalizam mais de 4.000 pessoas (Figura 5.01).

O apoio dos movimentos sociais e de outros grupos profissionais e acadêmicos proporcionou que ocupação acontecesse de modo bastante ordenado já com um plano urbanístico elaborado coletivamente para ocupação, que levou em consideração as características topográficas e ambientais da área para proposição do loteamento (MONTEIRO et al., 2018).



Figura 5.01 – Comunidade Dandara. Foto do autor, ago/2017.

A partir da aprovação do Plano de Regularização Urbanística (PRU) no Orçamento Participativo da PBH 2015-2016, a área que até então era completamente desprovida de infraestrutura de saneamento básico e outros serviços públicos, começou a receber investimentos para regularização urbana e provimento de infraestrutura básica para a população.

O PRU é um modelo adotado para substituir os Planos Globais Específicos (PGE) cuja metodologia poderia demorar até 2 anos para conclusão de um estudo, o que inviabilizava o seu emprego em assentamentos irregulares, pois BH contabiliza cerca de 120 áreas classificadas como Áreas de Especial Interesse Social (AIES). Assim, a PBH iniciou o processo de levantamento das características do lugar e, para realização das discussões e acordos com a população local, convidou o GEOPRO-EA para apoio ao processo por meio do emprego da metodologia de Geodesign. A descrição detalhada deste processo pode ser encontrada Monteiro et al. (2018).

As experiências adquiridas na condução de oficinas anteriores nos evidenciavam a necessidade de utilização de recursos adicionais de geovisualização para dar suporte à compreensão dos Modelos de Avaliação. Isso, pois esses mapas exigem do leitor uma elevada capacidade de abstração para compreensão da informação e, ao mesmo tempo, percebia-se que a forma como os dados são apresentados nesses mapas geravam certo grau de desconfiança em parte dos participantes.

E, visando favorecer para que todos os participantes dessa oficina tivessem condições de compreensão da informação espacial em discussão, elaboramos um modelo 3D de toda a comunidade por meio de coleta de imagens aéreas com o drone. A expectativa era a de criar um elo de comunicação entre o conhecimento popular daqueles que vivem ali com o conhecimento especialista gerado a partir dos diagnósticos sintetizados em mapas.

Monteiro et al. (2018) apresentam outros cuidados que foram adotados para que a comunicação da informação espacial fosse precisa, como a realização de oficinas para explicação dos conteúdos dos mapas, a utilização de um WebMap com informações bases para geração dos Modelos de Avaliação e um treinamento prévio feito com os jovens para que esses pudessem dar suporte aos seus pais, conduzindo o mouse no momento da utilização dos softwares para desenho dos diagramas.

Considera-se que o envolvimento dos jovens foi uma escolha bastante assertiva, pois proporcionou a inserção deles num processo político e social importante para o desenvolvimento deste grupo, deu-se segurança para os pais e familiares na utilização dos sistemas e, para nós, reforçou a ideia do potencial da modelagem tridimensional com drone para favorecimento da geovisualização. Já no primeiro contato com os jovens ficou evidente a preferência pelos recursos digitais e a habilidade para com a utilização do modelo 3D e do WebMap, sobretudo por se constituírem em ferramentas mais interativas e dinâmicas. Este processo está ilustrado nas Figuras 5.02 e 5.03.



Figura 5.02 – Geodesign comunidade Dandara. Fonte: Monteiro et al. (2018)



Figura 5.03 – Treinamento dos jovens no uso das ferramentas digitais. Fonte: Monteiro et al. (2018).

Durante a realização das oficinas de Geodesign, percebeu-se que a maior parte das pessoas efetivamente utilizavam os dados coletados com o drone como meio para o diálogo e/ou como meio para orientar a criação de diagramas de propostas. Houve, de modo geral, uma preferência pelo uso do ortomosaico gerado pelo drone em função da sua alta resolução espacial e temporal (2,5cm de pixel e coletado poucas semanas antes da oficina) para o reconhecimento dos locais e orientação da vetorização das propostas. Já o modelo 3D era frequentemente utilizado como base para a compreensão e para o diálogo daquelas situações que envolviam as formas e a altimetria do terreno e/ou a altura das edificações.

É o caso, por exemplo, da discussão acerca da remoção das casas que foram construídas dentro da APP do rio e que demandaria uma realocação dessas pessoas que seriam removidas. A partir de um impasse sobre onde realocá-las, visto que a comunidade não dispunha de espaços livres suficientes para tal, houve uma proposta de verticalização em um trecho do bairro e a escolha do local mais adequado para isso foi tomada com base na análise do modelo 3D. Foi indicada uma porção mais baixa do terreno e todos presentes puderam compreender que esses edifícios propostos

não ultrapassariam em altura as casas e pequenos edifícios já existentes nos pontos mais altos do terreno, ou seja, não criaria grandes impactos visuais para toda a comunidade.

Considera-se esse exemplo significativo para a discussão acerca do papel da geovisualização em oficinas de Geodesign. Mapas como os de altimetria, altimetria de edificações, declividade, imagem aérea etc., podem ajudar os técnicos projetistas a definir os parâmetros possíveis e permitidos para se edificar. Entretanto, são informações demasiadamente técnicas para serem usadas nessas oficinas em que se encontra uma diversidade de atores sociais, muitas vezes imbuídos em tensões, e que precisam encontrar respostas rápidas para as questões levantadas, ou seja, precisam de representações que não criem impedâncias no processo de reconhecimento, avaliação e proposição, como alertado por Miller (2012).

Essa experiência na comunidade Dandara nos mostrou que as ferramentas dinâmicas e intuitivas de geovisualização favorecem à construção de modelos mentais, ao auto aprendizado e à construção de conhecimento. Enquanto os mapas temáticos dos sistemas quando utilizados sem o apoio de outros recursos de geovisualização interativa e dinâmica, pulam etapas do processo cognitivo relacionadas à abstração da informação espacial, não promovendo bases para que os sujeitos compreendam a informação de maneira efetiva. Tal observação vai de encontro com o pensamento de Masala e Pensa (2016, p. 51) que afirmam que “ao observar uma imagem, o sujeito recebe um *input* visual que ativa alguns pensamentos e raciocínios específicos, criando, assim, um conhecimento pessoal do objeto. Neste sentido, a exploração de imagens (...) ajuda o sujeito a realizar a aprendizagem por si mesmo”. Vale reforçar que os mapas de avaliação são indispensáveis para a realização das oficinas de geodesign, pois representam o diagnóstico feito pela equipe de coordenação do projeto e são as bases para cálculos dos impactos que as propostas feitas pelos participantes terão sobre a paisagem. Portanto, os mapas cumprem a função de síntese analítica, enquanto o modelo 3D atua como suporte à representação para uma melhor condição de visualização da paisagem analisada.

Durante o treinamento com os jovens e, quando necessário também durante as oficinas, foi solicitado aos participantes que fizessem o alinhamento do modelo 3D com os mapas usando o Norte como referência. Isso possibilitou que os participantes estabelecessem correspondência entre os dados, proporcionando que os dados dos Modelos de Avaliação, bem como os demais mapas disponíveis no WebMap, pudessem ser facilmente correlacionados com o modelo 3D. Isso fez com o que participantes utilizassem com mais segurança os recursos dinâmicos de visualização,

adquirindo rapidamente segurança para realizar livre navegação, ampliando ou reduzindo as escalas de representação, bem como alternando as perspectivas de acordo com os seus interesses.

Foi possível perceber que esse conjunto de recursos favoreceu com que todos os participantes tivessem condições iguais de compreensão da informação espacial que era base da discussão. Tal fato corrobora os pensamentos de Moura (2017) e Zyngier (2016) de que o uso desses recursos de geovisualização contribuem para uma participação cidadã com mais qualidade e mais efetiva nos debates para co-design, pois favorecem ao estabelecimento de um código compartilhado, na medida em que todos os atores conseguem interpretar a informação espacial em um patamar semelhante.

O principal aprendizado a partir dessa experiência foi o de que recursos dinâmicos para navegação, a visualização 3D e as imagens de alta resolução espacial e temporal contribuem efetivamente para facilitar a discussão em oficinas de Geodesign. Observa-se que esses benefícios estão relacionados a uma facilitação do pensamento espacial aos atores envolvidos, pois foi possível perceber uma melhor capacidade de compreensão das informações espaciais, melhor capacidade de abstração e um uso mais útil dos conteúdos apresentados, se comparado a experiências anteriores. Diante disso, nos motivamos a investigar como pessoas com pouco ou nenhum conhecimento em cartografia raciocinam espacialmente a partir do uso de mapas, imagens e modelos 3D visando compreender se e como esses recursos contribuem para o desenvolvimento de um raciocínio espacial. Para isso, foi realizado o estudo de caso no bairro Conjunto Paulo VI.

5.2. Experiência no Conjunto Paulo VI

A partir da experiência na utilização de modelos 3D para promoção da geovisualização com os membros da comunidade Dandara, buscou-se organizar um teste que possibilitasse mensurar os níveis de compreensão da informação espacial quando da utilização do modelo 3D em contraposição ao mapa impresso.

Foi então proposta a realização de uma oficina de Geodesign com os membros da comunidade do bairro Conjunto Paulo VI. Entretanto, em função de uma menor organização da comunidade do bairro, em comparação com a do Dandara, e da ausência de um fator motivador como o PRU, houve certa dificuldade na mobilização da população adulta para realização de tal

processo dentro do prazo viável. Assim, uma oficina de Geodesign foi feita com crianças do bairro com um objetivo educativo e motivacional, para que elas fossem inseridas no processo de planejamento, para que pudessem experimentar esse tipo de vivência e para que tratassem do assunto em casa com os pais e despertassem neles o interesse em participar das discussões futuras. Para nós, trabalhar com crianças representou uma boa oportunidade de lidar com um público curioso em aprender e a usar ferramentas digitais, com muita criatividade no fazer, com pouca ou nenhuma experiência em cartografia e com poucos vícios no olhar sobre o bairro. Para isso, foi realizada uma parceria com a Escola Municipal Sobral Pinto (EMSP) para promover a realização da oficina como uma das atividades do Programa Escola Aberta da PBH.

Antes de iniciar as atividades do Geodesign, as crianças foram convidadas a responder questões relacionadas ao bairro e que deveriam ser respondidas com base nos dados fornecidos e/ou no conhecimento pessoal delas.

A primeira questão formulada buscou identificar os níveis básicos de compreensão e abstração espacial. Foi solicitado às crianças que desenhassem na folha de respostas (mapa em branco) um “X” para indicar onde se encontra a casa delas, um “O” para indicar o local da EMSP e uma linha para indicar a localização e o sentido da Linha de Transmissão¹⁷ de energia existente no bairro. Essa questão buscou trabalhar apenas no nível da descrição da informação espacial, ou seja, sem envolver habilidades de análise ou inferência, mas somente de reconhecimento e compreensão da localização, conforme exposto por Ishikawa e Kastens (2005). É avaliada, também, a “correspondência representacional”, que refere à habilidade de reconhecer no mapa aquilo que se enxerga no mundo real. De acordo com a classificação dada por Merwe (2009), a localização de algo “em” algum lugar está ligada ao nível mais básico de abstração espacial que corresponde ao nível da “Continência”.

A segunda questão buscou trabalhar níveis um pouco mais avançados da abstração dos conceitos espaciais. Foi solicitado às crianças que, entendendo que um curso d’água irá fluir das partes mais altas do terreno em direção às partes mais baixas, desenhassem uma linha dupla para indicar a posição e o caminho provável do córrego que existe no bairro. De acordo com os níveis de abstração apontados por Merwe (2009), essa questão possibilita avaliar o nível “Origem-Destino”, que envolve a percepção de movimento, do ponto de partida, do caminho a seguir e do

¹⁷ A Linha de Transmissão é um local de atenção do bairro, pois tem sido ocupada irregularmente e vem sendo objeto de discussão entre moradores e órgãos públicos.

destino. Essa compreensão está ligada à “correspondência direcional”, como proposto por Ishikawa e Kastens (2005), que se relaciona à habilidade de interpretar direções e, com isso, estabelecer um alinhamento entre o azimute do mapa com o do mundo real. Além disso, para desenvolver essa avaliação ligada ao deslocamento, as crianças precisaram analisar os dados a que tiveram acesso e interpretar o mapa hipsométrico e/ou o modelo 3D.

Já a terceira e última questão buscou trabalhar os níveis mais avançados de abstração espacial. Foi solicitado às crianças que identificassem no mapa de resposta, por meio de hachuras, quais são os locais com maior risco à ocorrência de deslizamentos e que envolvam vítimas¹⁸. Foi informado às crianças que as áreas de risco consistiam em locais com habitações instaladas em encostas íngremes, ou seja, de alta declividade associadas à presença de edificações. A intenção era avaliar a capacidade delas de integrar diferentes informações provenientes de diferentes mapas, no caso do grupo que utilizava os mapas em papel. Essa questão exigiu que as crianças tivessem que analisar os dados e inferir consequências a partir da interação das informações (ISHIKAWA; KASTENS, 2005). Para esses autores, a solução desses problemas passa pelo estabelecimento da “correspondência configuracional”, que é a compreensão de que as relações entre as feições presentes no mapa correspondem às relações entre as correspondentes feições no mundo real. Os resultados são apresentados a seguir.

5.2.1. Análise das respostas dos grupos

O Grupo A, que trabalhou somente com os mapas impressos, apresentou facilidade para localizar a própria casa e todas as crianças encontraram e marcaram corretamente a EMSP no mapa de respostas. Não foram observadas dificuldades importantes dessas crianças para resolver essa questão. Entretanto, a maioria delas desenhou o traçado da linha de transmissão incorretamente, se equivocando quanto à orientação, sendo que somente uma delas marcou a linha de transmissão na posição e direção correta.

Durante a atividade pôde-se perceber que elas encontravam dificuldades de reconhecer na imagem alguma referência que as ajudassem a definir a resposta corretamente. Percebeu-se que

¹⁸ Essa questão foi formulada a fim de conscientizá-los dos riscos de se habitar regiões íngremes, pois semanas antes da realização do encontro ocorreu um deslizamento de terra com vítimas na região.

algumas crianças deste grupo demonstraram saber informações além do que estava no mapa, mas a perspectiva de visualização, bem como a impossibilidade de ampliar a imagem do mapa (zoom), não favoreceu com que elas reconhecessem os locais corretamente.

Em comparação com os outros grupos, percebe-se que isso diz respeito à rigidez imposta pela escala e orientação fixa do mapa impresso, inviabilizando a escolha de outras perspectivas de visualização ou mesmo a alteração da escala, para ampliação dos elementos no mapa. Isso exige uma maior capacidade de abstração espacial, de reconhecimento de padrões e formas dos objetos numa imagem com perspectiva azimutal, o que demanda capacidade de realizar rotação do mapa mentalmente para reconhecimento do território (ISHIKAWA; KASTENS, 2005).

Quanto à segunda questão, o Grupo A apresentou o pior desempenho dos grupos. Apenas uma criança representou corretamente os cursos d'água vertendo das partes altas para as partes baixas do terreno. Duas crianças desenharam córregos em posições incoerentes com as vertentes, como mostra a Figura 5.04. Notou-se, durante a realização da atividade, que esta questão exigia maior abstração e conhecimento cartográfico muito superior à primeira questão, pois demandava a interpretação das cores hipsométricas e a associação disso com a variação topográfica do terreno. Foi evidente que a ausência da informação tridimensional para este grupo dificultou o raciocínio espacial que, de fato, demanda maior treinamento para imaginar a configuração 3D do terreno a partir de uma visualização bidimensional.

Já na terceira questão, as crianças do Grupo A apresentaram dificuldades para realizar a integração entre dois mapas e responder à questão. Mesmo com o traçado das vias presente nos mapas para orientá-los, essa correlação entre dois mapas separados exige uma maior capacidade de memória, abstração e raciocínio espacial. Uma criança supôs área de risco em áreas planas, mostrando dificuldades para interpretação do mapa de declividades. A maioria das crianças deste grupo desenhou as áreas de risco somente no eixo das ruas, o que nos sugere, mais uma vez, que a escala fixa do mapa em papel não favoreceu à visualização das casas mais distantes do eixo da via. Pode-se dizer que as crianças não conseguiram estabelecer uma “correspondência configuracional” efetiva entre os elementos vistos nos mapas com os observados no mundo real.

A Figura 5.04 ilustra uma folha de respostas do Grupo A em que se pode observar o traçado correto da linha de transmissão, representado pela linha simples; o posicionamento correto da EMSP, representado pelo círculo vazado; as hachuras representando as áreas próximas aos locais onde fato foram identificados os riscos – neste caso o “X” próximo às hachuras representa a

residência da criança; as linhas duplas representando o traçado dos cursos d'água. Na porção sudeste da imagem, o curso d'água estaria subido a vertente.

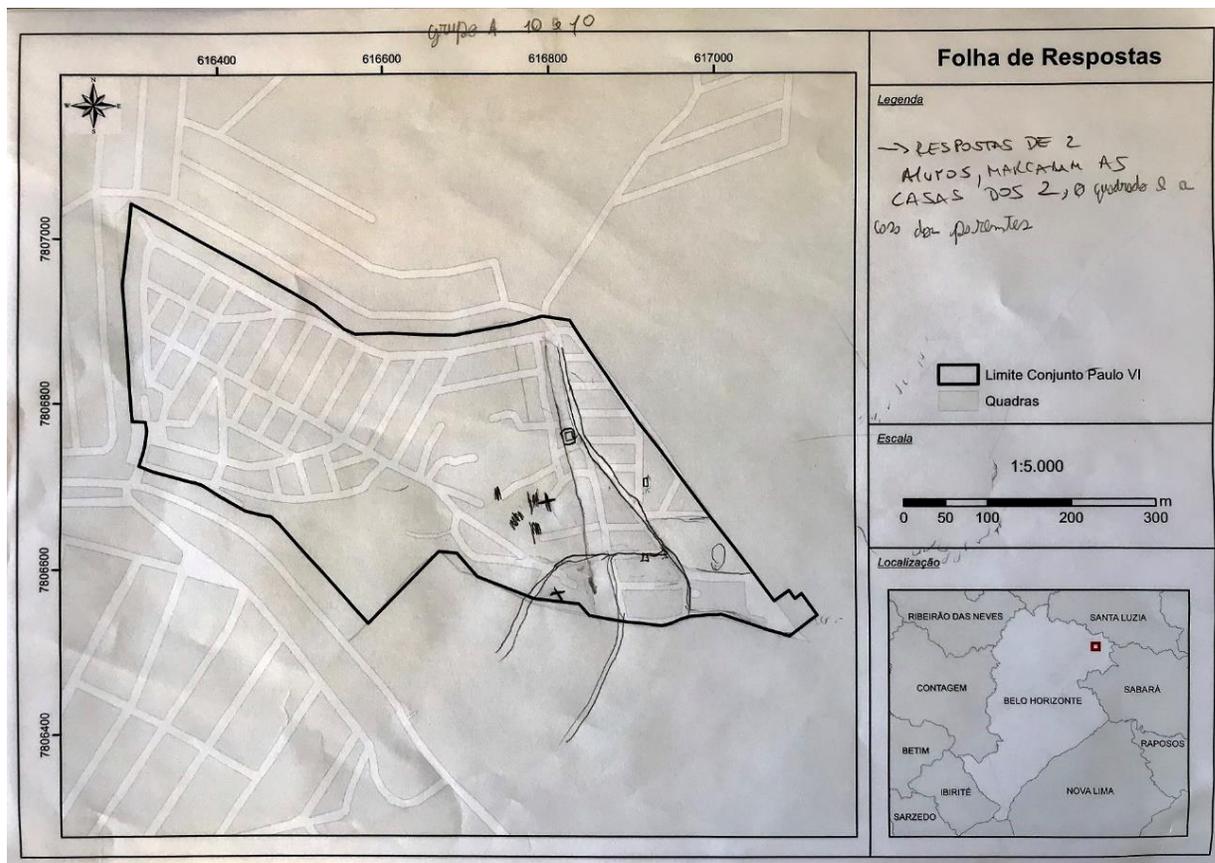


Figura 5.04 – Exemplo de respostas do Grupo A. Legenda: Círculo = EMSP; Linha Simples = Linha de Transmissão; Linha Dupla = Curso d'água

O Grupo B, que trabalhou com os mapas e com o modelo 3D, foi o grupo que apresentou o melhor desempenho, de modo geral. Na primeira questão, todas as crianças posicionaram corretamente a escola e não demonstraram dificuldades de localizar sua própria residência. A grande maioria das crianças acertou, também, a localização e orientação da linha de transmissão, o que nos indica que a livre movimentação do modelo e a possibilidade de ampliar e reduzir a imagem favorecem ao estabelecimento das correspondências representacionais e direcionais sugeridas por Ishikawa e Kastens (2005).

Foi interessante observar o entusiasmo das crianças ao utilizar o modelo 3D e como isso os motivaram a um processo investigativo mais atraente e, portanto, mais consistente. As crianças que estavam lidando apenas com os mapas impressos, embora estivessem motivadas a participar da

atividade, esgotavam mais rapidamente as opções de pesquisa no mapa se dispersando da investigação.

De modo geral, percebeu-se neste grupo que o modelo 3D proporcionou um trabalho no campo visual, ou seja, um reconhecimento facilitado das informações em função da proximidade com a realidade. E, a partir desse reconhecimento, as crianças usaram os mapas na busca de responder corretamente às questões, traçando correlações entre o modelo 3D e o mapa, por vezes contando o número de quadras existentes no mapa e no modelo, ou reconhecendo alguma forma ou cor específica identificada no modelo e no mapa com a ortomagem.

No que tange à questão 2, poucas crianças acertaram a posição exata do córrego, mas em geral todos mostraram ter compreendido a conformação do terreno e obedeceram à lógica de que o curso d'água flui do topo para a base da vertente, sendo que os desenhos, embora mostrassem rios em outros locais, obedeciam a essa premissa. A visão de topo e fundo de vale, acima, abaixo etc., foi amplamente facilitada pela utilização do modelo 3D e isso pode ser entendido como a capacidade de se estabelecer as projeções corporais no espaço analisado, como descrito por Merwe (2009).

No que tange à questão 3, as crianças deste grupo conseguiram identificar corretamente os locais com maior risco ao deslizamento em locais habitados e as suas respostas apresentaram melhor noção de escala, isto é, a dimensão e posição dos desenhos era bastante precisa. Em comparação com os demais grupos, entende-se que a qualidade dessas respostas não está atrelada somente à utilização do modelo 3D, mas na associação do modelo 3D com os mapas impressos. Isso, pois as respostas foram mais assertivas, também, que às das crianças do Grupo C. E, como a folha de resposta era um mapa 2D, percebeu-se que elas localizavam as respostas no modelo 3D, faziam a associação com os mapas impressos e depois transpunham-nas para a folha em branco. Com isso, percebeu-se que o uso de ambas as fontes de dados favoreceu a formação de um fluxo completo para a abstração dos dados espaciais, contribuindo para um bom desempenho do raciocínio espacial delas. O conhecimento delas acerca do mundo real foi aplicado de modo efetivo, sem perdas, na realização de desenhos assertivos no mapa com perspectiva azimutal, sendo que o modelo 3D atuou como ponte de ligação entre esses dois extremos. O uso da livre navegação, onde há a possibilidade de variar as perspectivas de visualização conforme as demandas do usuário, associada aos mapas favoreceu a uma melhor capacidade de compreensão dos dados espaciais contribuindo para o desenvolvimento do raciocínio espacial.

O ponto negativo identificado neste grupo foi o excesso de informações nas respostas, o que foi presente nas respostas de 5 das 10 crianças. Algumas dessas crianças desenharam muitos córregos fluindo por todo o bairro, bem como muitas áreas de risco. Supõe-se que isso seja fruto da excitação ou da possibilidade de enxergar “mais do que foi solicitado”, eliminando a generalização que é necessária na cartografia. A Figura 5.05 ilustra uma dessas respostas, em que a criança apresentou uma boa noção da direção do escoamento da água no terreno, marcando a maioria dos cursos d’água num sentido possível, entretanto a qualidade da visualização 3D parece tê-la tirado do foco de identificar o local onde existe um curso d’água no bairro.

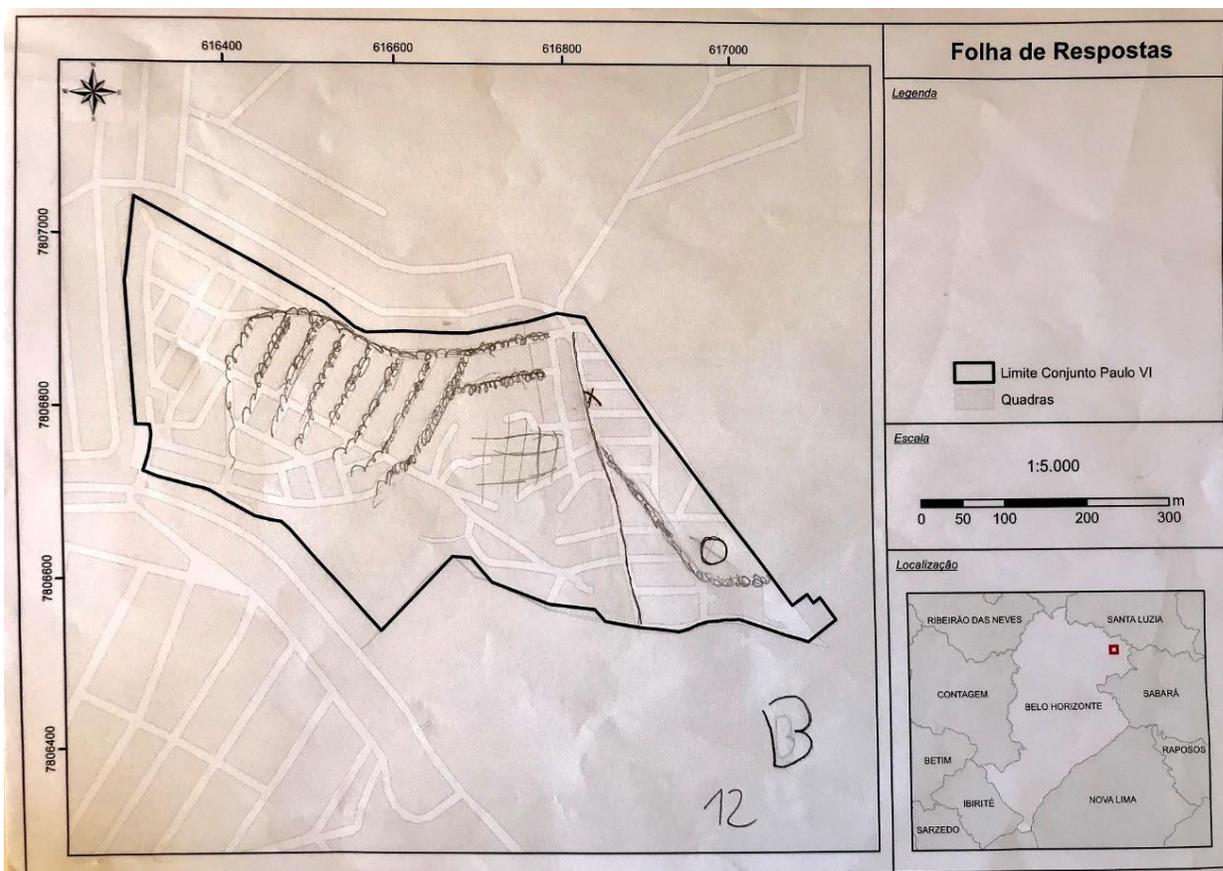


Figura 5.05 – Resultado do Grupo B. Legenda: Círculo vazado = EMSP; Linha Simples = Linha de transmissão; X = Residência da criança; Hachura = Áreas de risco; Linha em espiral = Cursos d’água

Embora essas observações sejam supositivas, é necessário ter cuidado com esse tipo de aspecto para que o detalhamento da informação não exceda ao necessário, gerando a situação do rigor cartográfico satirizada por Jorge Luís Borges¹⁹.

O Grupo C, que trabalhou somente com o modelo 3D, apresentou resultados interessantes no que tange à análise tridimensional requisitada, entretanto apresentou algumas dificuldades para operações de simples localização.

Acerca da primeira questão, uma criança posicionou a escola em local errado no mapa de respostas, mas percebeu-se durante o processo que outras crianças deste grupo relataram dificuldades de reconhecer, na folha de respostas, o local correspondente à escola e sua residência que já tinham sido identificadas no modelo 3D. Nesse sentido, o modelo 3D por si só não promoveu melhorias imediatas no processo de correspondência representacional, sendo que houve ainda um *gap* no fluxo da abstração do mundo real até o processo de expressão do raciocínio espacial em forma de representação cartográfica.

A maioria das crianças tiveram bons resultados no desenho da linha da transmissão, mostrando boa orientação dos dados. Durante a atividade, percebeu-se que este grupo demorou mais tempo do que o Grupo B para conseguir estabelecer a relação entre a posição do modelo 3D em relação à folha de respostas, tendo dificuldades para identificar o norte no modelo 3D. Isso, pois não havia um mapa impresso com a ortoimagem de fundo para facilitar a conversão da informação vista no modelo para o mapa de respostas.

Quanto à análise da posição do curso d'água duas crianças responderam corretamente a posição e direção do curso d'água enquanto o restante apresentou desenhos confusos, o que nos remete à mesma observação da questão anterior: há uma facilitação da visualização das informações no modelo, mas que por si só não habilita à análise e proposição em um ambiente 2D.

Quanto à análise das áreas de risco, duas crianças representaram-nas em porções planas do terreno, resultado que nos surpreendeu pois elas tiveram acesso ao modelo 3D. Além disso, as escalas dos desenhos das áreas de risco estão, assim como o Grupo A, limitadas ao eixo das vias. Essa situação reforça o entendimento já expresso para as duas questões anteriores, que indicam que a transferência direta do modelo 3D para a folha de respostas é um processo, também, incompleto

¹⁹ Neste conto, Jorge Luís Borges, satiriza o rigor da ciência ao retratar uma situação em que os cartógrafos do império, ao buscar a elaboração de um mapa absolutamente preciso, criam um mapa na escala de 1:1, que tinha exatamente o mesmo tamanho do império, perdendo, assim, toda sua utilidade. BORGES, Jorge Luís. Sobre o Rigor na Ciência. In *História Universal da Infância*. Trad. José Bento, Assírio e Alvim, 1982, 117 p.

não sendo percebida uma melhoria na capacidade de raciocinar espacialmente por meio da utilização do modelo 3D isoladamente. A Figura 5.06 ilustra uma folha de resposta do Grupo C.

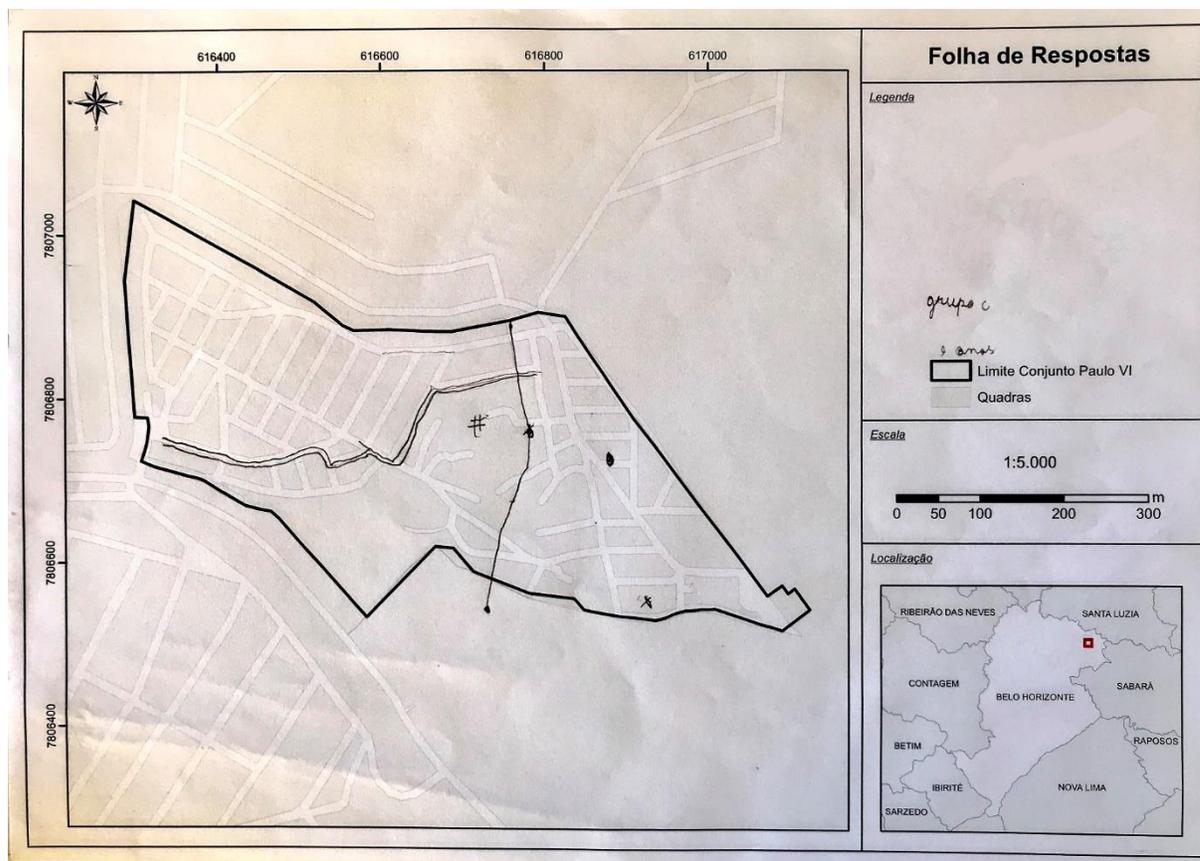


Figura 5.06 – Resultado Grupo C. Legenda: Círculo Preenchido = EMSP (em local errado); “X” = Residência da criança; Linha Simples = Linha de transmissão (em direção correta, mas em posição errada); Linha Dupla = Curso d’água (em direção coerente com o relevo e posição aproximada); Hachura = Área de risco em posição correta, mas em escala limitada

A observação dessa atividade com as crianças nos mostrou que somente o modelo 3D ou somente o mapa não favorecem a uma melhor compreensão da informação espacial, mas os resultados foram interessantes quando houve o uso concomitante desses recursos. Essa seria a melhor opção para que seja possível reconhecer, inicialmente, os elementos no modelo 3D, em função da representação realística, e com apoio dos mapas transportar a informação do 3D para o 2D. Acredita-se que essa configuração possa favorecer para que ambos os recursos sejam de fato úteis no suporte ao estabelecimento de códigos compartilhados para ações de planejamento e projeto.

É fato que este experimento trata de uma análise a partir de um grupo pequeno e muito particular, mas considera-se que as observações feitas durante a atividade corroboram as observações feitas na experiência na comunidade Dandara, bem como estão alinhadas com a bibliografia dedicada ao tema. Percebeu-se que o modelo 3D realístico com possibilidade de livre navegação foi vantajoso para o reconhecimento dos elementos conhecidos por eles (como as casas, a escola, a linha de transmissão), mas também para dar suporte a raciocínios sobre aquilo que ainda não era conhecido (como o escoamento d'água e a área de risco). Assim, as crianças puderam tanto usar os seus conhecimentos prévios colocando-os em prática quanto descobrir novas informações a partir da interação com o modelo. Entretanto, entende-se que a análise sintética em ambiente bidimensional é valiosa para trabalhos técnicos e projetivos e os mapas contribuíram para que as crianças pudessem elaborar respostas coerentes em termos de localização, direção e dimensão. Observou-se que o salto direto da representação 3D para um espaço em branco criou uma lacuna de informações que condicionou as respostas do grupo C.

Diante dessas observações, nos motivamos ainda a avaliar se esses recursos de geovisualização contribuem, também, para que pessoas com conhecimentos técnicos em cartografia, em projeto e afins, tenham uma melhor compreensão das informações espaciais tratadas, mesmo se sobre um local não conhecido para elas. Para isso, foi realizado o estudo de caso no bairro Confisco.

5.3. Experiência bairro Confisco

Buscando validar experiências anteriores, foi realizada uma oficina de Geodesign com alunos de graduação e pós-graduação da UFMG e com a participação de pessoas da administração pública de Belo Horizonte e de Contagem e da Secretaria Estadual de Meio Ambiente para discutir futuros alternativos para o assentamento ilegal do bairro Confisco e seu entorno imediato. A área de estudo está localizada na divisa de BH com Contagem, uma área periférica onde há falta de infraestrutura urbana, são encontradas zonas de risco à inundação e são presentes, também, áreas de assentamentos irregulares.

O objetivo inicial era realizar um estudo de caso com estudantes universitários e avaliar se seriam observados ganhos de geovisualização assim como foi percebido nos estudos de caso

anteriores e, com isso, avaliar se a metodologia de representação proposta nos estudos anteriores é favorável, também, para um público com conhecimento técnico (Figura 5.07).

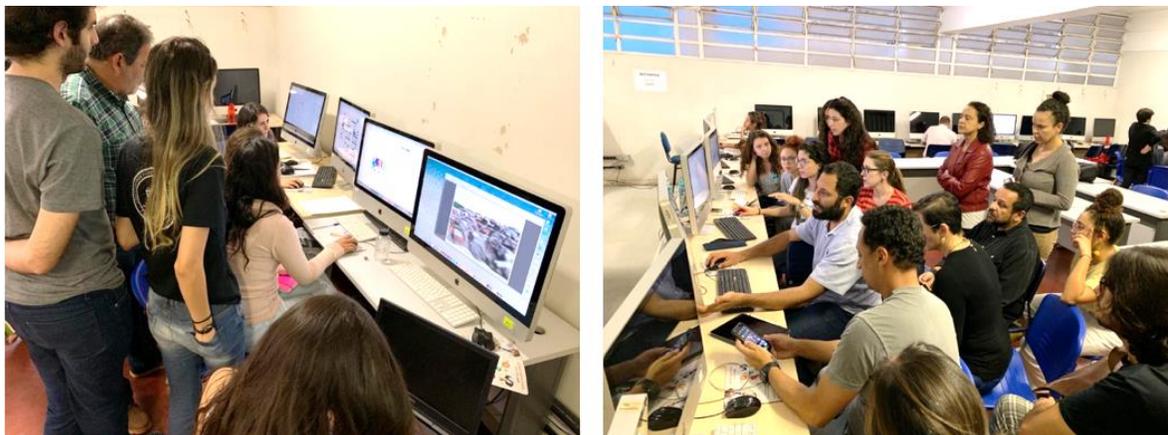


Figura 5.07 – Participantes na oficina de Geodesign composta por alunos da Universidade e representantes das prefeituras e da Secretaria Estadual de Meio Ambiente. Fonte: Magalhães e Moura (2020).

A diferença e a tarefa neste experimento acadêmico era trabalhar com pessoas que não conhecem a área, mas sabem usar ferramentas digitais, uma situação diversa daquela vivenciada nas oficinas nos assentamentos ilegais, quando trabalhamos com pessoas que conhecem a área, mas não têm habilidade e conhecimento para usar ferramentas digitais ou representação cartográfica.

Por se tratar de uma área limítrofe entre dois municípios, houve uma dificuldade inicial de construção da base de dados para criação dos Modelos de Representação, Processo e Avaliação, uma vez que as prefeituras não trabalham com uma base de dados integrada, mas sim com levantamentos individuais. Nesse sentido, a utilização do drone para a coleta da base de dados iniciais foi relevante, pois proporcionou a construção de uma base de dados unificada, levantada com a mesma escala e padrão de qualidade para toda a área. Esses dados foram os mesmos utilizados no estudo de caso da avaliação do PEC-PCD e consistiam em MDS, MDT e ortoimagem. Esses foram utilizados pela equipe como bases para digitalização e suporte para criação de alguns dos modelos de representação. Além disso, foi gerado o modelo 3D (Figura 5.08) para toda a região sob análise, bem como algumas fotografias aéreas em perspectiva oblíqua que, aliado aos dados anteriores, foram utilizados para o suporte à geovisualização durante a oficina.



Figura 5.08 – Modelo 3D do bairro de Confisco e arredores. Fonte: Elaborado pelo autor a partir do estudo de caso Confisco.

Uma vez que os participantes da oficina não conheciam a área de estudo, percebeu-se que os materiais complementares (fotos e modelo 3D) eram constantemente utilizados como meio de compreensão daquilo que ainda não se conhecia, bem como para ajudar a traduzir as informações técnicas contidas nos Modelos de Avaliação como informações úteis para dar suporte às proposições. Como a área apresenta um processo de urbanização mais consolidado e mais antigo do que os outros bairros analisados anteriormente, viu-se que os participantes recorriam, também, a informações disponíveis na internet, como nos aplicativos Google Earth e Google Street View, o que reforça a observação de que outros recursos de geovisualização para além dos Modelos de Avaliação são úteis na condução de oficinas de Geodesign. Isso vai de encontro às ideias de Flaxman (2010) quando afirma que há uma relação estreita entre a visualização e a participação e que os responsáveis pelo projeto devem escolher representações que sejam facilmente compreendidas por todos e que favoreçam a criatividade dos participantes. Esse processo é discutido também por outros autores, como Kwartler e Longo (2008), Steinitz (2012), Zyngier (2017), Moura, Ribeiro e Benevides (2018), dentre outros.

Vale reforçar que o uso do drone proporciona autonomia na coleta de dados, viabilizando a construção da base de dados espaciais para preparação da oficina e pode ser utilizado, também, para uma coleta de dados periódica visando a realização de análises multitemporais, por meio da repetição idêntica dos métodos de coleta de dados. Isso, pois é possível reutilizar o mesmo plano de voo, com a mesma aeronave e a mesma posição dos PC em solo para georreferenciar as novas

imagens, o que promoveria a geração de produtos com resoluções compatíveis para realização de análises multitemporais.

As observações feitas durante a realização desta oficina nos mostraram que a utilização desses recursos complementares de geovisualização contribui não apenas para que o leigo em cartografia seja incluído no processo de discussão. Mas auxilia, também, que especialistas reconheçam o território de forma mais eficaz, com menos impedâncias, dando suporte à compreensão com maior clareza do conteúdo expresso nos Modelos de Avaliação. Nesse sentido, foram corroboradas as impressões obtidas nos estudos de caso anteriores e na literatura referenciada, o que se entende como uma validação da proposta de utilização de recursos adicionais de geovisualização como suporte à realização de oficinas de Geodesign. Reforça-se a relevância de utilizar recursos que promovam uma visualização dinâmica dos dados, que permitam uma livre navegação com possibilidade de alteração da perspectiva, de alteração da escala de representação (zoom) e com representações realísticas, isto é, de alta resolução e com informações atualizadas. O resultado observado foi uma melhor condição de diálogo, o que tende a favorecer à elaboração de um projeto final compactuado por todos os envolvidos no processo.

5.4. Considerações acerca das experiências

As observações feitas durante as oficinas de Geodesign retratadas nesta tese vão de encontro às observações que vêm sendo feitas pela equipe do GEOPRO-EA na condução de oficinas de Geodesign no Brasil nos últimos 5 anos. Tem sido percebida a necessidade de realização de alguns ajustes no framework proposto por Steinitz (2012) para uma melhor adaptação à cultura brasileira, sobretudo no que diz respeito ao suporte à visualização durante as oficinas. Vê-se na prática que alguns participantes demandam fortemente recursos adicionais de geovisualização, seja por descrença ou desconfiança nos Modelos de Avaliação, seja por dificuldade de compreensão da informação retratada nesses modelos, seja por interesse em enxergar o dado a partir de outras perspectivas, seja por desconhecimento da área de estudo. Fato é que a utilização de recursos complementares para geovisualização tem contribuído para a condução de oficinas de modo mais harmônico, favorecendo que todos os participantes estejam envolvidos de modo ativo em todas as etapas da discussão.

Assim, a utilização do drone como recurso geotecnológico de suporte ao Geodesign pode ajudar a suprir duas lacunas importantes que são comumente vistas nesse processo: a disponibilidade de dados espaciais, uma vez que não dispomos no Brasil de uma base de dados sistemática em grande escala, atualizada e comum a todos os municípios; e a representação dos dados de forma dinâmica e realística, uma vez que é necessário criar formas de representação para cada projeto a ser executado. Portanto, talvez a maior contribuição do uso do drone está na promoção de uma maior autonomia aos coordenadores do projeto (pesquisadores, entidades públicas etc.) na produção, gestão e apresentação dos dados espaciais, o que confere mais agilidade e segurança técnica para propor e realizar os estudos. Isso pode, inclusive, motivar à elaboração de novas propostas de estudo neste ramo, viabilizando, por exemplo, a realização de estudos em locais mais ermos onde há uma menor disponibilidade de dados espaciais e com grupos não habituados a lidar com tais tipos de informações. Ou mesmo, vê-se a possibilidade de se propor projetos continuados, com monitoramento temporal, por meio da replicação da metodologia de coleta e interação dos dados, o que pode trazer grandes benefícios para as comunidades a médio e longo prazo.

Reforça-se que a utilização dos drones não anula a relevância da utilização de mapas e recursos bidimensionais de visualização dos dados espaciais, sobretudo no que tange à geração e apresentação de análises espaciais e integração de diferentes camadas. Tal fato é evidenciado por Moura e Freitas (2020) quando apresentam uma plataforma WebGIS que permite a visualização e interação entre as diferentes camadas que compõem os modelos de avaliação, o que é, também, um recurso de apoio à realização das oficinas de Geodesign e contribui para que os atores envolvidos possam compreender de modo claro as variáveis que compuseram os modelos de avaliação.

Vale lembrar que a metodologia do Geodesign proporciona a interação de diferentes atores sociais e especialistas em projeto em curto espaço de tempo, produzindo resultados significativos para a gestão territorial e para as comunidades. Tal processo deve ser encorajado no país, visto a grave condição de desigualdade social e infraestrutural de grande parte das cidades brasileiras, buscando promover melhores condições de vida às populações.

Uma vez que as populações locais são as mais interessadas nos projetos, ficou claro que o investimento em recursos de geovisualização promove ganhos para que esses atores tenham melhores condições de participação, o que vai de encontro com a literatura referenciada. É relevante considerar que essa tecnologia pode nos ajudar a criar projetos menos arbitrários da

paisagem, pois o uso desses instrumentos geotecnológicos contribuiu para tornar mais efetiva a participação, ou seja, tornar mais democrático e acessível o processo de planejamento territorial. Isso está mais alinhado com as premissas contemporâneas para o planejamento territorial.

Destaca-se que no modelo 3D ocorre uma navegação imersiva, que favorece ao reconhecimento e à sensibilização. Enquanto os mapas contribuem para a realização da síntese, de modo analítico, sendo ideal o uso de ambos os recursos. Viu-se que a perspectiva oblíqua proporcionada pelo modelo 3D estabelece uma ponte entre a imersão (do corpo) e o distanciamento (do mapa), atuando como um elo de comunicação entre essas duas perspectivas de análise.

Essa compreensão nos levou a pensar que as fotografias aéreas também podem ser usadas como recursos de geovisualização para suporte ao planejamento, sobretudo para utilização em situações em que é inviável a construção e compartilhamento de modelos tridimensionais, como para a representação de grandes paisagens. Portanto, parte-se dos mesmos conceitos de geovisualização e utilização de perspectivas oblíquas, mas neste caso com imagens fixas que buscam retratar as características de paisagem.

Para dar conta disso, foi realizado um estudo de caso na região *Emilia-Romagna*, Itália, em que foram tomadas imagens aéreas com objetivo de representação das invariantes estruturais das Unidades de Paisagem definidas no PTPR dessa região.

6. ESTUDO DE CASO DE REPRESENTAÇÃO DE UNIDADES DE PAISAGEM

A partir das observações feitas nos estudos de caso anteriores nos motivamos a avaliar, ainda, o potencial das fotografias aéreas tomadas com perspectivas oblíquas para a representação de Unidades de Paisagem. Tem-se como ponto de partida a noção de que a perspectiva oblíqua permite integrar o aspecto imersivo da pessoa na paisagem, favorecendo o reconhecimento dos elementos, com o aspecto sintético dos mapas, favorecendo a análise e a tomada de decisão. Soma-se a isso a noção de que o conceito de paisagem na geografia está intrinsecamente ligado ao modo utilizado para representá-la, sejam croquis, sejam olhares, sejam imagens, sejam mapas, que permitem sua caracterização e descrição. Assim, este estudo de caso visa representar características notáveis de paisagens por meio de representações que favoreçam à sua leitura com o mínimo de impedâncias ao processo de compreensão, de imaginação e, assim, de proposição. Nesse sentido, busca-se a captura de fotografias aéreas tomadas com perspectiva oblíqua visando sintetizar a essência da paisagem representada na imagem gerada.

Acredita-se que esses testes podem nos ajudar a consolidar uma metodologia de representação das características notáveis de paisagens, o que pode ser usado como apoio ao planejamento territorial regional. É interesse nosso usar esses tipos de representações para dar suporte à realização de oficinas de Geodesign, bem como outros processos de discussão coletiva acerca da paisagem, no Brasil. Acredita-se, ainda, que esse tipo de recurso possa favorecer à participação de diferentes atores no processo de planejamento, tornando-o mais acessível ao público em geral e, conseqüentemente, mais eficaz.

Para isso, parte-se da experiência italiana, que se apoia na definição de Unidades de Paisagem como suporte ao o planejamento territorial regional, para avaliar o potencial de representação dessas paisagens por meio de fotografias aéreas. Uma vez que se trata de largas extensões territoriais, o trabalho de mapeamento e modelamento 3D como apresentado nos estudos anteriores é considerado inviável do ponto de vista de processamento computacional. Sobretudo no que se refere ao compartilhamento dos resultados com diferentes atores ligados ao processo de planejamento.

6.1. As Unidades de Paisagem da região *Emilia-Romagna*

O PTPR apresenta as UP como zonas definidas a partir das invariantes estruturais da paisagem. É um documento elaborado com uma abordagem principalmente técnica e que visa dar subsídio à criação de leis e regras para gerir a paisagem. Assim, as características das UP são descritas, basicamente, por meio de mapas e textos, o que dificulta a sua compreensão por parte de leitores que não conhecem os locais e/ou por aqueles sem experiência na leitura de mapas ou familiaridade com os termos técnicos para descrever as características da paisagem, como por exemplo os aspectos geológicos, geomorfológicos, bióticos etc.

Percebe-se uma maior atenção às imagens usadas para a representação dos âmbitos paisagísticos na publicação de um atlas em 2010, onde são apresentados os detalhes de cada um dos âmbitos por meio de textos, fotos, mapas e imagens de satélites (REGIONE EMILIA-ROMAGNA, 2010). Entretanto, este é ainda um documento com linguagem e imagens demasiadamente técnicos e, conseqüentemente, pode não ser acessível à população local que, porventura, se interesse em participar de discussões sobre o planejamento do local onde reside. Além disso, esse detalhamento mencionado não é feito para as UP que são foco da nossa análise, deixando mais evidente a carência de imagens para auxiliar na compreensão da informação que se busca retratar.

Como pode ser visto no mapa das UP que integra o PTPR, apresentado na Figura 2.18 (página 102), a região *Emilia-Romagna* é dividida fisiograficamente em 7 grandes áreas e, a partir dessa divisão, são consideradas as invariantes estruturais da paisagem que condicionam a divisão das 23 UP. As zonas fisiográficas são a faixa litorânea, as áreas alagadas que foram beneficiadas com sistemas de drenagens, as planícies não inundáveis, a planície de inundação do rio Pó, as colinas, as montanhas e a dorsal dos Apeninos.

Dessas, foram escolhidas 5 diferentes UP visando representar a diversidade paisagística da região *Emilia-Romagna*, são elas: 1) Costa Norte, 06) Benfeitorias bolonhesas, 13) Colina da Romanha centro setentrional, 18) Montanha Romanhola e 19) Montanha Bolonhesa (numeração conforme a Figura 2.18). Além de contemplar a maior parte da diversidade paisagística da região, essas unidades de paisagem apresentam, ainda, invariantes estruturais diversas entre si, o que possibilitou testar a tomada das imagens para uma gama diversa de situações.

6.1.1. Costa Norte

Localizada no extremo nordeste da região, na fronteira com a região *Veneto*, essa UP apresenta características ligadas às dinâmicas ambientais e socioeconômicas de regiões costeiras. No que tange ao meio físico, são mencionados os resquícios do sistema de dunas costeiras do delta do rio Pó, as cavidades e depressões com lagos costeiros de água salobra, os canais fluviais na margem sul dos rios Pó, Reno e Unidos, as praias em processo de reconstrução artificial (preenchimento com areia proveniente do fundo do mar) e uma ampla zona intertidal (ou entremarés)²⁰. Em relação ao meio biótico, se destacam a presença de refúgios com vegetação de várzeas, bosques resultantes de intervenções antrópicas como os pinhais costeiros de origens recentes e antigas, vegetação de restinga presentes em dunas e de interesse em conservação ambiental e elementos de fauna específicos de zonas salgadas e salobras do litoral, de zonas pantanosas e de zonas vegetadas da costa. Já no aspecto antrópico a UP apresenta pequenos povoados na zona costeira e próximos às fozes dos rios, onde são presentes, também, atividades de aquicultura e turísticas de média-baixa intensidade se comparada a outras regiões italianas. Há, ainda, um sistema portuário do tipo turístico-industrial e para a pesca onde há a presença de casas típicas de pescadores e, mais recentemente, percebe-se o crescimento de assentamentos dedicados ao turismo, como em Ravena e Ferrara (REGIONE EMILIA-ROMAGNA, 1993).

Dentre todas essas características, o PTPR destaca aquelas que são consideradas como invariantes estruturais da paisagem, que são o mar Adriático, os lagos e brejos costeiros com água salobra, o sistema de dunas costeiras, os resquícios de florestas de pinheiros e bosques costeiros, as fozes fluviais e as praias. Essas características são, portanto, aquelas que se busca representar nas fotos realizadas com o drone. A Figura 6.01 apresenta a localização e o campo de visada aproximado de cada uma das fotos e as Figuras de 6.02 a 6.05 apresentam as características principais desta UP.

²⁰ Faixa de areia da zona costeira que está submersa na maré alta e exposta na maré baixa. Devido às condições particulares de temporalidade de exposição à radiação solar, ao ar, à salinidade marinha, às águas doces pluviais, à ação mecânica das ondas, à variação de temperatura, dentre outros fatores, é comumente uma zona onde se desenvolvem organismos vivos particulares, por vezes raros e endêmicos.

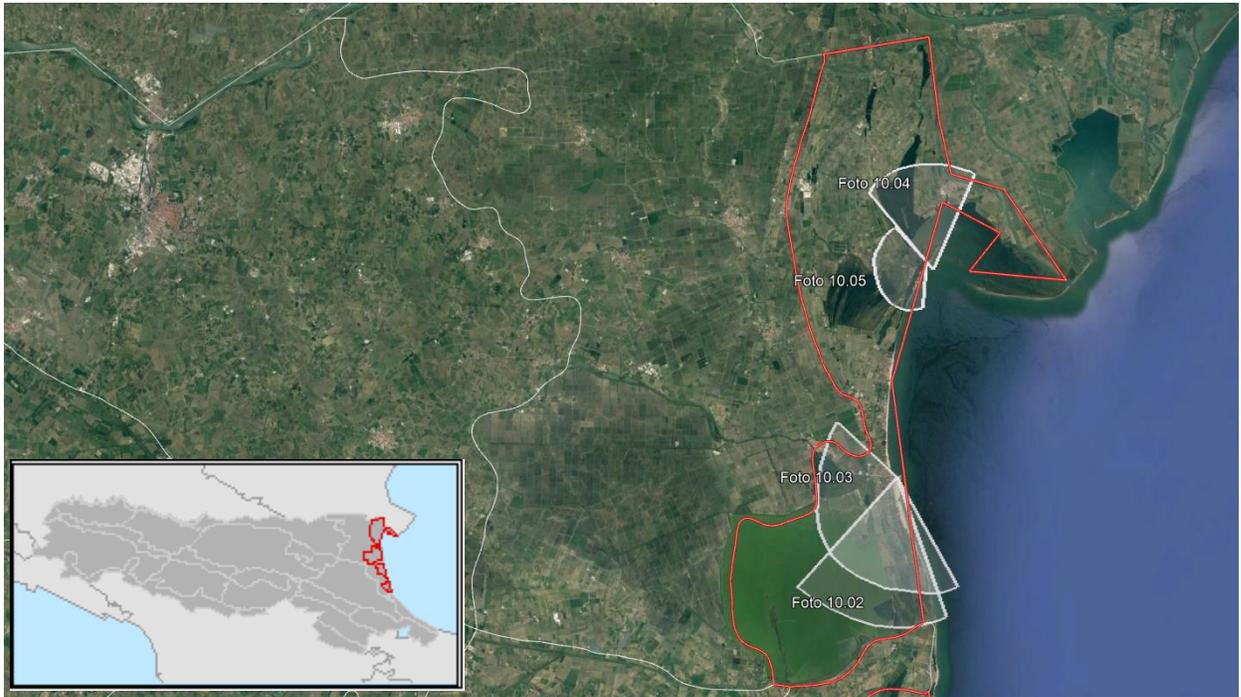


Figura 6.01 – Localização e campo de visada das fotos da UP Costa do Norte. Fonte: elaborado pelo autor.



Figura 6.02 – Praia em Lido di Spina. Foto do autor, out/2020, Itália.



Figura 6.03 – Porto Garibaldi e Lido di Spina. Foto do autor, out/2020, Itália.



Figura 6.04 – Foz do rio Pó di Volano (braço do delta do rio Pó). Foto do autor, out/2020, Itália.



Figura 6.05 – Lido di Volano, praia e braço do rio. Foto do autor, out/2020, Itália.

É interessante observar que essas imagens aéreas foram capazes de representar todas as características essenciais mencionadas no plano e favorecem, ao mesmo tempo, reconhecer os elementos visíveis ao nível do solo, na imersão na paisagem, e compreender a dimensão e a posição espacial no contexto da paisagem, a partir da visão aérea. Isso favorece, aos técnicos, o desenvolvimento da sensibilidade do olhar para o mundo real analisado, trazendo a visão técnica mais próxima à percepção de imersão na paisagem. Já para aqueles que estão imersos nessa paisagem, favorece ao desenvolvimento da capacidade de analisar espacialmente e de interagir os elementos conhecidos com os demais elementos da paisagem, ampliando a noção de escala, de posição e de relacionamentos espaciais.

As fotos 6.02 e 6.03 dão mais destaque aos pequenos núcleos urbanos, onde há uma dinâmica mais associada às atividades de pesca, portuárias e de turismo em função das praias e das fozes dos rios. Mas vê-se, ainda, os bosques de pinheiros e os lagos que são características marcantes dessa UP. Já as fotos 6.04 e 6.05 representam uma zona mais preservada da UP, na foz do rio Pó di Volano, onde se vê os resquícios de dunas já cobertas por vegetação densa que se desenvolve por quase toda a área.

Percebe-se que com poucas fotos foi possível representar as invariantes estruturais desta UP que são de fato visíveis em todas as partes visitadas e fotografadas. Observou-se em campo e por meio das fotos registradas que as características principais dessa paisagem se mantêm presentes, indicando que o diagnóstico realizado na década de 1990 ainda se mantém atual sob este aspecto.

6.1.2. Benfeitorias bolonhesas

A segunda UP analisa foi aquela nomeada como Benfeitorias bolonhesas, região que era originalmente alagada, com grande parte do terreno abaixo do nível do mar, onde foram feitas obras de drenagem visando tornar os terrenos agriculturáveis e edificáveis. Tais benfeitorias geraram uma paisagem fortemente alterada antropicamente, onde predominam as atividades agrícolas com alguns pequenos núcleos urbanizados espaçados uns dos outros. Nessa UP podem ser vistas algumas poucas e pequenas áreas de conservação que são como oásis para a fauna nativa e que preservam as características naturais originais, sendo ainda permanentemente alagadas.

Dentre as características predominantes desta paisagem, o PTPR apresenta que o meio físico é composto, basicamente, por pequenos vales retilíneos de água doce dotados de um notável volume d'água, que são os canais artificiais criados para o sistema de drenagem. Além disso, há uma topografia uniforme com uma única proeminência dos aterros dos rios onde, na maioria das vezes, são construídas estradas. O meio biótico é composto por fauna típica de várzeas, porém encontradas principalmente em áreas cultivadas em função dos poucos oásis de vegetação nativa que são localizados em várzeas ou em bosques de planícies. Uma vez que se consiste em uma área extremamente alterada, as invariantes paisagísticas definidas no PTPR são também relacionadas às benfeitorias antrópicas, são elas: os aterros e os vales retilíneos de água doce (REGIONE EMILIA-ROMAGNA, 1993).

A Figura 6.06 apresenta a posição e campo de visada aproximado das fotografias aéreas e as Figuras 6.07 a 6.09 apresentam as características principais dessa UP.

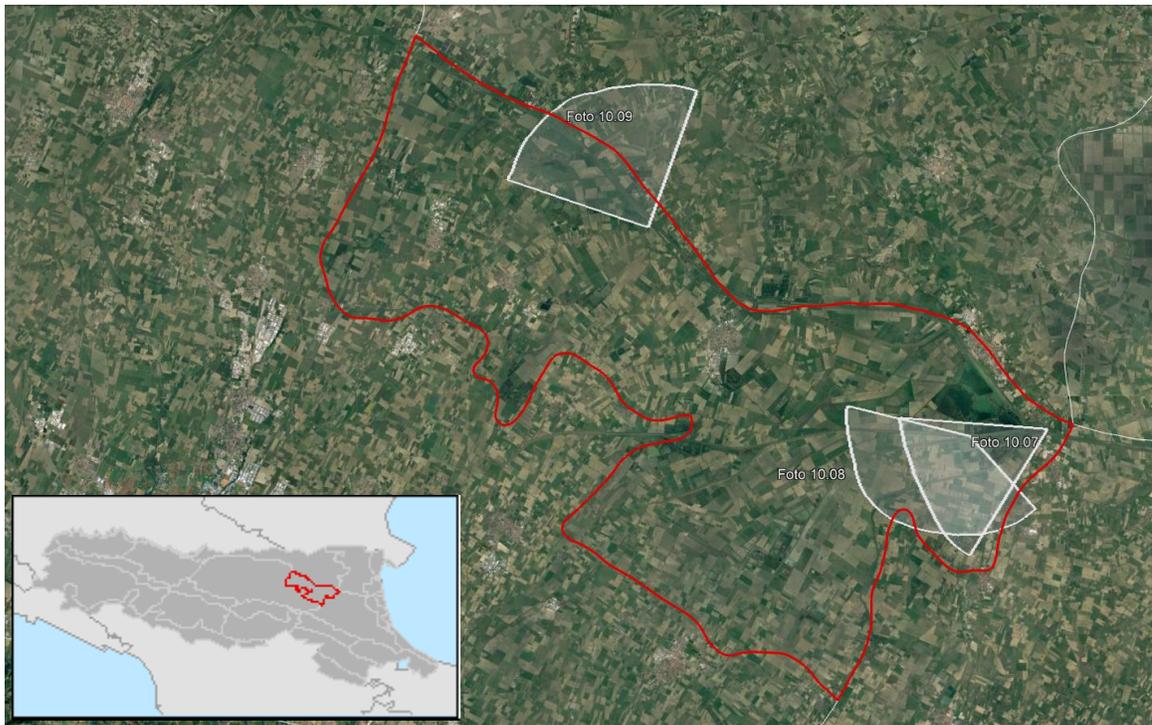


Figura 6.06 – Posição e campo de visada das fotos aéreas. Fonte: Google Earth. Elaborado pelo autor.



Figura 6.07 – Canais retilíneos, estrada em aterro, campos agricultáveis e oásis de conservação. Foto do autor, out/2020, Itália.



Figura 6.08 – Oásis de conservação, campos agricultáveis, canal retilíneo acompanhado de estrada em aterro e canal seco próximos a San Biagio. Foto do autor, out/2020, Itália



Figura 6.09 – Oásis de conservação, canal retilíneo, estrada em aterro e campos agricultáveis. Foto do autor, out/2020, Itália.

É interessante observar como essas invariantes paisagísticas representam a incorporação do conceito de paisagem cultural no modo italiano de analisar e gerir as paisagens. Vê-se que os produtos das atividades antrópicas são considerados como manifestações culturais da sociedade e que não somente os elementos históricos individuais ou as belas paisagens naturais são reconhecidos como elementos caracterizantes de uma paisagem, assim como explicado por Monti (2020). Neste caso, se assume que a paisagem é produto da relação do homem com o meio e a manutenção dessas relações é peça imprescindível para manutenção da qualidade de vida, por meio da perpetuação das atividades produtivas e culturais.

Por se tratar somente de duas invariantes estruturais, as imagens aéreas puderam facilmente representar essas características principais da paisagem, sendo possível reconhecer com clareza os

aterros e os canais retilíneos. Mas as imagens representam, também, elementos além das invariantes estruturais, mostrando que é uma paisagem agrícola intercalada por oásis de preservação espaçados. É uma paisagem ao mesmo tempo peculiar, pois foi completamente transformada pela ação humana, e monótona, por ter atividades econômicas e geomorfologia muito homogênea. Assim, a análise das fotos permite dizer que esses elementos agrícolas e os oásis de preservação poderiam ser considerados, também, como invariantes estruturais da paisagem, ou mesmo que esses dois elementos podem ser considerados para as discussões acerca dos objetivos de qualidade paisagística.

Vale mencionar que várias UP vizinhas a esta são, também, classificadas com zonas de benfeitorias, havendo uma pequena variação entre elas e mudando o nome de acordo com a região que se insere, como pode ser visto na Figura 2.18 (página 102). Isso pôde ser visto na Foto 6.09 que representa áreas além dos limites dessa UP, já na UP 05 – Benfeitorias do Leste, que possui características geomorfológicas e de uso antrópico iguais.

Por fim, se observa que as características indicadas no PTPR são ainda presentes nessa UP, não havendo grandes transformações no período da publicação do documento aos dias atuais.

6.1.3. Colina da Romanha centro setentrional

Localizada a leste da cidade de Bolonha está a terceira UP analisada, nomeada como Colina da Romanha centro setentrional. É uma zona onde predomina, também, as atividades agrícolas (84% do território) e com pequenos núcleos urbanos espaçados. Entretanto, é uma zona de características geológicas e geomorfológicas diversas daquelas anteriores, sendo um ambiente predominantemente cárstico onde podem ser encontrados o fenômeno das calanques, veios de gesso, falésias calcárias, dentre outros. Há, ainda, a ocorrência de fenômenos sísmicos e são mencionadas restrições hidrogeológicas que condicionam os métodos de abastecimento de água. A fauna e a flora são típicas de ambientes cársticos, entretanto, em função do alto grau de alteração da paisagem natural são mencionados avistamentos nas zonas de cultivos agrícolas. Dos aspectos antrópicos, o PTPR destaca a presença de burgos e castelos construídos em meados do século XIV, período do Renascimento, sob forte influência toscana. Os demais assentamentos mais recentes são localizados, principalmente, nos fundos de vale (REGIONE EMILIA-ROMAGNA, 1993).

Diante de tais aspectos gerais, o PTPR define as invariantes estruturais da paisagem, que são as formações gessosas, as calanques e a cultura das oliveiras. A Figura 6.10 apresenta a posição e o campo de visada aproximado para cada fotografia aérea apresentada e as Figuras 6.11 a 6.13 apresentam as características principais desta UP.

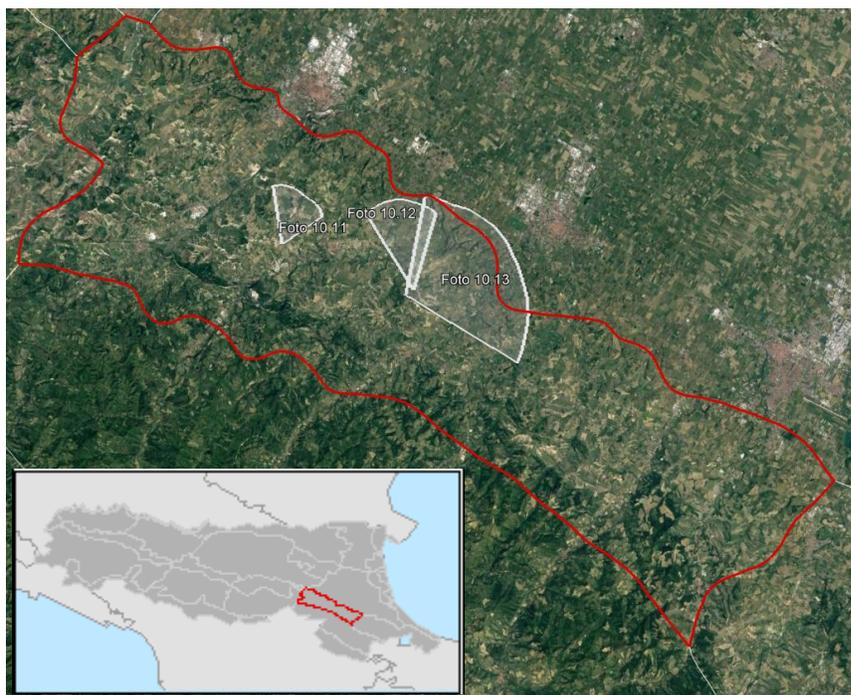


Figura 6.10 – Posição e campo de visada das fotos da UP. Fonte: Elaborado pelo autor.



Figura 6.11 – Cultivo de oliveiras e de uvas e calanques. Foto do autor, out/2020, Itália.



Figura 6.12 – Cultivo agrícolas e calanques. Foto do autor, out/2020, Itália.



Figura 6.13 – Formações gessosas, cultivo uvas e oliveiras e calanques. Foto do autor, out/2020, Itália.

Observa-se nas imagens que esta é uma zona de notável beleza paisagística, sobretudo pelas particularidades geomorfológicas presentes. E é interessante como o PTPR valoriza esses aspectos sem mencionar restrições de desenvolvimento dos cultivos agrícolas que se desenvolvem, aparentemente, em harmonia com os processos cársticos observados.

Em campo percebeu-se o predomínio de cultivo de uvas e não de oliveiras, como mencionara o plano. Embora seja uma mudança praticamente irrelevante no sentido do uso econômico da terra,

mantendo-se a atividade econômica e alterando, porém, somente o produto cultivado, destaca-se a possibilidade de uso do drone como um recurso para auxiliar na realização de trabalhos de campo visando a atualização das informações do plano regional, uma vez que as imagens permitem visualizar uma grande porção da paisagem.

Assim como nas UP apresentadas anteriormente, percebe-se como as atividades econômicas são vistas como expressão territorial da cultura local, sendo interessante como são desenvolvidas, aparentemente, em harmonia com as fragilidades geológicas e geomorfológicas da área. Isso, pois não foram vistos resquícios de degradação ambiental, assoreamento, voçorocamentos, ou processos erosivos acelerados gerados em função de atividades antrópicas. Seguramente as atividades antrópicas ali desenvolvidas causam impactos e danos ambientais, mas percebe-se também que o manejo da terra é feito de maneira a minimizar esses efeitos.

Em campo foi possível observar a existência de roteiros turísticos dedicados à visita aos campos de cultivo de uvas e aos estabelecimentos produtores de vinho, sendo mais um exemplo de como essas atividades são integradas à paisagem, são valorizadas e são reconhecidas como elementos a serem vistos, mantidos e que servem de referência para o desenvolvimento local.

6.1.4. Montanha romanhola

Dentre as UP analisadas, a Montanha romanhola é aquela que apresenta a maior proporção de seu território preservado, sendo aproximadamente 36% composto por vegetação arbórea. Tal fato é devido, principalmente, à morfologia do terreno que em grande parte é composto por vertentes íngremes inadequadas para desenvolvimento de atividades antrópicas. Essas características, associadas aos tipos de rochas e solos presentes, favorecem à formação de deslizamentos e quedas de blocos, que são os tipos de processos erosivos presentes. Do ponto de vista do meio biótico, observam-se intervenções antrópicas por meio de cultivos agrícolas e introdução de espécies não autóctones nos bosques, como os carvalhos. São observados processos de reflorestamento e a fauna, de modo geral, é observada nas áreas mais preservadas. Já do ponto de vista antrópico, são presentes assentamentos do período romano com sistema viário seguindo o traçado original, criado neste período. São presentes alguns monumentos como igrejas históricas e

grande parte dos assentamentos está localizado nos fundos de vale (REGIONE EMILIA-ROMAGNA, 1993).

Uma vez que as características antrópicas nesta paisagem são menos marcantes que nas anteriores, as invariantes estruturais definidas pelo PTPR são baseadas no meio natural, sendo elas a orografia típica das formações areníticas-marmorosas, a ampla cobertura vegetal e as nascentes de rios. Vê-se neste caso como os aspectos fisiográficos condicionam o uso da paisagem, gerando áreas menos povoadas, menos exploradas antropicamente e, conseqüentemente, mais preservadas ambientalmente. A Figura 6.14 apresenta os locais onde foram tomadas as imagens aéreas bem como o campo de visada aproximado. A Figuras 6.15 a 6.17 apresentam as características principais dessa UP.

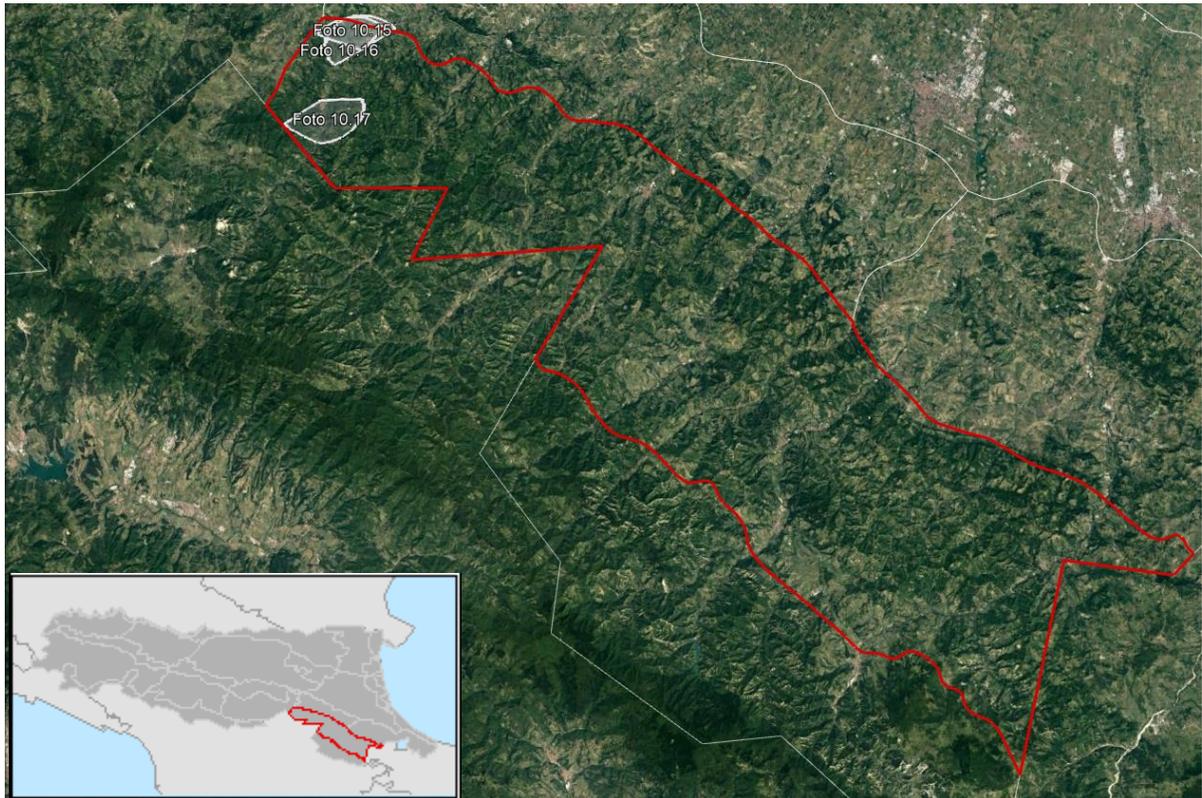


Figura 6.14 – Localização e campo de visada das fotos. Fonte: Elaborado pelo autor.



Figura 6.15 – Afloramentos rochosos, orografia do terreno, vegetação densa, afluentes e rio principal. Fotos do autor, out/2020, Itália.



Figura 6.16 – Vale do rio principal com assentamentos e cultivos agrícolas, afloramentos rochosos, orografia do terreno, vegetação densa. Fotos do autor, out/2020, Itália.



Figura 6.17 – Vegetação densa, cidade no fundo de vale e vegetação densa. Fotos do autor, out/2020, Itália.

As características desta paisagem são marcantes, muito bem definidas, e sua representação nas imagens aéreas é bastante clara, permitindo perceber a morfologia do terreno, associada à uma cobertura vegetal mais densa e a presença de assentamentos humanos nos fundos de vale, onde se desenvolvem, também, as atividades agrícolas. Nas fortes quebras de relevo são vistos os afloramentos rochosos, muitas vezes expostos em função da queda de blocos ou escorregamentos.

É possível observar através das fotos, também, diversas marcas de dissecção das colinas por meio do escoamento de água das nascentes que formam pequenos afluentes do curso d'água principal.

Assim como em outras UP já apresentadas, as fotos permitem visualizar além das invariantes estruturais da paisagem, permitindo compreender bem o contexto a que estão inseridas. É visível a relevância dos vales mais abertos dos rios principais, onde se desenvolvem os pequenos núcleos urbanos e as atividades de cultivo agrícola, como alternativa mais viável para essas atividades em comparação aos terrenos mais íngremes nas zonas montanhosas onde predomina a vegetação densa.

6.1.5. Montanha bolonhesa

A última UP analisada foi a Montanha bolonhesa que, assim como a UP anterior, por apresentar terrenos mais elevados e com vertentes íngremes possui, também, uma maior superfície de vegetação arbórea, em relação às primeiras. Neste caso, porém, as formações argilosas proporcionam alta erodibilidade do solo e levaram à formação de colinas mais suaves. São observados, ainda, relevos tabulares calcários ou de arenito na região dos Apeninos onde se encontram escarpas mais estáveis. Além disso, existem zonas com presença de rochas calcárias onde há a formação de processos cársticos. Logo, percebe-se uma maior diversidade geológica que levou à formação de formas de relevos e processos erosivos diversificados.

A vegetação florestal está, também, associada às áreas de encostas mais íngremes, onde naturalmente se concentra a fauna nativa remanescente. Do ponto de vista antrópico, são desenvolvidas as atividades agrícolas nas colinas com declividade mais suave. Além disso, são encontrados sistemas viários pré-romanos e medievais, mosteiros, moinhos e secadores de castanhas, bacias artificiais, extensas obras rodoviárias e ferroviárias e de infraestruturas para povoamento no vale dos rios Reno e Setta (mais recentes) e assentamentos históricos de tipologias particulares, como casa-torre e torres de defesa (REGIONE EMILIA-ROMAGNA, 1993).

Dentre esse conjunto de características as invariantes estruturais definidas são o sistema viário desenvolvido sobre a crista das colinas, os extensos fenômenos erosivos e as casas-torre feitas de pedras areníticas. A Figura 6.18 apresenta os locais e o campo de visada aproximado para as fotos tomadas e as Figuras 6.19 a 6.22 apresentam as características principais dessa UP.

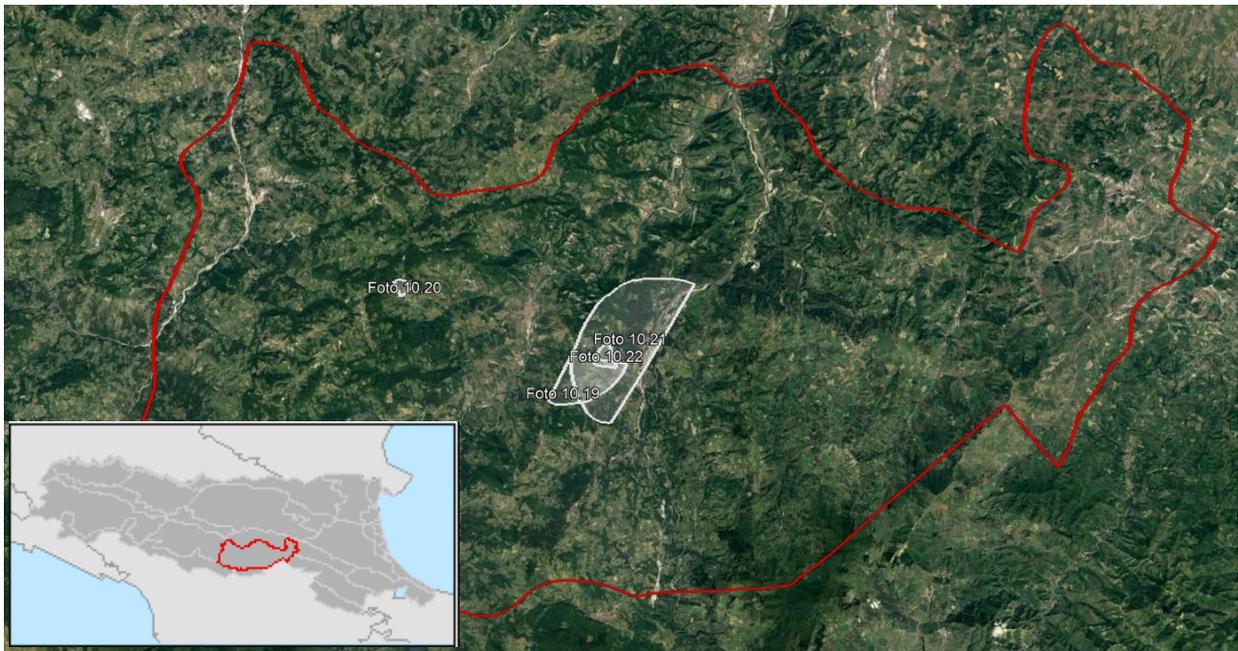


Figura 6.18 – Localização e campo de visada das fotos tomadas. Fonte: Elaborado pelo autor.



Figura 6.19 – Sistema viário e assentamentos no topo das colinas, processos erosivos, relevo dissecado e vegetação densa. Foto do autor, out/2020, Itália.



Figura 6.20 – Casa-Torre em pedra arenítica (*Rocca* ou fortaleza), processos erosivos, assentamento no topo da colina. Foto do autor, out/2020, Itália.



Figura 6.21 – Vale aberto com infraestrutura rodoferroviária recente. Foto do autor, out/2020, Itália.



Figura 6.22 – Processo erosivo, sistema viário na crista da colina, casas-torre em pedra arenítica (ao fundo), vegetação densa e relevo dissecado. Foto do autor, out/2020, Itália.

Observa-se, mais uma vez, que as atividades antrópicas são incluídas como aspectos essenciais da paisagem, sendo, neste caso, principalmente elementos antigos de valor histórico. Além disso, as imagens permitiram registrar, ainda, características mais recentes dessa paisagem que, para definições de objetivos de qualidade paisagística, podem ser usadas para se compreender dinâmicas atuais dessa paisagem e não apenas os elementos mais antigos que se perpetuam.

Interessante observar que esta é uma UP mais diversa do que as anteriores, tanto do ponto de vista antrópico que mescla elementos antigos com recentes, quanto do geológico/geomorfológico com variações de rochas estáveis e friáveis, vales abertos e encaixados. Essa diversidade é, naturalmente, mais complexa de ser representada em apenas uma imagem, mas acredita-se que o grupo de imagens e com o uso da foto panorâmica foi possível representar a essência dessa paisagem. A Figura 6.22, por exemplo, permite observar relevos mais elevados de rochas estáveis ao fundo, um grande vale aberto no centro da imagem e à esquerda um processo erosivo acelerado em uma das encostas das colinas mais suaves. No fundo do vale se observam a rodovia e a ferrovia, bem como assentamentos urbanos mais recentes. À esquerda se pode observar

pequenas estradas que seguem a linha de cumeeada das colinas, que respeitam os traçados antigos do período romano. Espalhado na imagem, praticamente invisível na escala apresentada, existem diversas casas-torre de pedra arenítica que são presentes por toda essa UP.

6.2. Considerações acerca dos estudos

O conceito de paisagem, na geografia, talvez seja aquele que sofra maior influência do método que se utiliza para descrevê-la e, conseqüentemente, compreendê-la. Diferente do território, em que são analisadas as relações de poder; de lugar, que considera as relações de pertencimento; e de região, que leva em conta redes e fluxos; a paisagem se mostra como algo materializado no espaço geográfico com limites espaço-temporais, em geral, bem definidos o que possibilita e, ao mesmo tempo, requer uma representação imagética, seja em forma de mapas, de croquis, de imagens aéreas etc.

Assim, um processo de planejamento e gestão que adote a escala e a noção de paisagem como referência pode e deve adotar recursos imagéticos para auxiliar na etapa de diagnóstico e levantamento de dados, mas, sobretudo, na etapa de comunicação da informação final. Nesse sentido, os estudos apresentados mostram resultados relevantes, pois as imagens aéreas permitiram enxergar aquilo que estava descrito somente em forma de texto no PTPR. Logo, a ferramenta drone se mostra como aliada para essa atividade, sobretudo em função da sua praticidade e flexibilidade de uso. Isso pode ser útil, por exemplo, para o processo de revisão dos PTPR que congregam o conhecimento das UP com a análise das dinâmicas territoriais recentes para discutir e definir os âmbitos de paisagem que são áreas que devem confluir objetivos de qualidade paisagística consonantes.

Vale reforçar que a definição das UP parte da caracterização e classificação das condições ambientais da paisagem e possibilitam o reconhecimento dos potenciais e recursos existentes. A continuidade do processo, feita pela gestão italiana, levou à definição dos Âmbitos de Paisagem que, por sua vez, são definidos com base nos objetivos, usos e vocações das paisagens analisadas. Nesse sentido, os AP são propositivos e são pautados não somente nas características da paisagem, mas, também, nas suas inter e intra relações e, portanto, expressam as intenções projetuais para cada uma das áreas delimitadas, ou seja, configura-se num planejamento estratégico da paisagem.

Assim sendo, acredita-se que para a replicação dos estudos no Brasil, deve-se iniciar com a delimitação e caracterização das UP para, num segundo momento, propor a definição dos objetivos de qualidade paisagística e consequente delimitação dos AP. Para isso, o processo de representação das UP deve ter por objetivo possibilitar que a sociedade se reconheça nas UP definidas, ou seja, aproximar as macodelimitações baseadas nos aspectos ambientais e das invariantes da paisagem com o olhar do cidadão que a vive cotidianamente. Isso poderá contribuir para uma maior acessibilidade às informações referentes à paisagem por parte dos diferentes atores interessados no processo de planejamento, tornando o processo mais democrático.

Vale lembrar que a forma como são representadas essas paisagens pode condicionar (facilitando ou criando impedâncias) a compreensão da informação que se deseja tratar, como visto nos resultados dos estudos de caso apresentados no Capítulo 5. Destaca-se que o convite às pessoas do lugar para participarem dos processos de planejamento territorial é prática contemporânea, como se vê na metodologia de Geodesign e em várias outras, e acredita-se que esse seja um caminho possível para a preservação dos aspectos ambientais da paisagem aliada à manutenção e melhoria da qualidade de vida cotidiana das populações, como indicado na CEP (2000).

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A atual disponibilidade de recursos geotecnológicos nos motiva a pesquisar formas de utilização dessas ferramentas para o suporte ao planejamento territorial, visando dar maior agilidade, qualidade e acurácia aos processos, o que pode contribuir para melhores condições de trabalho para os técnicos e melhores condições de vida para as populações locais. De modo geral, as tecnologias têm avançado com velocidade superior ao que as pesquisas em geociências conseguem absorver, principalmente se considerarmos os hardwares disponíveis e, num segundo patamar, os softwares empregados. Isso tem gerado, talvez mais evidentemente na última década, uma demanda de realização de estudos científicos que busquem testar, compreender, aplicar e validar essas tecnologias, como meio de desenvolvimento das técnicas de trabalho e aprimoramento dos resultados.

No campo das ciências geográficas essa situação é evidente, como por exemplo no ramo do planejamento territorial, onde observa-se um robusto arcabouço teórico-conceitual para lidar com a complexidade das situações, mas que convive ainda com a existência de alguns grupos resistentes à utilização de tecnologias como meios para contribuir com esses processos. Isso é ilustrado na baixa quantidade de trabalhos de geografia que utilizaram a geotecnologia drone como recurso de suporte à análise espacial no Brasil. Acredita-se que este é um instrumento valioso para essa ciência, pois pode subsidiar uma infinidade de análises geográficas por meio da promoção de uma autonomia ao pesquisador/profissional na coleta de dados espaciais com satisfatória agilidade, acurácia, qualidade gráfica, praticidade e custo acessível.

Acredita-se, portanto, que uma das principais contribuições desta pesquisa de doutorado seja a apresentação de um amplo espectro de uso da ferramenta no campo das ciências geográficas, abrangendo desde a coleta de dados até o seu emprego como suporte ao planejamento territorial. Buscou-se contemplar diversas etapas do processo, partindo dos aspectos técnicos de coleta de dados em campo e processamento computacional, até a aplicação e o uso dos dados, como suporte ao planejamento territorial tanto por meio do Geodesign quanto das Unidades de Paisagem. Nos estudos apresentados, viu-se a possibilidade de uso da ferramenta para diferentes escalas o que permitiu dar suporte a diferentes análises, sendo adequável a uma ampla gama de situações.

Os estudos de caso mostraram como os drones podem ser empregados desde a escala micro, de um edifício, até a escala macro, de paisagem, e diferentes técnicas para se gerar dados espaciais

em 3D, além da possibilidade de tomadas de fotografias aéreas em diferentes perspectivas. Acredita-se que as experiências apresentadas podem servir de base para realização de estudos futuros semelhantes e, também, como inspiração para replicação dos métodos de coleta de dados visando atender outras demandas concernentes à ciência geográfica. Conhecendo a amplitude de aplicações possíveis no campo da geografia, o uso do drone poderia subsidiar, por exemplo, a modelagem 3D do terreno para análises geomorfológicas, ou a coleta de fotografias aéreas para avaliação e monitoramento de impactos ambientais, dentre várias outras possibilidades. Em suma, acredita-se que esta tese tem relevância para as geociências por contribuir para a difusão das técnicas, possibilidades, potenciais e limites desta ferramenta para este ramo da ciência. Sobretudo em função da lacuna identificada nas pesquisas acadêmicas que utilizaram drones, sendo ainda incipientes no campo das geociências.

Destaca-se a relevância identificada nos drones para o suporte à realização de análises espaciais (como recurso técnico para coleta de dados espaciais) e de avaliações espaciais (como suporte para geovisualização). Deve-se ter clareza de que as avaliações feitas aqui são relativas às situações confrontadas nesta pesquisa, não devendo ser interpretadas como regras gerais para todas as demais situações em que os drones serão usados para coleta de dados e criação de recursos de geovisualização. Isto posto, considera-se que o drone utilizado na pesquisa apresenta bom custo-benefício quando considerado o valor de investimento *versus* a praticidade e a agilidade de uso da ferramenta. Os dados aqui gerados atenderam as demandas a que lidamos nos processos de planejamento territorial, desde a escala micro até macro. A modelagem tridimensional do edifício isolado atendeu a um nível de qualidade satisfatório para a sua utilização em SIG 3D, de acordo com os parâmetros de referência utilizados, mas, sobretudo, a qualidade gráfica atendeu aos interesses de representação dos objetos territoriais como suporte à geovisualização. Sobre os MDS, viu-se que os modelos gerados por drone podem atingir uma qualidade geométrica semelhante aos modelos gerados por LiDAR aerotransportado, o que se considera como um resultado satisfatório para as situações testadas. Entretanto, viu-se limitações dos drones para modelamento em locais com presença de sombras, sendo que o usuário deve ter atenção ao tipo de aplicação e análise que busca dar a partir do dado, visando não incorrer em erros. É importante lembrar que a utilização de PC em solo é essencial para a geração de dados espaciais com melhor qualidade geométrica, e que se observou que o PEC-PCD é, ainda, um parâmetro de referência insuficiente para verificar os dados coletados por drone em função da alta resolução espacial das imagens geradas. Portanto,

recomenda-se a realização de novos estudos que busquem definir parâmetros para verificação de dados espaciais que sejam específicos para esses novos equipamentos, o contribuirá para um melhor controle de qualidade dos dados, dando maior segurança na sua utilização. Viu-se, ainda, que a integração de dados drone com LiDAR é possível e gerou resultados interessantes para avaliação das transformações temporais na área de estudo analisada e com os dados testados. Entretanto, foram observados muitos ruídos no resultado que exigem atenção e forte interação do usuário para realização de filtragens e aproveitamento da informação gerada. Outros estudos podem testar essa integração em dados LiDAR coletados com outras densidades de pontos, bem como o monitoramento multitemporal realizado por drone pode ser testado.

No que tange ao geodesign e à geovisualização, o uso do drone proporcionou ganhos no sentido da autonomia na coleta de dados espaciais e na produção de modelos 3D realísticos que contribuíram para dar suporte à visualização da informação espacial e à discussão nas oficinas de geodesign. Dentre os desafios enfrentados no uso dessas técnicas, destaca-se que para o compartilhamento dos modelos 3D são necessários hardwares e softwares capazes de processarem esses dados digitais com qualidade, uma vez que o argumento do incremento de geovisualização por meio da navegação dinâmica depende diretamente da capacidade do computador de apresentar esses arquivos com qualidade de visualização e navegação. Para o bairro Conjunto Paulo VI, o modelo 3D textuizado no formato *.obj* possui, aproximadamente, 4,5 GB e muitas das comunidades carentes que estamos realizando oficinas de Geodesign não possuem locais com computadores disponíveis e com capacidade de rodar esses arquivos. Para isso, foram buscadas formas de redução da qualidade gráfica dos modelos visando o seu compartilhamento via web, o que deve ser feito com parcimônia para não inviabilizar o reconhecimento das feições nos modelos.

No que concerne à tomada de fotografias aéreas para fins de representação das UP, talvez o maior desafio seja o aspecto legal, ou seja, a permissão para voar e atingir alturas necessárias para tomada de fotografias com uma amplitude suficiente para representação dos aspectos desejados. Aliado a isso, naturalmente, a segurança de terceiros, do operador e da aeronave, uma vez que voos em maiores alturas tendem a oferecer um maior perigo de colisão com outras aeronaves. Nesse sentido, o operador deve ter conhecimento dos termos legais que regem o voo de drones no local de interesse de operação e atuar dentro dos requisitos permitidos. Na maior parte das paisagens representadas, foi necessário atingir a altitude máxima permitida para o voo para conseguir a

geração de uma imagem que abarcasse todos os elementos de interesse. Assim, foi possível gerar imagens que representassem as invariantes das paisagens conforme a proposta elaborada.

Como pôde ser observado ao longo do texto, não foi intenção desta pesquisa verticalizar em um tema específico a fim de esgotar todas as possibilidades de causas e consequências. Mas sim, promover uma ampla gama de testes de uso da ferramenta drone e, a partir dos resultados obtidos, avaliar as possibilidades e potenciais da ferramenta para dar suporte aos processos de planejamento territorial a que estamos envolvidos e que são tocantes à ciência geográfica. Entende-se, portanto, que o conhecimento técnico adquirido foi base para a realização de testes e discussões acerca da geovisualização em oficinas de Geodesign. Os resultados dos experimentos de geovisualização, por sua vez, geraram respostas que dão bases para a proposição de formas de representação da informação espacial objeto de discussões em ações de planejamento. Assim, acredita-se que o arcabouço de informações produzidas acerca da técnica de produção de dados e da geovisualização dos produtos gerados seja relevante para os processos de planejamento territorial colaborativo que demandam fortemente a criação de modelos de representação amigáveis a todos os participantes, como evidenciado pela literatura dedicada ao tema.

Sintetiza-se esse pensamento na Figura 7.01 que mostra que o conhecimento produzido neste processo de doutoramento tem como elemento central a geovisualização, apoiada no aspecto técnico da produção de dados espaciais e dando suporte à criação de modelos de representação da realidade.

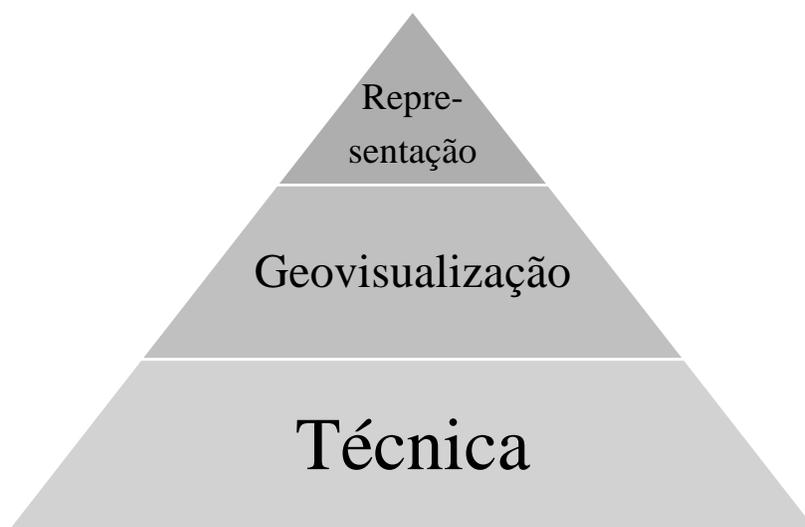


Figura 7.01 – Esquema do conhecimento produzido na tese. Fonte: Elaborado pelo autor

A ampla diversidade de experiências vivenciadas nesta pesquisa permite gerar conclusões abrangentes acerca da investigação proposta, mas também são necessárias considerações para as etapas individuais do processo, que são elencadas a seguir.

7.1. Conclusões

Partindo do ponto de vista da *Análise Técnica*, pode-se se dizer que os equipamentos utilizados e as metodologias de coleta de dados empregadas apresentaram resultados satisfatórios em diferentes sentidos: tanto no quesito de agilidade e praticidade de coleta dos dados, quando na acurácia e qualidade gráfica dos dados analisados. Isso é visto de maneira positiva como meio de suporte ao planejamento territorial, seja para criação de mapas bases para o diagnóstico de Geodesign, seja para uso por parte de técnicos do serviço público para gestão e planejamento territorial. Como pontos principais destacam-se: a qualidade gráfica dos modelos tridimensionais que podem reproduzir as formas e as texturas dos objetos com grande fidelidade, gerando representações realísticas; o atendimento ao PEC-PCD para planimetria que dá segurança aos usar essa ferramenta para a produção de bases de dados espaciais; e a possibilidade de integração dos dados gerados com outras bases já levantadas, como LiDAR, o que pode permitir a atualização de pequenos trechos sob demanda. Neste quesito é importante ressaltar a presença de ruídos significativos que demandam experiência e atenção do usuário para se precaver de erros. Vale ressaltar, ainda, a possibilidade de replicação dos métodos de coleta de dados, o que gera a possibilidade de realizar monitoramentos periódicos para acompanhamento das transformações espaciais. Como ponto de atenção, destaca-se a necessidade de manutenção da aeronave em uma distância homogênea em relação aos objetos imageados visando garantir uma boa modelagem da superfície. Nesse sentido, percebe-se que o Modelo de Superfície é um dado chave do processo, pois é condicionado pela qualidade do aerolevanteamento e condiciona o nível de qualidade dos produtos subsequentes.

Do ponto de vista de *Análise de Geovisualização*, considera-se, também, que os resultados foram satisfatórios e corroboram as observações feitas na literatura dedicada sobre o tema. Destaca-se que os modelos 3D realísticos e de livre navegação favoreceram à geovisualização tanto do público leigo em cartografia quando da equipe técnica, o que é entendido como um favorecimento

à compreensão da informação espacial, que leva a uma melhor condição de diálogo entre diferentes atores e que, por consequência, favorece os processos colaborativos de planejamento territorial. Contudo, ficou claro que somente os modelos 3D não atuam por si só na promoção de um melhor raciocínio espacial, sendo ideal a utilização de dados complementares, mapas e modelos 3D, para uma completa abstração da informação do mundo real ao mapa analisado. Essas observações estão sintetizadas na Figura 7.02.

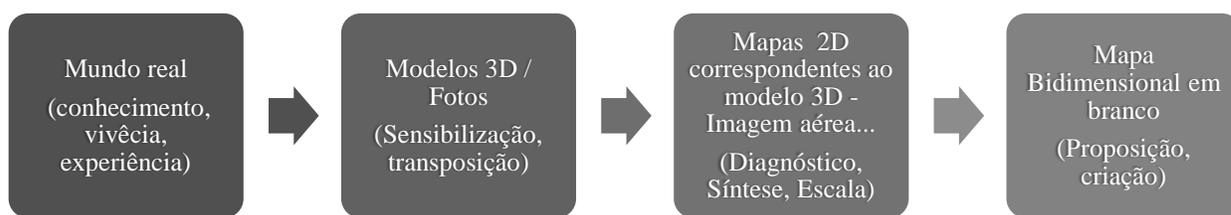


Figura 7.02 – Esquema de abstração da informação espacial. Fonte: Elaborado pelo autor

Percebe-se que isso está associado à perspectiva de visualização do dado, pois a visão zenital (cartográfica) é menos usual para a maioria das pessoas. Nesse sentido, a utilização da perspectiva oblíqua mostrou-se interessante para promover a conexão entre a imersão na paisagem (visão humana) com a análise de síntese (visão cartográfica), sendo favorável para suportar o diálogo entre diferentes atores. Assim, viu-se que os modelos 3D realísticos de livre navegação permitem ao usuário a interação com dado, escolhendo as posições e perspectivas de seu interesse, não estando preso a uma imagem estática que representa o ponto de vista do sujeito construtor da imagem. E, nesse sentido, o drone se mostrou eficaz para proporcionar a criação desse tipo de representação, podendo ser empregado desde a escala de um edifício até extensas paisagens.

A geovisualização é, portanto, o elo principal da análise realizada, pois representa os mecanismos adotados para o estabelecimento da conexão entre o mundo real e as representações; entre a sensibilidade promovida pela imersão na paisagem e a análise técnica promovida pelo distanciamento cartográfico; entre o detalhe observado na vida cotidiana e a síntese vista nos mapas que permitem a formulação de leis e regras gerais. Essas ideias estão representadas na Figura 7.03.



Figura 7.03 – Geovisualização como elo entre mundo real e representações digitais. Fonte: Elaborado pelo autor.

Considera-se que todos esses elementos são essenciais para a realização do planejamento territorial, sobretudo de modo colaborativo, e a geovisualização se mostra como meio que permite a consideração de todos os fatores mencionados na Figura 7.03, minimizando o favorecimento de uns em detrimento de outros.

Contudo, entende-se que este tema, bem como outros temas tratados nesta pesquisa, são temas em constante construção, sobretudo no que tange à verificação no contexto brasileiro, e demandam estudos continuados para produção e atualização de conhecimentos específicos sobre o assunto. A seguir, são elencadas possibilidades de estudos futuros, sugeridos com base nas observações feitas nesta pesquisa.

7.2. Estudos futuros

Dada a natureza exploratória desta pesquisa, que se baseou em testes feitos a partir de estudos de caso, viu-se que existem ainda diversas questões que merecem ser aprofundadas. Entende-se que os resultados aqui apresentados não encerram as investigações acerca dos temas analisados, mas são vistos como etapas cumpridas e que podem servir de ponto de partida para novas investigações.

Do ponto de vista técnico, sugere-se a realização de estudos que visem aprimorar as classes restritivas do PEC-PCD visando avaliar com maior clareza e especificidade os produtos gerados por drone, uma vez que essas regras foram definidas antes da popularização do uso de drones para aerofotogrametria. Os resultados podem contribuir para melhores condições de avaliação desses dados, dando maior segurança para usá-los como bases cartográficas.

Vê-se como estudo possível a comparação da qualidade geométrica de ortoimagens ortorretificadas com diferentes modelos (MDT e MDS). Isso pode contribuir para validar (ou não) as observações feitas de que os MDS promovem a geração de ortoimagens mais acuradas. Ainda em relação a ortorretificação, recomenda-se a realização de estudos para aprofundar na compreensão das causas das distorções nas ortoimagens ortorretificadas com MDT, o que pode contribuir para o estabelecimento de parâmetros de planejamento de voo e processamento de dados, proporcionando ao usuário um melhor embasamento acerca de quando vale a pena ou não ortorretificar as imagens com MDT.

São necessários, ainda, mais estudos de verificação da qualidade geométrica das imagens geradas em diferentes condições topográficas e de uso e cobertura do solo. Merece destaque a avaliação de quantos PC são necessários para garantir o atendimento a PEC-PCD Classe-A (ou das novas classes futuras ainda mais restritivas) para planimetria e, sobretudo, altimetria.

Pesquisas que busquem o desenvolvimento de técnicas de integração de dados de drone com outras fontes de dados, como LiDAR, são também relevantes, uma vez que os drones aparecem como recursos para uma coleta de dados ágil e de baixo custo e podem integrar a agenda de atualização de bases de dados espaciais das prefeituras municipais. Nesse sentido, é imprescindível compreender em que medida os dados gerados por drone podem ser associados à base de dados já existente para a área de interesse.

Do ponto de vista da geovisualização, acredita-se que as observações acerca do uso dos dados devem ser continuadas. Novas tecnologias de integração de dados 2D-3D, que permitam a mudanças de perspectivas de visualização de modo conectado, sem que o usuário necessite localizar pontos homólogos por si só, podem ser testadas. A criação desses *links* entre os diferentes dados pode ser um recurso adicional de grande valia para facilitar a navegação entre as diferentes fontes de visualização do dado. Além disso, vale destacar que as novas tecnologias de realidade virtual, realidade aumentada, holograma e outras, merecem ser testadas e podem promover resultados ainda mais satisfatórios aos observados.

Por fim, a definição de Unidades de Paisagem como base para o planejamento territorial em escala regional se mostra interessante e pode contribuir para o planejamento e a gestão das paisagens brasileiras, gerando bases para aliar a preservação ambiental com a manutenção e desenvolvimento das atividades econômicas e culturais.

Entede-se que somente foi possível propor representações das UP da *Emilia-Romagna* porque existe uma sólida base de conceitos e práticas de planejamento da paisagem, constituída desde a década de 1940, e que são os esteios dos PTPR italianos. Vê-se que, na Itália, a delimitação e descrição das UP é fruto de um profundo conhecimento das características da paisagem aliado a uma cultura de planejamento territorial que considera tanto os aspectos físicos quanto os socioeconômicos e culturais como bases para o planejamento. Assim, uma vez que há já uma cultura de planejamento da paisagem bem consolidada, proporcionar a geovisualização das UP significou somente iluminar aspectos bem estruturados para que esses possam ser visualizados e compreendidos por outros olhos.

Portanto, para a realização de estudos similares no Brasil, deve-se realizar, inicialmente, o levantamento das características essenciais da paisagem (ambientais, históricas, culturais, etc.) para então se propor a delimitação das UP com base nas invariantes estruturais identificadas. Num segundo momento, recomenda-se a realização de esforços para a geovisualização das características das UP, visando validar a delimitação realizada e dar suporte às discussões para a definição dos objetivos de qualidade paisagística, que é a base para definição dos âmbitos paisagísticos. Considera-se que esses estudos são relevantes e podem contribuir para o desenvolvimento da cultura de planejamento territorial regional no nosso país, considerando as características da paisagem como fator norteador.

8. REFERÊNCIAS

- ABDUL-RAHMAN, Alias; PILOUK, Morakot. *Spatial data modelling for 3D GIS*. Berlin: Springer, 2008. 289 p.
- ABER, James S.; MARZOLF, Irene; RIES, Johannes. B. *Small-Format aerial photography: principles, techniques and geoscience applications*. Amsterdam: Elsevier, 2010. 268p.
- AFROOZ, A.; BALLAL, H.; PETTIT, C. Implementing augmented reality sandbox in geodesign: a future for geodesign. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. vol. IV-4, 2018, pp. 5-12.
- AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL (ANAC). *Regulamento Brasileiro da Aviação Civil Especial, nº 94*. Resolução nº 419, de 2 de maio de 2017. Requisitos Gerais para aeronaves não tripuladas de uso civil. Brasília: ANAC, 2017. 26 p.
- AGISOFT FORUM *online*: lista de discussão. St Petersburg: Agisoft, 2018. Disponível em <<https://www.agisoft.com/forum/index.php?topic=9140.0>> . Acesso em 30 jul. 2019
- AGISOFT PHOTOSCAN USER MANUAL. Versão 1.4.2, s/d. Disponível em <<https://www.agisoft.com/downloads/user-manuals/>>. Acesso em 17 jul. 2019
- ALBERT, J.; BACHMANN, M.; HELLMEIER, A. Zielgruppen und Anwendungen für Digitale Stadtmodelle und Digitale Geländemodelle. *Erhebungen im Rahmen der SIG 3D der GDI NRW*. Berlin, 2003.
- AMORIM, Nayara; COCOZZA, Glauco. As unidades de paisagem enquanto ferramenta de diagnóstico urbano ambiental e zoneamento da paisagem. *Cadernos de Arquitetura e Urbanismo*. Vol. 23, n. 33, 2016, pp. 133-152
- AMORIM, Raul Reis; OLIVEIRA, Regina Célia. As unidades de paisagem como uma categoria de análise geográfica: o exemplo do município de São Vicente-SP. *Sociedade & Natureza*, vol. 20, n. 2, 2008. pp 177-198
- ANDRIENKO, Gennady.; ANDRIENKO, Natalia; JANKOWSKI, Piotr; KEIM, Daniel; KRAAK, Menno-Jan; MACEACHREN, Alan; WROBEL, S. Geovisual analytics for spatial decision support: Setting the research agenda. *International Journal of Geographical Information Science*, vol 21, n. 8, 2007. pp. 839-857
- ARIF, Mohammad Shafi M.; GÜLCH, Eberhard; TUHTAN, Jeffrey A., THUMSER, Philipp, HAAS, Christian. An investigation of image processing techniques for substrate classification based on dominant grain size using RGB images from UAV. *International Journal of Remote Sensing*. v. 38, n. 1, p. 1-23, Out. 2016
- AUSTIN, Reg. *Unmanned Aircraft System: UAV design, development and deployment*. Chichester: Wiley, 2010. 332 p.
- AXELSSON, Peter. DEM generation from laser scanner data using Adaptive TIN Models. *International Archives of the Photogrammetry and Remote Sensing*. Amsterdam, v. 23, n. 1, p. 110-117. 2000.
- BABINSCK, Alex Pinto. Determinação da linha de costa por meio da monorrestituição digital de imagens de câmaras de pequeno formato e técnicas de GPS. 2006, 139 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Geodésicas) Universidade Federal do Paraná, Biblioteca Central, Curitiba, 2006
- BARAZZETI, Luigi; SCANIONI, Marco; REMONDINO, Fabio 2010. Orientation and 3D modelling from markerless terrestrial images: combining accuracy with automation. *The Photogrammetric Record*, Oxford, v. 25, n. 1, p. 356-381, Dez. 2010.

- BARNHART, Richard K; HOTTMAN, Stephen B.; MARSHALL, Douglas M.; SHAPPEE, Eric. *Introduction to Unmanned Aircraft Systems*. Boca Raton: CRC Press, 2012. 193 p.
- BASTIN, Georges. *As técnicas sociométricas*. Lisboa: Livraria Moraes Editora, 1966. 226 p.
- BENDEA, Horea; CHIABRANDO, Filiberto; TONOLO, Fabio Giulio; MARENCHINOAET, Davide. Mapping of archaeological areas using a low-cost UAV the Augusta Bagiennorum test site. In INTERNATIONAL CIPA SYMPOSIUM, 21, 2007, Atenas. *Anais...* Atenas: International Committee of Architectural Photogrammetry, 2007. p. 1-6.
- BENSUSAN, Nurit. *Conservação da biodiversidade em áreas protegidas*. Rio de Janeiro: Ed. FGV, 2006. 176p.
- BERTIN, J. *Graphics and graphic information processing*. Translated by Willian J. Berg and Paul Scott. New York: Walter de Gruyter, 1981. 273 p.
- BERTRAND, Georges. Paisagem e geografia física global: esboço metodológico. *RA E GA*, Curitiba, n. 8, p. 141-152, 2004.
- BILJECKI, Filip; LEDOUX, Hugo; STOTER, Jantien. An improved LOD specification for 3D building models. *Computers, Environment and Urban Systems*. Austin, v. 59, n.1, p. 25-37. Abr. 2016
- BLYENBURGH, Peter Van. UAVs: an Overview. *Air & Space Europe*, vol. 1, n. 5/6, 1999. p. 43-47.
- BORGES, Raphael de Oliveira; FAZAN, Antônio Júlio; SOBRAL, L. T.; RIBEIRO, Roberto de Figueiredo; LANZA, D. S. Utilização de drones de pequeno porte como alternativa de baixo custo para caracterização topográfica da infraestrutura de transportes no Brasil. In CONGRESSO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA, 27, 2017, Rio de Janeiro. *Anais...* Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Cartografia, Geodésia, Fotogrametria e Sensoriamento Remoto, 2017. p. 1-5
- BRAGHIROLI, Guilherme; OLIVEIRA, Francisco Henrique; LIMA, Carla Luciane; ARAUJO, Adolfo Lino. A influência da quantidade de pontos de controle no processamento de imagens aéreas obtidas por RPAS. In SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 19, 2019. *Anais...* São José dos Campos: INPE, 2019, p. 2727-2730
- BRASIL. Decreto nº 89.817 de 1984. Estabelece as Instruções Reguladoras das Normas Técnicas da Cartografia Nacional. *Diário Oficial da União*, Poder Executivo, Brasília, DF. 22 jul. 1984. Disponível em <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/1980-1989/D89817.htm>. Acesso em 08 mar. 2019
- BRASIL. Lei nº 9.985 de 18 de julho de 2000. Regulamenta o art. 225, § 1o, incisos I, II, III e VII da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências. *Diário Oficial da União*, Poder Executivo, Brasília, DF. 19 jul. 2000. Disponível em <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19985.htm>. Acesso em 02 fev. 2021
- BRASIL. Lei n. 10.257 de 10 de julho de 2001. Regulamenta os artigos 182 e 183 da Constituição Federal, estabelece diretrizes gerais da política urbana e dá outras providências. *Diário Oficial da União*, Poder Executivo, Brasília, DF. 11 jul. 2001. Disponível em <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/leis_2001/110257.htm>. Acesso em 10 abr. 2019
- BRASIL. Decreto n. 5.758 de 13 de abril de 2006. Institui o Plano Estratégico Nacional de Áreas Protegidas - PNAP, seus princípios, diretrizes, objetivos e estratégias, e dá outras providências. *Diário Oficial da União*, Poder Executivo, Brasília, DF. 17 de abr. 2006. Disponível em <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2004-2006/2006/Decreto/D5758.htm>. Acesso em 4 fev 2021.

- BRASIL. Lei n. 12.651 de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis n.ºs 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 n.ºs 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória n.º 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. *Diário Oficial da União*, Poder Executivo, Brasília, DF. 25 mai. 2012. Disponível em <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2012/Lei/L12651.htm>. Acesso em 03 abr. 2019
- BRASIL. Decreto n. 9.810 de 30 de maio de 2019. Institui a Política Nacional de Desenvolvimento Regional. *Diário Oficial da União*, Poder Executivo, Brasília, DF. 30 mai. 2019a. Disponível em <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2019/decreto/D9810.htm>. Acesso em 12 dez. 2020
- BRASIL. *Plano Regional de Desenvolvimento do Nordeste*. Recife: SUDENE, 2019b. 222 p.
- BRIGADAS POPULARES. Desenvolvido por Brigadas Populares, 2019. Apresenta os ideais e os trabalhos desenvolvidos pelo grupo Brigadas em Defesa do Brasil (BDBs). Disponível em: <<https://brigadaspopulares.org.br/viva-os-10-anos-da-comunidade-dandara-em-belo-horizonte-%E2%AD%90%E2%AD%90%E2%AD%90/>>. Acesso em 13 jun. 2019
- CAMARGOS, Lourdes Manresa; ROCHA, Nicole Andrade; MOURA, Ana Clara Mourão. Use of Landscape Metrics and Multi-criteria Analysis to Identify Landscape Units Concerning of Vegetation of Quadrilátero Ferrífero - MG. *Lecture Notes in Computer Science*. 1ed.: Springer International Publishing, 2020, v. 12253, p. 381-393.
- CAMPAGNA, Michele; STEINITZ, Carl; CESARE, Elisabetta Anna di; COCCO, Chiara; BALLAL, Hrishikesh; CANFIELD, Tess. Collaboration in planning: The Geodesign approach. *Rozwój Regionalny i Polityka Regionalna*, vol. 35, p. 55-72, 2016.
- CASAGRANDE, Pedro Benedito. *O framework Geodesign aplicado ao Quadrilátero Ferrífero: a geologia como base de planejamento de futuros alternativos*. 2018, 127 f. Dissertação (Mestrado em Geografia). Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Geociências, Belo Horizonte, 2018.
- CESARE, Elisabetta Anna di; FLORIS, Roberta; COCCO, Chiara; CAMPAGNA, Michele. Linking Knowledge to Action with Geodesign. In.: PAPA, R. et al. (eds.). *Smart Planning: Sustainability and Mobility in the Age of Change, Green Energy and Technology*. Springer International Publishing AG, 2018, pp. 179-198.
- CHAMAYOU, Grégoire. *A teoria do drone*. São Paulo: Cosac Naify, 2015. 285 p.
- CHAVIER, Luis Fernando Curci. *SciaGeo – Um sistema para captura de imagens aéreas georeferenciadas*. 2005, 95 f. Dissertação (Mestrado em Ciências da Computação e Matemática Computacional). Universidade de São Paulo, Campus São Carlos, Biblioteca Prof. Achille Bassi, São Carlos, 2005
- CHRISTOFOLETTI, Antônio. *Modelagem de Sistemas Ambientais*. São Paulo: Edgar Blücher, 1999. 236 p.
- CLAVAL, Paul. *A Geografia Cultural*. Florianópolis. Editora da UFSC. 1999. 454 p.
- COELHO, Luiz; BRITO, Jorge Nunes. *Fotogrametria digital*. Rio de Janeiro: Ed-UERJ, 2007. 196 p.
- COLOMINA, I.; BLÁZQUEZ, M.; MOLINA, P.; PARÉS, M.E; WIS, M. Towards a new paradigm for high-resolution low-cost photogrammetry and remote sensing. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. Beijing, v. 37, n. 1, p. 1201-1206. 2008.

- COLOMINA, I.; MOLINA, P. Unmanned aerial system for photogrammetry and remote sensing: a review. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, vol. 92, n. 1, 2014. pp. 79-97.
- CONSIGLIO d'EUROPA. *Convenzione europea del paesaggio*. Firenze, 20 ottobre 2000. 24 p. Traduzione del testo ufficiale in inglese e francese.
- COORDENAÇÃO DE APERFEIÇOAMENTO DE PESSOAL DE NÍVEL SUPERIOR (CAPES). Desenvolvido por CAPES, 2020. Apresenta o Catálogo de Teses e Dissertações dos programas de Mestrado e Doutorado reconhecidos no Brasil com registro desde 1987. Disponível em < <http://catalogodeteses.capes.gov.br/catalogo-teses/#/>>. Acesso em 13 nov. 2020.
- CORREA, Marlos de Mendonça. *Geração de Movimentos em Trajetórias Ajustáveis para Veículos Autônomos Aéreos não Tripulados*. 2008, 98 f. Dissertação (Mestrado em Sistemas e Computação). Instituto Militar de Engenharia, IME, Rio de Janeiro, 2008
- DANGERMOND, Jack. *GIS: Designing our future*. ArcNews, Summer, 2009. Disponível em <<http://www.esri.com/news/arcnews/summer09/articles/gis-designing-our-future.html>>. Acesso em 30 nov. 2020.
- DEFESANET. Desenvolvido por DefesaNet, 2019. Apresenta notícias com conteúdo relacionado à segurança pública e privada. Disponível em <<http://www.defesenet.com.br/vant/noticia/31741/SISVANT---Cessao-de-drones-para-a-FAB-marca-fim-de-programa-da-PF>>. Acesso em 10 fev. 2019
- DELFINO, Deisiane dos Santos. *Os valores da paisagem como instrumento de gestão territorial na Área de Proteção Ambiental da Baleia Franca (Santa Catarina – Brasil)*. 2017. 348 f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2017.
- DEPARTAMENTO DE CONTROLE DO ESPAÇO AÉREO (DECEA). Portaria DECEA n. 224/DGCEA, de 20 de novembro de 2018. Aprova a edição da ICA-400, Instrução sobre “Aeronaves não tripuladas e o Acesso ao Espaço Aéreo Brasileiro”. *Boletim do Comando da Aeronáutica n° 002*, de 03 de janeiro de 2019. Disponível em <<https://publicacoes.decea.gov.br/download.cfm?d=4944>>. Acesso em 13 fev. 2019
- DIAS Janise; SANTOS, Leonardo. A paisagem e o geossistema como possibilidade de leitura da expressão do socioambiental rural. *Confins* [Online], vol. 1, 2007. Disponível em <<http://journals.openedition.org/confins/10>>. Acesso em 06 dez. 2020
- DIRETORIA DO SERVIÇO GEOGRÁFICO (DSG). *Especificação Técnica para a Aquisição de Dados Geoespaciais Vetoriais*. Brasília: Ministério da Defesa, 2011. 254 p. Relatório Técnico.
- DJI. Desenvolvido por DJI, 2017. Apresenta especificações técnicas acerca dos drones de linha consumidor. Disponível em <<https://www.dji.com/>>. Acesso em set. 2018.
- DOBBING, Mary; COLE, Chris. *Israel and the drone wars: Examining Israel's production use and proliferation of UAVs*. Oxfor: Drone Wars UK, 2014. 30 p.
- DYKES, Jason; MACEACHREN, Alan M.; KRAAK, Menno-Jan. *Exploring geovisualization*. International Cartographic Association. Elsevier: Amsterdam, 2005. 710 p.
- EASTMAN, J. Ronald. Cognitive models and cartographic design research. *The Cartographic Journal*. vol 22, n. 2, p. 95-101. 1985
- EISENBEISS, Henri. A mini unmaned aerial vehicle (UAV): system overview and image acquisition. In. International Workshop on Processing and visualization using high-resolution imagery. 2004, Pitsanulok. *Proceedings...* Pitsanulok, 2004. p. 1-7.

- EISENBEISS, Henri. The autonomous mini helicopter: a powerful platform for mobile mapping. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. Beijing, v. 37, n. 1, p. 977-984. 2008.
- EISENBEISS, Henri. *UAV Photogrammetry*. 2009. 199. Tese (Doutorado). Instituto de Geodésia e Fotogrametria, ETHZ. Zurich, 2009
- EISENBEISS, Henri; ZHANG, Li. Comparison of DSMs generated from mini UAV imagery and terrestrial laser scanner in a cultural heritage application. In ISPRS COMMISSION V SYMPOSIUM 'IMAGE ENGINEERING AND VISION METROLOGY', 36, 2006. *Proceedings...* Dresden: ISPRS Archives, 2006. p. 90-96
- ERVIN, S. A System for Geodesign. In Digital Landscape Architecture Conference. *Anais...* Dessau: Anhalt University, 2011. p. 1–14.
- EVERAERTS, J. The use of unmanned aerial vehicles (UAVs) for remote sensing and mapping. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. Beijing, v. 37, n. 1, p. 1187-1192. 2008.
- FEDERAL GEOGRAPHIC DATA COMMITTEE. *Geospatial Positioning Accuracy Standards Part 3: National Standard for Spatial Data Accuracy*. Reston: Federal Geographic Data Committee, 1998. 25 p. Relatório. Disponível em: <<http://www.fgdc.gov/standards/projects/FGDC-standards-projects/accuracy/part3/chapter3>>. Acesso em 01 mai. 2019.
- FELLONI, Maria Fiorella. *Unità di Paesaggio*. In PAESAGGIO DELL'APPENNINO PARMESE: OPPORTUNITÀ DI SVILUPPO LOCALE TRA FRAGILITÀ E VALORI, 2019, Parma. *Materia Paesaggio 2019*. Parma: Università di Parma, 2019
- FERREIRA, Alexandre Moreno Richwin. Avaliação de câmara de pequeno formato transportada por veículo aéreo não tripulado – VANT, para uso em aerolevantamentos. 2014, 93 f. Dissertação (Mestrado em Geociências Aplicadas). Universidade de Brasília, BCE, Brasília, 2014
- FINN, Rachel L.; WRIGHT, David. Unmanned aircraft systems: Surveillance, ethics and privacy in civil applications. *Computer law and security review*. Londres, vol. 28 n.1, p. 184-194 2012.
- FLAXMAN, Michael. *Geodesign: Fundamentals and Routes Forward*. Presentation to the Geodesign Summit, January 6, 2010, Redlands, CA. Disponível em: <<http://www.geodesignsummit.com/videos/day-one.html>>. Acesso em 9 nov. 2020.
- FONSECA, Bráulio Magalhães. *Conceitos e práticas de geodesign aplicados ao ordenamento territorial do município de São Gonçalo do Rio Abaixo*. 2015, 200 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2015.
- GEVAERT, C. M.; PERSELLO, C.; SLIUZAZ, R.; VOSSELMAN, G. Informal settlement classification using point-cloud and image-based features from UAV data. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. vol. 125, 2017, p. 225-236.
- GISOTTI, Giuseppe. *Le unità di paesaggio: Analisi geomorfologica per la pianificazione territoriale urbanistica*. Dario Flaccovio (ed). Palermo, 2011. 463 p.
- GOODCHILD, Michael F.; JANELLE, Donald G. Toward critical spatial thinking in the social sciences and humanities. *GeoJournal*. vol. 75, n. 1, p. 3–13, Fev. 2010.
- GUNDLACH, Jay. *Designing Unmanned Aircraft Systems: A comprehensive approach*. Virgínia: AIAA, 2012. 805 p.

- HACKBART, Theo. *Desenvolvimento de Veículos Aéreos Não Tripulados para Sondagem da Atmosfera*. 2008, 98 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia). Universidade Federal de Pelotas, Biblioteca de Ciência e Tecnologia, Pelotas, 2008.
- HERCULANO, Renata Nogueira. *Os (des)caminhos da linguagem coletiva nas paisagens urbanas brasileiras: a forma urbana modelada pela norma*. 2018, 248 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo). Escola de Arquitetura, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2018.
- HOLLER, Wilson Anderson; SERRATO, Ricardo José; NIARKIOS, Luiz Santos de Salles Graça; CRUZ, Wander; CRISTO, Diogo Pereira de. Avaliação de acurácia e precisão de modelos digitais de superfície a partir de diferentes aeronaves remotamente pilotadas. *Revista técnico-científica do CREA-PR*. Curitiba, v. 13, n. 1, p. 1-20. Set. 2018. Disponível em <<https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1101722/1/2018W.HollerRTCAvaliacao.pdf>>. Acesso em 11 jun. 2019
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). *Recomendações para levantamentos relativos estáticos – GPS*. Brasília: IBGE, 2008. 35 p. Relatório Técnico.
- INSTITUTO DO PATRIMÔNIO HISTÓRICO E ARTÍSTICO NACIONAL (IPHAN). Portaria n. 127 de 30 de abril de 2009. Estabelece a chancela da Paisagem Cultural Brasileira. *Diário Oficial da União*, Poder Executivo, Brasília, DF. 05 mai. 2009. Disponível em <http://portal.iphan.gov.br/uploads/legislacao/Portaria_127_de_30_de_Abril_de_2009.pdf>. Acesso em 09 Set. 2019.
- INTERNATIONAL CARTOGRAPHIC ASSOCIATION (ICA). Desenvolvido por ICA, 2012. Apresenta informações pertinentes à associação cartográfica internacional. Disponível em <<https://icaci.org/research-agenda/geovisualization-and-visual-analytics/>>. Acesso em 07 agosto, 2019
- INTERNATIONAL CIVIL AVIATION ORGANIZATION (ICAO). *Unmanned Aircraft Systems (UAS)*. Quebec: ICAO, 2011. 38 p.
- ISHIKAWA, Toru; KASTENS, Kim A. Why Some Students Have Trouble with Maps and Other Spatial Representations. *Journal of Geoscience Education*, v. 53, n. 2, p. 184-197. Mar. 2005
- ITALIA. Regio Decreto-Legge n. 257 del 11 gennaio 1923. *Riguardante la costituzione del parco nazionale di Abruzzo*. Roma: Gazzetta Ufficiale del Regno d'Italia, 1923, 44 p. Disponível em <<https://www.minambiente.it/normative/regio-decreto-legge-11-gennaio-1923-n-257-riguardante-la-costituzione-del-parco-nazionale>> Acesso em 09 dez. 2020.
- ITALIA. Legge n. 1497 del 29 giugno 1939. *Protezione delle bellezze naturali*. Roma: Gazzetta Ufficiale, 1939, 44 p. Disponível em <https://www.naturaitalia.it/static/temp/allegati_natura_italia/biodiversita/normativa/Legge_1497_del_1939.pdf> Acesso em 09 dez. 2020.
- ITALIA. Constituição (1947). *Constituição da República Italiana*, 1947. Roma: Senado da República, 1947. 76 p. Disponível em <<https://www.nascitacostituzione.it/costituzione2.htm>>. Acesso em 15 jul. 2019
- ITALIA. Legge n. 431 del 08 agosto 1985. *Conversione in legge, con modificazioni, del decreto-legge 27 giugno 1985, n. 312, recante disposizioni urgenti per la tutela delle zone di particolare interesse ambientale*. Roma: Gazzetta Ufficiale, 1985, 32 p. Disponível em <<https://www.gazzettaufficiale.it/eli/id/1985/08/22/085U0431/sg>>. Acesso em 09 dez. 2020.
- ITALIA. Decreto legislativo n. 42 del 22 gennaio 2004. *Codice dei beni culturali e del paesaggio, ai sensi dell'articolo 10 della legge n. 137 del 6 luglio 2002*. Roma: Gazzeta Ufficiale n. 45 del 24 febbraio 2004.

- JARNOT, Charles. History. In: BARNHART, Richard K; HOTTMAN, Stephen B.; MARSHALL, Douglas M.; SHAPPEE, Eric. *Introduction to Unmanned Aircraft Systems*. Boca Raton: CRC Press, 2012. 193 p.
- JUNIOR, Antônio Lisboa Fernandes. Interpretação de imagens GPR em ambiente cárstico guiada por comparação com afloramentos e imagens de veículo aéreo não tripulado. 2014, 64 f. Dissertação (Mestrado em Geodinâmica e Geofísica). Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Biblioteca Central Zila Mamede, Natal, 2014.
- KLÁPSTE, Peter; URBAN, Rudolf; MOUDRÝ, Vitezslav. Ground classification of UAV image-based point clouds through differential algorithms: open source Vs commercial software. *SMALL-UNMANNED AERIAL SYSTEM FOR ENVIRONMENTAL RESEARCH*, 6, 2018, Split. *Proceedings...* Split: UAS4Enviro, 2018, 59-60.
- KWARTLER, Michael; LONGO, Gianni. *Visioning and Visualization: People, Pixels, and Plans*. Cambridge: Lincoln Institute of Land Police, 2008. 94 p.
- LA BLACHE, Paul Vidal de. Da interpretação geográfica de paisagens. *Mercator*, ano 07, num. 13, 2008
- LANZONI, Chiara. La pianificazione paesaggistica in Emilia-Romagna. *Ri-Vista*. Firenze University Press. vol x, n.x, 2010, pp 129-134, online: <<http://www.unifi.it/ri-vista>> Acesso em 05 set 2020
- LEE, Danbi J.; DIAS, Eduardo; SCHOLTEN, Henk J. *Introduction to Geodesign Developments in Europe*. Geodesign by integrating design and geospatial sciences. Switzerland: Springer, n 111, p. 3-9, 2014
- MACEACHREN, Alan M. Moving geovisualization toward support for group work. In: DYKES, Jason; MACEACHREN, Alan M.; KRAAK, Menno-Jan (Orgs.). *Exploring geovisualization*. International Cartographic Association. Elsevier: Amsterdam, 2005. 710 p.
- MACEACHREN, Alan M.; GAHEGAN, Mark; PIKE, William; BREWER, Isaac; CAI, Guoray; LENGERICH, Eugene. Geovisualization for Knowledge Construction and Decision Support. *IEEE Computer Graphics and Applications*. n. 24, vol. 1, p. 13–17. Fev. 2004.
- MACEACHREN, A. M., EDSALL, R., HAUG, D., BAXTER, R., OTTO, G., MASTERS, R., FUHRMANN, S., and QIAN, L., Virtual environments for geographic visualization: potential and challenges. In. *WORKSHOP ON NEW PARADIGMS IN INFORMATION VISUALIZATION AND MANIPULATION*, 1999, Kansas City. *Proceedings...* Kansas City, 1999, p. 35-40.
- MACEACHREN, Alan; GANTER, John h. A patten identification approach to cartographic visualization. *Cartographica*. v. 27, v. 2, p. 64-81. 1990
- MAGALHÃES, Danilo Marques; MOURA, Ana Clara Mourão. Avaliação da acurácia do modelo tridimensional de uma edificação gerado por um micro VANT. *Geografia y Sistemas de Información Geográfica (GEOSIG)*, vol. 10, n. especial, p. 62-86. 2018.
- MAGALHÃES, Danilo Marques; MOURA, Ana Clara Mourão. Aerial images and three-dimensional models generated by RPA to support geovisualization in geodesign workshops. In: GERVASI, O. et al. (eds). *Computational Science and Its Applications – ICCSA 2020*. Lecture Notes in Computer Science, Springer, vol 12252, 2020, p. 296-309.
- MALDINA, Sara. *La pluralità del paesaggio come risorsa strategica: Una proposta metodologica per l'integrazione dei valori e dei servizi del paesaggio nei processi di pianificazione territoriale in Emilia-Romagna*. Supervisore Simona Tondelli. 2020, 534 f. Tesi (Douttorato di Ricerca) in Architettura. Dipartimento di Architettura, Alma Mater Studiorum – Università di Bologna, Bologna, 2020.

- MAROTTA, G. S.; CICERELLI, A. M. R.; ROIG, H. L.; ABREU, M. A. Avaliação posicional de um modelo digital de superfície derivado de câmera de pequeno formato. *Revista Brasileira de Cartografia*, vol. 67, n. 7, p. 1467-1477. 2015.
- MASALA, Elena; PENSA, Stefano. O papel da visualização no planejamento urbano: uma abordagem a partir dos conceitos por trás da imagem espacial. In.: MOURA, Ana Clara Mourão (Org.) *Tecnologias de geoinformação para representar e planejar o território urbano*. Rio de Janeiro: Interciência, 2016. cap. 3, p. 35-60.
- MAXIMIANO, Liz Abad. Considerações sobre o conceito de paisagem. *RA'E GA*, Curitiba, n. 8, p. 83-91, 2004. Editora UFPR 83
- MCCORMICK, B.; DEFANTI, T.; BROWN, M. 1987. Definition of Visualization. *Computer Graphics*, vol. 21, n. 6, p. 681-684. 1987.
- McHARG, Ian. *Design with Nature*. New York: Doubleday & Company, 1971. 199 p.
- McKAY, Herbert C. *Three-dimensional photography: principles of stereoscopy*. New York: American Book Stratford Press, 1953, 333 p.
- MEDEIROS, Rodrigo. Evolução das tipologias e categorias de áreas protegidas no Brasil. *Ambiente & Sociedade*, vol. 9, n. 1, 2006, pp. 41-64.
- MENESES, Leonardo Figueiredo; FIGUEIREDO, Elaine Cristina Teixeira Pedrosa; LEITE, Eugênio Pacelli Fernandes. Ortoretificação de fotografias aéreas de pequeno formato obtidas com câmera digital convencional. In SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS GEODÉSICAS E TECNOLOGIAS DA GEOINFORMAÇÃO, 2, 2008, Recife. *Anais... Recife*, 2008, p. 000-000. Disponível em <https://www3.ufpe.br/cgtg/SIMGEOII_CD/Organizado/sens_foto/025.pdf> Acesso em 9 jul. 2019.
- MERWE, Fritz van der. Concepts of space in spatial thinking. INTERNATIONAL CARTOGRAPHIC CONFERENCE. *Proceedings...* Santiago de Chile, Chile, p. 15-21. Novembro, 2009
- METZGER, Jean Paul. O que é Ecologia de Paisagens? *Biota Neotrópica*. v.1, n. 1, 2001. pp. 1-9
- MILLER, Willian R. *Introducing Geodesign: the concept*. Redlands: Esri Press, 2012, 35 p. Disponível em <<https://www.esri.com/library/whitepapers/pdfs/introducing-geodesign.pdf>>. Acesso em 30 nov. 2020.
- MONICO, J. F. G. *Posicionamento pelo NAVSTAR-GPS: Descrição, Fundamentos e Aplicações*. 1ª ed. São Paulo: Unesp, 2000. p 287.
- MONMONIER, Mark S. *How to lie with maps*. 2nd ed. Chicago; London: The University of Chicago Press, 1996. 207 p.
- MONTEIRO, Carlos Augusto de Figueiredo. *Geossistemas: a história de uma procura*. São Paulo: Contexto, 2000. 127 p.
- MONTEIRO, Lívia de Oliveira; MOURA, Ana Clara M.; ZYNGIER, Camila M.; SENA, Ítalo Sousa; PAULA, Priscila Lisboa. Geodesign Facing the Urgency of Reducing Poverty: The Cases of Belo Horizonte. *DisegnareCon*, v. 11, n.20, p. 6.1-6.25. 2018. Disponível em <<http://geoproea.arq.ufmg.br/publicacoes/2018/geodesign-facing-the-urgency-of-reducing-poverty-the-cases-of-belo-horizonte>>. Acesso em 07 jun. 2019
- MONTEIRO, Sérgio Arraes. *Metodologia de mapeamento aéreo com fotografias de pequeno formato aplicadas no planejamento e gerenciamento de unidades de conservação*. 2000, 145 f. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2000.

- MONTI, Carlo. *Carlo Monti*: inédito. Bolonha: UniBo, 2020. Entrevista concedida a Danilo Magalhães.
- MORSELLO, Carla. *Áreas protegidas públicas e privadas: seleção e manejo*. São Paulo: Annablume, 2001. 343 p.
- MOURA, Ana Clara Mourão. *Geoprocessamento na gestão e planejamento urbano*. 1ª ed. Belo Horizonte: Ed. da autora, 2003. 294 p.
- MOURA, Ana Clara Mourão (Org.) *Tecnologias de geoinformação para representar e planejar o território urbano*. Rio de Janeiro: Interciência, 2016. 326 p.
- MOURA, Ana Clara Mourão. Geoprocessing Technologies for cultural landscape management: support to decision-making process based on characterization, management and studies of alternative futures. In.: UNESCO CHAIR, *New Paradigms and instruments for bio-cultural landscape management*, SITI, Torino, 2017, Q#2, p. 14 – 19.
- MOURA, Ana Clara Mourão; MARINO, Tiago B.; BALLAL, Hrishikesh; RIBEIRO, Suellen R.; MOTTA, Silvio R. F. Interoperability and visualization as a support for mental maps to face differences in scale in Brazilian Geodesign processes. *Rozwój Regionalny i Polityka Regionalna*, vol. 35, p. 89-102, 2016.
- MOURA, Ana Clara Mourão; RIBEIRO, Suellen Roquete; BENEVIDES, Caroline Câmara. Visualização em SIG 3D: escolha de Semiologia Gráfica para a conexão entre a realidade e representação. *Geografia y Sistemas de Información Geográfica (GEOSIG)*, vol. 10, n. especial, p. 23-48. 2018.
- MOURA, Ana Clara Mourão. Escolhas Conscientes em Tecnologias de Geoinformação para Representação, Análise, Simulação e Proposição para um Território: Suporte ao Geodesign. In.: SUTIL, Thaise; PEREIRA, Jori Ramos; LADWIG, Nilzo Ivo; ZOCCH, Jairo José; PEREIRA, Jader Lima. *Geoprocessamento na análise ambiental*. Criciúma: EdiUnesc, 2020. pp. 11-68.
- MOURA, Ana Clara Mourão; FREITAS, Christian Rezende. Brazilian Geodesign Platform: WebGis & SDI & Geodesign as Co-creation and Geo-Collaboration. *Lecture Notes in Computer Science*. Springer International Publishing, vol. 12252, p. 332-348, 2020.
- MUNARETTO, Luiz. *VANT e Drones*. São Paulo: Edição independente. 2017. 176 p.
- MURTIYOSO, A.; KOEHL, M.; GRUSSENMEYER, P.; FREVILLE, T. Acquisition and processing protocols for UAV images: 3D modeling of historical buildings using photogrammetry. In INTERNATIONAL CIPA SYMPOSIUM, 26, 2017, Ottawa. *Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. Ottawa: ISPRS, 2017. 163-170 p.
- NATIONAL MUSEUM. Desenvolvido por United States Air Force. Apresenta informações sobre aviação militar, 2015. Disponível em <<https://www.nationalmuseum.af.mil/Visit/Museum-Exhibits/Fact-Sheets/Display/Article/198095/kettering-aerial-torpedo-bug/>>. Acesso em 17 nov. 2018.
- NATIONAL RESEARCH CONCIL. *Learning to think spatially*. Washington: The National Academies Press, 2006. 313 p.
- NETO, Armando Alves. *Geração de trajetórias para veículos aéreos autônomos não-tripulados*. 2008, 124 f. Dissertação (Mestrado em Ciências da Computação). Universidade Federal de Minas Gerais, Biblioteca Central, Belo Horizonte, 2008
- NETO, F. D. F.; JUNIOR, J. G.; BOTELHO, M. F.; SANTOS, A. P.; NASCIMENTO, L. A.; FONSECA, A. L. B. F. Avaliação da qualidade posicional de dados espaciais gerados por VANT utilizando feições pontuais e lineares para aplicações de cadastro. *Boletim de Ciências Geodésicas*, vol. 23, n. 1, p. 134 - 149. 2017.

- NETO, Pedro Luiz de Oliveira Costa. *Estatística*. São Paulo: Edgar Bücher. 2002, 266 p.
- NEX, Francesco; REMONDINO, Fabio. UAV for 3D mapping applications: a review. *Applied Geomatics*. Volume 6, Issue-1, p. 1–15. 2014.
- NORBERG-SCHULZ, Christian. *Genius loci*. Towards a phenomenology of architecture. Londres: Academy Editions, 1980, 216 p.
- OCUPAÇÃO DANDARA. Desenvolvido por brigadas populares. Apresenta informações acerca da Comunidade Dandara, 2012. Disponível em <<http://ocupacaodandara.blogspot.com/2009/04/um-mar-de-barracos-de-lona-o-que.html>>. Acesso em 7 mai. 2019.
- OLIVEIRA, Diondetson Rocha; CICERELLI, Rejane Ennes; ALMEIDA, Tati; MAROTTA, Giuliano Sant’Anna. Geração de modelo digital de terreno a partir de imagens obtidas por Veículo Aéreo Não Tripulado. *Revista Brasileira de Cartografia*. vol. 69, n. 6, p. 1143-1151. 2017.
- OPEN GEOSPATIAL CONSORTUIM (OGC). 2012. *OGC City Geography Markup Language (CityGML) Encoding Standard*. Version 2.0. OGC-12-019.
- PARCO NAZIONALE D’ABRUZZO. Desenvolvido por Autore di Parks. Apresenta informações acerca do Parque Nacional de Abruzzo, Lazio e Molise. Disponível em <<http://www.parcoabruzzo.it/index.php>> Acesso em 09 dez. 2020.
- PEGORARO, A. J.; GUBIANI, J. S.; PHILIPS, J. W. Veículo Aéreo não Tripulado: Uma Ferramenta de Auxílio na Gestão Pública. In: SIMPOSIO ARGENTINO DE INFORMATICA Y DERECHO, 11, 2013, Córdoba. *Anais... Córdoba*, 2013. p. 176-187.
- PEREIRA, Danilo Celso. *Paisagem como patrimônio: entre potencialidades e desafios para a implementação da chancela da Paisagem Cultural Brasileira*. 2018, 2013 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Preservação do Patrimônio Cultural). Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional, Rio de Janeiro, 2018.
- PINTO, Marcelo Solfa; AMORIM, Amilton. Ortoretificação de imagem Quickbird com diferentes modelos digitais de terreno: análise da qualidade geométrica. *Revista Brasileira de Cartografia*. vol. 63, n. especial, p. 65-74. 2011.
- PINTO-CORREIA, T.; CANCELA D’ABREU, A.; OLIVEIRA, R. Identificação de unidades de paisagem: metodologia aplicada a Portugal Continental. *Finisterra*. vol 23, n. 72, 2001, pp 195-206
- PIX4D CAPTURE: free app. *Flight planning mobile app for optimal mapping data with your drone*, s/d. Disponível em <<https://pix4d.com/product/pix4dcapture/>>. Acesso em set. 2018.
- PUREZA, Fabiana; PELLIN Angela; PÁDUA, Claudio. *Unidades de Conservação*. São Paulo: Matrix, 2015.
- REGIONE EMILIA-ROMAGNA. *Piano Territoriale Paesistico Regionale*. Delibere del consiglio regionale n. 1388 del 28/01/1993 e n. 1551 del 14/07/1993. Bologna, 1993, 156 p.
- REGIONE EMILIA-ROMAGNA. *Legge Regionale n. 20 del 24 marzo 2000*. Disciplina generale sulla tutela e l’uso del territorio. Bollettino Ufficiale della Regione Emilia-Romagna n. 52 del 27 marzo 2000.
- REGIONE EMILIA-ROMAGNA. *Atlante degli ambiti paesaggistici*. Adeguamento del PTPR dell’Emilia-Romagna. Bologna, 2010, 313 p.
- REGIONE EMILIA-ROMAGNA. *Gli ambiti paesaggistici: Areali per la gestione del paesaggio*. PTPR Emilia-Romagna. Adeguamento al Codice dei Beni Culturali e del Paesaggio e alla Convenzione Europea del Paesaggio. Bologna, 2011, 64 p.

- REMONDINO, F.; BARAZZETTI, L.; NEX, F.; SCAIONI, M., SARAZZI, D. UAV photogrammetry for mapping and 3D modeling – current status and future perspectives. In: INTERNATIONAL ARCHIVES OF THE PHOTOGRAMMETRY, REMOTE SENSING AND SPATIAL INFORMATION SCIENCES, 38, 2011, Zurich. *Analys of ISPRS*, Zurich, Set. 2011.
- REMONDINO, Fábio; EL-HAKIM, Sabry F.; GRUEN, Armin; ZHANG, Li. Turning images into 3D models. *IEEE Signal Processing Magazine*. vol 25, n 4, p. 55-64. 2008.
- SALGUEIRO, Teresa Barata. Paisagem e Geografia. *Finisterra*, vol 36, n. 72, 2001, pp. 37-53
- SANTOS, A. P. *Avaliação da acurácia posicional em dados espaciais com o uso de estatística espacial*. 2010, 110 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2010.
- 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 (online)*, vol 21, n. 2, p. 233-250. 2015.
- SANTOS, A. P.; RODRIGUES, D. D.; SANTOS, N. T.; GRIPP JUNIOR, J. Avaliação da acurácia posicional em dados espaciais utilizando estatística espacial: proposta de método e exemplo utilizando a norma brasileira. *Boletim Ciências Geodésicas (online)*, vol. 22, n. 4, p. 630-650. 2016.
- SANTOS, Ivaneide de Oliveira. Representação e valorização do patrimônio geológico: recursos interativos online no cânion do rio São Francisco no Brasil e de lugares de interesse geológico em Portugal utilizando realidade aumentada. 2017, 268 f. Tese (Doutorado em Geociências). Universidade Federal de Pernambuco, BDTD, Recife, 2017.
- SAUER, C. O. A morfologia da paisagem. In: CORRÊA, R. L.; ROSENDAHL, Z. (Org.). *Paisagem, tempo e cultura*. Rio de Janeiro: EDUERJ, 1998.
- SCHIER, Raul Alfredo. Trajetórias do conceito de paisagem na geografia. *RA'E GA*, n.7, 2003, pp. 79-85
- SERENI, Emilio. *Storia del paesaggio agrario italiano*. Bari: Laterza, 1961, 439 p.
- SILVA, Cristiano Alves; DUARTE, Cynthia Romariz; SANTOS, André Luis Silva; AMARO, Venerando Eustáquio; BICHO, Cristina Prando; SABADIA, José Antônio Beltrão. Avaliação da acurácia do cálculo de volume de pilhas de rejeito utilizando VANT, GNSS e LiDAR. *Boletim de Ciências Geodésicas (online)*. vol. 22, n. 1, p. 73-94. 2016.
- SILVA, Priscila de Lima; CRUZ, Diego Teles; SANTOS, Afonso de Paula. Estudo comparativo entre a acurácia posicional planimétrica de ortofotos com GSD médio distintos. In: SIMPÓSIO DE GEOTECNOLOGIAS NO PANTANAL, 7, 2018, Jardim. *Anais...* Jardim: EMBRAPA/INPE, 2018. p. 132-141.
- SNAVELY, Keith N. *Scene Reconstruction and Visualization from Internet Photo Collections*. 2008, 192 f. Dissertation (PhD in Computer Science & Engineering). University of Washington, Seattle, 2008
- SOUZA, Nilda Pessoa de. *Sistemas Alternativos para Obtenção de Imagens Aéreas e sua Aplicação na Agricultura*. 1999, 132 f. Dissertação (Mestrado em Ciência da Computação e Matemática Computacional). Universidade de São Paulo, Biblioteca Achille Bassi, São Paulo, 1999.
- STEINITZ, Carl. *Um Framework para o Geodesing: alterando a Geografia através do Design*. Traduzido por Ana Clara Mourão Moura. USA: Esri Press, 2012. 208 p.
- TOMLIN, C. Dana. *Speaking of Geodesign*. Bernburg: [s.n.], 2011. p. 180-188.
- TONDELLI, Simona. *Simona Tondelli*: inédito. Bolonha: UniBo, 2020. Entrevista concedida a Danilo Magalhães.

- TORRES, Fernanda Magri. Montagem e avaliação de um sistema de varredura a laser embarcado em VANT. 2016, 128 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Cartográficas). Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Campus Presidente Prudente, Presidente Prudente, 2016.
- TRICART, Jean. *Ecodinâmica*. Rio de Janeiro: IBGE, Diretoria Técnica, SUPREN. 1977, 91 p.
- ULLMAN, S. The interpretation of structure from motion. *Proceedings of the Royal Society*. vol. 203, pp. 405–426, 1979.
- US NAVY. *Unmanned Aircraft Systems (UAS) Encyclopedia: UAVs, Drones, Remotely Piloted Aircraft (RPA), Weapons and Surveillance – Roadmap, Flight Plan, Reliability Study, Systems News and Notes*. Department of Defense, 2011. 306 p.
- VIANA, Diógenes Carvalho. *Análise da qualidade cartográfica de MDS e MDE gerados por VANT e refinados com uso de dados GNSS RTK*. 2017, 56 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2017.
- VILLAÇA, Flávio. Uma contribuição para a história do planejamento urbano no Brasil. In: DEÁK, Csaba; SCHIFFER, Sueli Ramos (org.) *O processo de urbanização no Brasil*. São Paulo: EdUSP, 1999. pp. 169-243.
- VILLAÇA, Flávio. *As ilusões do Plano Diretor*. São Paulo: Ed. Autor, 2005, 94 p.
- VINTAGE WING. Desenvolvido por Vintage Wing. Apresenta a história de surgimento e evolução dos drones por meio do artigo *Mother of all drones*. s/d. Disponível em <<http://www.vintagewings.ca/VintageNews/Stories/tabid/116/articleType/ArticleView/articleId/484/The-Mother-of-All-Drones.aspx>>. Acesso em 04 nov. 2018
- VITTE, Antônio Carlos. O desenvolvimento do conceito de paisagem e sua inserção na geografia física. *Mercator*, ano 06, n. 11, 2007 p. 71 – 78
- VITTE, Antonio Carlos; SILVEIRA, Roberison Wittgenstein Dias da. Considerações sobre os conceitos de natureza, espaço e morfologia em Alexander von Humboldt e a gênese da geografia física moderna. *História, Ciências, Saúde – Manguinhos*. Rio de Janeiro, v.17, n.3, jul-set. 2010, p. 607-626.
- WANG, J.; LI, C. Acquisition of UAV Images and The Application in 3D City Modeling. In. INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON PHOTOELECTRONIC DETECTION AND IMAGING, 2007, Beijing. *Proceedings...* Beijing, 2007, p. 66230Z-1- 66230Z-11
- WATANABE, Y.; KAWAHARA, Y. UAV photogrammetry for monitoring changes in river topography and vegetation. *Procedia Engineering*. vol. 154, n. 1, p. 317–325. 2016.
- WATTS, Adam C.; AMBROSIA, Vicent G.; HINKLEY, Everett A. Unmanned Aircraft Systems in Remote Sensing and Scientific Research: Classification and Considerations of Use. *Remote Sensing*. vol. 4, n. 1, p. 1671-1692. 2012.
- WOLF, P. R.; DEWITT, B. A. *Elements of photogrammetry: with applications in GIS*. 3ª ed. Boston: McGraw-Hill. 2000. 640 p.
- WOOD, Jo; KIRSCHENBAUER, Sabine; DÖLLNER, Jürgen; LOPES, Adriano; BODUM, Lars. Using 3D visualization. In: DYKES, Jason; MACEACHREN, Alan M.; KRAAK, Menno-Jan (orgs.). *Exploring geovisualization*. International Cartographic Association. Amsterdam: Elsevier, 2005. cap. 14, p. 295-312.
- WOOD, Michael. Visualization in historical context. In MACEACHREN, Alan M.; TAYLOR, D. R. Fraser. *Visualization in modern cartography*. New York: Pergamon, 1994. cap. 2, p. 13-26.

- YILMAZ, Cidgem Serifoglu; GUNGOR, Oguz. Comparison of the performances of ground filtering algorithms and DTM generation from a UAV-based cloud. *Geocarto Internacional*. vol. 33, n. 5, p. 522-537. Nov. 2016
- ZANETTI, J.; GRIPP JUNIOR, J.; SANTOS, A. P. Influência do número de pontos de controle em ortofotos geradas a partir de um levantamento por VANT. *Revista Brasileira de Cartografia*, vol. 69, n. 2, p. 263-277. 2017.
- ZHU, Qing; ZHANG, Yunsheng; WU, Bo; ZHANG, Yeting. Multiple close-range image matching based on a self-adaptative triangle constraint. *The Photogrammetric Record*. vol 135, n. 25, p. 437-453, 2010.
- ZYNGIER, C. M. *Paisagens Urbanas Possíveis: códigos compartilhados através do Sistema de Suporte ao Planejamento e do Geodesign*. Orientadora Ana Clara Mourão Moura. 2016, 279 f. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo). Escola de Arquitetura, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2016b.
- ZYNGIER, Camila Marques. Paisagens urbanas possíveis: códigos compartilhados na construção coletiva de cenários. In.: MOURA, Ana Clara Mourão (Org.) *Tecnologias de geoinformação para representar e planejar o território urbano*. Rio de Janeiro: Interciência, 2016a. cap. 4, p. 61-88.

ANEXO I – Quadro de referências bibliográficas dos estudos de mestrado e doutorado relacionados aos drones no Brasil por ordem cronológica

Autor	Ano	Citação
Souza	1999	SOUZA, NILDA PESSOA DE. Sistemas Alternativos para Obtenção de Imagens Aéreas e sua Aplicação na Agricultura' 01/04/1999 132 f. Mestrado em CIÊNCIAS DA COMPUTAÇÃO E MATEMÁTICA COMPUTACIONAL Instituição de Ensino: UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO, São Paulo Biblioteca Depositária: Achille Bassi
Monteiro	2000	MONTEIRO, Sérgio Arraes. Metodologia de mapeamento aéreo com fotografias de pequeno formato aplicadas no planejamento e gerenciamento de unidades de conservação. 2000, 145 f. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2000.
Chavier	2005	Chavier, Luis Fernando Curci. SciaGeo - Um sistema para captura de imagens aéreas georeferenciadas' 01/05/2005 95 f. Mestrado em CIÊNCIAS DA COMPUTAÇÃO E MATEMÁTICA COMPUTACIONAL Instituição de Ensino: UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO/SÃO CARLOS, SÃO CARLOS Biblioteca Depositária: Prof. Achille Bassi
Babinsck	2006	Babinsck, Alex Pinto. DETERMINAÇÃO DA LINHA DE COSTA POR MEIO DA MONORRESTITUIÇÃO DIGITAL DE IMAGENS DE CÂMARAS DE PEQUENO FORMATO E TÉCNICAS GPS' 01/02/2006 139 f. Mestrado em CIÊNCIAS GEODÉSICAS Instituição de Ensino: UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ, CURITIBA Biblioteca Depositária: Biblioteca Central da UFPR
Bernardo	2007	Bernardo, Ricardo Maroquio. SimuBlimp - Uma Contribuição ao Desenvolvimento de Algoritmos Inteligentes para uma Equipe de Dirigíveis Robóticos Autônomos' 01/07/2007 176 f. Mestrado em SISTEMAS E COMPUTAÇÃO Instituição de Ensino: INSTITUTO MILITAR DE ENGENHARIA, Rio de Janeiro Biblioteca Depositária: IME
Vidal	2007	Vidal, Fabio Silveira. Sistema de Navegação para Dirigíveis Aéreos Não-Tripulados Baseado em Imagens' 01/05/2007 231 f. Mestrado em SISTEMAS E COMPUTAÇÃO Instituição de Ensino: INSTITUTO MILITAR DE ENGENHARIA, Rio de Janeiro Biblioteca Depositária: IME
Correa	2008	Correa, Marlos de Mendonça. Geração de Movimentos em Trajetórias Ajustáveis para Veículos Autônomos Aéreos não Tripulados.' 01/02/2008 98 f. Mestrado em SISTEMAS E COMPUTAÇÃO Instituição de Ensino: INSTITUTO MILITAR DE ENGENHARIA, Rio de Janeiro Biblioteca Depositária: IME
Hackbart	2008	Hackbart, Theo. Desenvolvimento de Veículos Aéreos Não Tripulados para Sondagem da Atmosfera' 01/11/2008 98 f. Mestrado em METEOROLOGIA Instituição de Ensino: UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELotas, PELotas Biblioteca Depositária: Biblioteca de Ciência e Tecnologia
Neto	2008	Neto, Armando Alves. Geração de trajetórias para veículos aéreos autônomos não-tripulados' 01/08/2008 124 f. Mestrado em CIÊNCIAS DA COMPUTAÇÃO Instituição de Ensino: UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS, BELO HORIZONTE Biblioteca Depositária: Biblioteca Central da UFMG
Suzuki	2009	Suzuki, Nilton Kazuo Gomes. Proposta de uma arquitetura de controle híbrida Fuzzy-PID para a realização de manobras em VANTS.' 01/09/2009 100 f. Mestrado em COMPUTAÇÃO Instituição de Ensino: UNIVERSIDADE DO VALE DO ITAJAÍ, Itajaí Biblioteca Depositária: BCC UNIVALI
Martinelli	2012	Martinelli, Thiago Henrique. Adaptação de stream de vídeo em veículos aéreos não tripulados' 01/09/2012 112 f. Mestrado em CIÊNCIAS DA COMPUTAÇÃO E MATEMÁTICA COMPUTACIONAL Instituição de Ensino: UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO/SÃO CARLOS, SÃO CARLOS Biblioteca Depositária: Prof. Dr. Achille Bassi - ICMC/USP
Albuquerque	2013	ALBUQUERQUE, JOSE CARLOS DE. INVESTIGAÇÃO DO USO DE VANTS EM REDES OPORTUNÍSTICAS ESPARSAS' 03/10/2013 79 f. Mestrado em INFORMÁTICA Instituição de Ensino: UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO, Rio de Janeiro Biblioteca Depositária: Central da UNIRIO
Angonese	2013	ANGONESE, ALBERTO TORRES. ESTAÇÃO DE CONTROLE EM SOLO COM FUNCIONALIDADES DE VOO MÚLTIPLO PARA VANTS' 07/06/2013 111 f. Mestrado em SISTEMAS E COMPUTAÇÃO Instituição de Ensino: INSTITUTO MILITAR DE ENGENHARIA, Rio de Janeiro Biblioteca Depositária: INSTITUTO MILITAR DE ENGENHARIA
Carvalho	2014	CARVALHO, ELDA NUNES DE. Planejamento de Caminhos Tridimensionais para Veículos Aéreos Não Tripulados.' 28/03/2014 69 f. Mestrado em INFORMÁTICA Instituição de Ensino: Universidade Federal do Amazonas, Manaus Biblioteca Depositária: Setorial
Ferreira	2014	FERREIRA, ALEXANDRE MORENO RICHWIN. "AVALIAÇÃO DE CÂMARA DE PEQUENO FORMATO TRANSPORTADA POR VEÍCULO AÉREO NÃO TRIPULADO – VANT, PARA USO EM AEROLEVANTAMENTOS." 28/08/2014 93 f. Mestrado em GEOCIÊNCIAS APLICADAS Instituição de Ensino: UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA, Brasília Biblioteca Depositária: BCE
Júnior	2014	JUNIOR, ANTONIO LISBOA FERNANDES. INTERPRETAÇÃO DE IMAGENS DE GPR EM AMBIENTE CÁRSTICO GUIADA POR COMPARAÇÃO COM AFLORAMENTOS E IMAGENS DE VEÍCULO AÉREO NÃO TRIPULADO' 30/07/2014 64 f. Mestrado em GEODINÂMICA E GEOFÍSICA Instituição de Ensino: UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE, Natal Biblioteca Depositária: Biblioteca Central Zila Mamede
Pires	2014	PIRES, RAYNER DE MELO. Desenvolvimento de um mecanismo plug-and-play para o arranjo inteligente de sensores em sistemas aéreos não tripulados' 06/02/2014 82 f. Mestrado em CIÊNCIAS DA COMPUTAÇÃO E MATEMÁTICA COMPUTACIONAL Instituição de Ensino: UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO/SÃO CARLOS, São Carlos Biblioteca Depositária: Prof. Dr. Achille Bassi
Freitas	2015	FREITAS, EMORY RAPHAEL VIANA. Um Planejador de Rotas para Múltiplos Veículos Aéreos Não-Tripulados' 20/03/2015 64 f. Mestrado em INFORMÁTICA Instituição de Ensino: Universidade Federal do Amazonas, Manaus Biblioteca Depositária: Biblioteca Central da UFAM

Luz	2015	LUZ, CRISTHYANO CAVALI DA. AVALIAÇÃO DA EXATIDÃO ABSOLUTA DE ORTOFOTO OBTIDA POR MEIO DE DADOS BRUTOS ORIUNDOS DE VEÍCULOS AÉREOS NÃO TRIPULADOS (SISVANT)' 27/01/2015 119 f. Mestrado em CIÊNCIAS GEODÉSICAS Instituição de Ensino: UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ, Curitiba Biblioteca Depositária: Central da UFPR
Mattei	2015	MATTEI, ANDRE LUIZ PIERRE. Consciência situacional em voo de sistemas aéreos não tripulados' 27/07/2015 257 f. Doutorado em CIÊNCIAS DA COMPUTAÇÃO E MATEMÁTICA COMPUTACIONAL Instituição de Ensino: UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO/SÃO CARLOS, São Carlos Biblioteca Depositária: Prof. Dr. Achille Bassi
Oliveira	2015	OLIVEIRA, PAULO ROBERTO DE. Apoio computacional para teste de invasão em sistemas de comunicação de VANTS' 31/07/2015 85 f. Mestrado em CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO Instituição de Ensino: UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ, Maringá Biblioteca Depositária: Biblioteca Central - UEM, Maringá, PR, Brasil
Rodrigues	2015	RODRIGUES, ANDERSON CRIVELLA DE CARVALHO. Fusão de sensores para um VANT via suavização incremental baseada em grafos-fatores' 04/02/2015 undefined f. Mestrado em SISTEMAS E COMPUTAÇÃO Instituição de Ensino: INSTITUTO MILITAR DE ENGENHARIA, Rio de Janeiro
Saito	2015	SAITO, ERIKA AKEMI. IDENTIFICAÇÃO DE BANDAS ESPECTRAIS PARA DETECÇÃO DE CULTURA DE CANA-DE-AÇÚCAR SADIA E DOENTE UTILIZANDO CÂMARA HIPERESPECTRAL EMBARCADA EM VANT' 18/12/2015 147 f. Doutorado em CIÊNCIAS CARTOGRÁFICAS Instituição de Ensino: UNIVERSIDADE EST. PAULISTA JÚLIO DE MESQUITA FILHO/PR. PRUDENTE, Presidente Prudente Biblioteca Depositária: UNESP, Presidente Prudente
Silva	2015	SILVA, Cristiano Alves da. Avaliação da acurácia dos ortomosaicos e modelos digitais do terreno gerados por VANT e sua aplicação no cálculo de volume de pilhas de rejeito da Pedra Cariri. 2015. 146 f. Dissertação (Mestrado em Geologia) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2015.
Vieira	2015	VIEIRA, HEITOR DE FREITAS. Provendo resiliência em uma rede de sensores sem fio linear e esparsa através de veículo aéreo não tripulado' 06/04/2015 56 f. Mestrado em CIÊNCIAS DA COMPUTAÇÃO E MATEMÁTICA COMPUTACIONAL Instituição de Ensino: UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO/SÃO CARLOS, São Carlos Biblioteca Depositária: Prof. Dr. Achille Bassi
Arantes	2016	ARANTES, JESIMAR DA SILVA. Planejamento de rota para VANTS em caso de situação crítica: Uma abordagem baseada em segurança' 18/03/2016 154 f. Mestrado em CIÊNCIAS DA COMPUTAÇÃO E MATEMÁTICA COMPUTACIONAL Instituição de Ensino: UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO (SÃO CARLOS), São Carlos Biblioteca Depositária: Prof. Dr. Achille Bassi – ICMC-USP
Campos	2016	CAMPOS, IGOR SALES DA GAMA. Uma metodologia de estimação de altura a partir de visão monocular para voos acompanhando o relevo' 08/07/2016 undefined f. Mestrado em CIÊNCIAS DA COMPUTAÇÃO Instituição de Ensino: UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS, Belo Horizonte Biblioteca Depositária: Biblioteca Universitária da Universidade Federal de Minas Gerais
Cerbaro	2016	CERBARO, VINICIUS ANDREI. Crop Drone: Uma Plataforma Para Coleta, Armazenamento E Disponibilização De Dados Agrícolas' 14/03/2016 89 f. Mestrado Profissional em Computação Aplicada Instituição de Ensino: FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE DE PASSO FUNDO, Passo Fundo Biblioteca Depositária: undefined
Figueira	2016	FIGUEIRA, NINA MACHADO. Arranjos de sensores orientados à missão para a geração automática de mapas temáticos em VANTS' 03/02/2016 202 f. Doutorado em CIÊNCIAS DA COMPUTAÇÃO E MATEMÁTICA COMPUTACIONAL Instituição de Ensino: UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO (SÃO CARLOS), São Carlos Biblioteca Depositária: Prof. Dr. Achille Bassi – ICMC-USP
Marconato	2016	MARCONATO, EMERSON ALBERTO. Modelo de arquitetura em camadas para interconexão de sistemas em SANT' 11/11/2016 237 f. Doutorado em CIÊNCIAS DA COMPUTAÇÃO E MATEMÁTICA COMPUTACIONAL Instituição de Ensino: UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO (SÃO CARLOS), São Carlos Biblioteca Depositária: Prof. Achille Bassi
Ming	2016	MING, CHANG HSUN. Simulações empregando a decomposição de Adomian para resolver as equações da dinâmica de voo de quadrotores' 26/02/2016 65 f. Mestrado em CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO Instituição de Ensino: UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA JÚLIO DE MESQUITA FILHO (SÃO JOSÉ DO RIO PRETO), São Paulo Biblioteca Depositária: UNESP/Campus de São José do Rio Preto
Miyoshi	2016	MIYOSHI, GABRIELA TAKAHASHI. CARACTERIZAÇÃO ESPECTRAL DE ESPÉCIES DE MATA ATLÂNTICA DE INTERIOR EM NÍVEL FOLIAR E DE COPA' 29/02/2016 142 f. Mestrado em CIÊNCIAS CARTOGRÁFICAS Instituição de Ensino: UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA JÚLIO DE MESQUITA FILHO (PRESIDENTE PRUDENTE), Presidente Prudente Biblioteca Depositária: UNESP, PRESIDENTE PRUDENTE
Neto	2016	NETO, MANOEL PEDRO DE MEDEIROS. Veículos Aéreos Não Tripulados e Sistema de Entrega: Estudo, Desenvolvimento e Testes' 29/02/2016 undefined f. Mestrado em SISTEMAS E COMPUTAÇÃO Instituição de Ensino: UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE
Silva	2016	SILVA, ALBERTO ROGERIO E. HEALTHDRONES - Uma Plataforma em Software para Controle de Veículos Não Tripulados e Planejamento de Trajetórias' 20/10/2016 71 f. Mestrado em Informática Aplicada Instituição de Ensino: UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO, Recife Biblioteca Depositária: Biblioteca Central UFRPE
Silva	2016	SILVA, Orildo de Lima e. Evolução dos processos de cartificação da formação Jandaíra, Bacia Potiguar, utilizando dados obtidos por LiDAR e VANT. 2016. 128f. Dissertação (Mestrado em Geodinâmica e Geofísica) - Centro de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2016.
Silva	2016	SILVA, THIAGO WERLLEY BANDEIRA DA. Aplicação do Problema do Caixeiro Viajante (PCV) em um Planejamento de Trajetória no Setor Agrícola (PTSA) Utilizando um Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT)' 05/02/2016 undefined f. Mestrado em INFORMÁTICA Instituição de Ensino: UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA (JOÃO PESSOA), João Pessoa Biblioteca Depositária: undefined
Silva	2016	SILVA, JONAS FERNANDES DA. Uma solução de baixo custo para o processamento de imagens aéreas obtidas por Veículos Aéreos Não Tripulados' 19/02/2016 undefined f. Mestrado em INFORMÁTICA Instituição de Ensino: UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA (JOÃO PESSOA), João Pessoa Biblioteca Depositária: undefined
Torres	2016	TORRES, FERNANDA MAGRI. MONTAGEM E AVALIAÇÃO DE UM SISTEMA DE VARREDURA A LASER EMBARCADO EM VANT' 31/03/2016 128 f. Mestrado em CIÊNCIAS CARTOGRÁFICAS Instituição de Ensino:

		UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA JÚLIO DE MESQUITA FILHO (PRESIDENTE PRUDENTE), Presidente Prudente Biblioteca Depositária: UNESP, PRESIDENTE PRUDENTE
Barros	2017	BARROS, José de Sousa. Uma ferramenta para avaliar estratégias de voos de VANTs usando cossimulação. 2017. 77 f. Dissertação (Mestrado em Informática)- Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2017.
Cardoso	2017	CARDOSO, Cristiano Borges. Droneighbor: solução híbrida para os problemas de localização 3D e sincronização em RSSFs. 2017. 1 recurso online (63 p.). Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Computação, Campinas, SP. Disponível em: <http://www.repositorio.unicamp.br/handle/REPOSIP/331224>. Acesso em: 3 set. 2018.
Ferreira	2017	FERREIRA, ALESSANDRO DOS SANTOS. Redes Neurais Convolucionais Profundas na Detecção de Plantas Daninhas em Lavoura de Soja' 16/03/2017 80 f. Mestrado em CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO Instituição de Ensino: FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL, Campo Grande Biblioteca Depositária: Biblioteca Central da Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Gonçalves	2017	GONCALVES, ELIAS DE SOUZA. Fusão de Sensores para Localização de um VANT de Asa Fixa em Ambiente com Restrições do GPS usando Cointegração' 01/02/2017 undefined f. Mestrado em SISTEMAS E COMPUTAÇÃO Instituição de Ensino: INSTITUTO MILITAR DE ENGENHARIA, Rio de Janeiro Biblioteca Depositária: undefined
Mantinelli	2017	MANTELLI, MATHIAS FASSINI. Um Novo Modelo de Observação para o MCL Aplicado ao Problema de Localização Global de VANTs sobre Imagens de Satélite' 24/02/2017 85 f. Mestrado em COMPUTAÇÃO Instituição de Ensino: UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL, Porto Alegre Biblioteca Depositária: Biblioteca do Instituto de Informática da UFRGS
Oliveira	2017	OLIVEIRA, RAQUEL ALVES DE. Generation of hyperspectral Digital Surface Model for forest areas with hyperspectral 2D frame camera on-board RPAS' 29/06/2017 157 f. Doutorado em CIÊNCIAS CARTOGRÁFICAS Instituição de Ensino: UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA JÚLIO DE MESQUITA FILHO (PRESIDENTE PRUDENTE), Presidente Prudente Biblioteca Depositária: https://repositorio.unesp.br/handle/11449/152245
Oliveira	2017	OLIVEIRA, LUANA THAYZA DE. AVALIAÇÃO DO USO DE SENSOR TERMAL A BORDO DE VANT ATRAVÉS DE ANÁLISES RADIOMÉTRICAS, ESPECTRAIS, ESPACIAIS E POSICIONAIS' 15/05/2017 undefined f. Mestrado em SENSORIAMENTO REMOTO Instituição de Ensino: INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS, São José dos Campos Biblioteca Depositária: undefined
Roberto	2017	ROBERTO, LEANDRO. ACURÁCIA DO POSICIONAMENTO E DA ORIENTAÇÃO ESPACIAL DE VEÍCULOS AÉREOS A PARTIR DE IMAGENS DE CÂMERAS DE PEQUENO FORMATO EMBARCADAS' 23/11/2017 undefined f. Mestrado em SENSORIAMENTO REMOTO Instituição de Ensino: INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS, São José dos Campos Biblioteca Depositária: < http://urlib.net/8JMKD3MGP3W34P/3PTQDCS >
Santos	2017	SANTOS, IVANEIDE DE OLIVEIRA. REPRESENTAÇÃO E VALORIZAÇÃO DO PATRIMÔNIO GEOLÓGICO: RECURSOS INTERATIVOS ONLINE NO CÂNION DO RIO SÃO FRANCISCO NO BRASIL E DE LUGARES DE INTERESSE GEOLÓGICO EM PORTUGAL UTILIZANDO REALIDADE AUMENTADA' 20/06/2017 268 f. Doutorado em GEOCIÊNCIAS Instituição de Ensino: UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO, Recife Biblioteca Depositária: Repositório Institucional - Biblioteca Digital de Teses e Dissertações da UFPE - BDTD
Soares	2017	SOARES, Douglas Aparecido. Desenvolvimento de um sistema portátil e de baixo custo de estação de controle em terra para VANTs. 2017. 64 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia da Computação) – Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2017.
Barros	2018	BARROS, JOSE ERICO DO NASCIMENTO. ANÁLISE DE FALHAS NO CULTIVO DE CANA DE AÇÚCAR A PARTIR DE IMAGENS DE AERONAVE REMOTAMENTE PILOTADA' 30/08/2018 57 f. Mestrado em CIÊNCIAS GEODÉSICAS E TECNOLOGIAS DA GEOINFORMAÇÃO Instituição de Ensino: UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO, Recife Biblioteca Depositária: CENTRAL DA UFPE
Camargo	2018	CAMARGO, DIEGO COELHO SILVA DE. APLICABILIDADE DO USO DE VEÍCULOS AÉREOS NÃO TRIPULADOS NO MONITORAMENTO E GESTÃO DE UNIDADES DE CONSERVAÇÃO: ESTUDO DE CASO DA ESTAÇÃO ECOLÓGICA DO TAIM – RS' 22/03/2018 undefined f. Mestrado em SENSORIAMENTO REMOTO Instituição de Ensino: UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL, Porto Alegre Biblioteca Depositária: undefined
Cunha	2018	CUNHA, João Paulo Lopes da. Mapeamento cadastral de sítios arqueológicos com uso de dados remotamente adquiridos: um exemplo do mapeamento de petróglifos do Sítio Arqueológico do Bisnau. 2018. 162 f., il. Dissertação (Mestrado em Geociências Aplicadas)—Universidade de Brasília, Brasília, 2018.
Herrera	2018	HERRERA, JOAO PAULO. Reconhecimento de capim-annoni em meio à forrageiras nativas do bioma Pampa por análise de textura' 22/10/2018 89 f. Mestrado em CIÊNCIAS DA COMPUTAÇÃO E MATEMÁTICA COMPUTACIONAL Instituição de Ensino: UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO (SÃO CARLOS), São Carlos Biblioteca Depositária: Prof. Achille Bassi
Koslosky	2018	KOSLOSKY, EMANOEL. Geração de trajetória em espiral e navegação com desvio de obstáculos para veículos aéreos não-tripulados' 24/10/2018 undefined f. Mestrado Profissional em Computação Aplicada Instituição de Ensino: UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ, Curitiba Biblioteca Depositária: BIBLIOTECA DA UTFPR CAMPUS CURITIBA
Machado	2018	MACHADO, MARCELA DO VALLE. Sincronização por pós-processamento de um Sistema de Varredura a LASER embarcado em VANT' 23/02/2018 123 f. Mestrado em CIÊNCIAS CARTOGRÁFICAS Instituição de Ensino: UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA JÚLIO DE MESQUITA FILHO (PRESIDENTE PRUDENTE), Presidente Prudente
Madruça	2018	MADRUGA, SARAH PONTES. Projeto de Sistema de Controle Embarcado para Controle de Voo de Quadricópteros' 24/07/2018 undefined f. Mestrado em INFORMÁTICA Instituição de Ensino: UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA (JOÃO PESSOA), João Pessoa Biblioteca Depositária: undefined
Martins	2018	MARTINS, WANDER MENDES. ESTUDO DE ALGORITMOS DE VISÃO COMPUTACIONAL PARA IDENTIFICAÇÃO E DESVIO DE OBJETOS EM TEMPO REAL: UMA APLICAÇÃO PARA QUADROTORES'

		07/12/2018 92 f. Mestrado em CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA COMPUTAÇÃO Instituição de Ensino: UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ, Itajubá Biblioteca Depositária: BIM - Biblioteca Mauá
Oliveira	2018	OLIVEIRA, HUGO ANDRADE DE. Controle de Atitude Adaptativo Neuro-fuzzy Genético para um Veículo Aéreo não Tripulado Autônomo' 06/02/2017 undefined f. Mestrado em SISTEMAS E COMPUTAÇÃO Instituição de Ensino: INSTITUTO MILITAR DE ENGENHARIA, Rio de Janeiro Biblioteca Depositária: undefined
Paiva	2018	PAIVA, GLEISIO GARCIA DE. Uma arquitetura para planejamento e acompanhamento de voo de VANTs em ambientes de multiprojção' 06/03/2018 90 f. Mestrado em CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO Instituição de Ensino: UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS, São Carlos Biblioteca Depositária: BCo UFSCar
Roos	2018	ROOS, DANIEL RODRIGUES. Aprendizado de Máquina Aplicado à Odometria Visual para Estimação de Posição de Veículos Aéreos Não Tripulados' 31/07/2018 110 f. Mestrado em Ciência da Computação Instituição de Ensino: UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO PAULO, São José dos Campos Biblioteca Depositária: Biblioteca do Campus São José dos Campos da UNIFESP
Serejo	2018	SEREJO, Gerson Lima. Estimativa da produção de uma lavoura através de imagens digitais capturadas por veículo aéreo não tripulado (VANT). Orientadora: Viviane Almeida dos Santos; Coorientadora: Ana Claudia S. Gomes. 2018. 110 f. Dissertação (Mestrado em Computação Aplicada) – Núcleo de Desenvolvimento Amazônico em Engenharia, Universidade Federal do Pará, Tucuruí, 2018. Disponível em: http://repositorio.ufpa.br:8080/jspui/handle/2011/12562 . Acesso em: .
Silva	2018	SILVA, NATASSYA BARLATE FLORO DA. Desenvolvimento de um veículo aéreo não tripulado autônomo – especificação de uma aeronave asa-fixa capaz de decolar e aterrissar verticalmente' 29/03/2018 169 f. Doutorado em CIÊNCIAS DA COMPUTAÇÃO E MATEMÁTICA COMPUTACIONAL Instituição de Ensino: UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO (SÃO CARLOS), São Carlos Biblioteca Depositária: Prof. Achille Bassi
Silva	2018	SILVA, DANIEL QUINTINO. VIABILIDADE E ACURÁCIA DE VANT PARA O MONITORAMENTO COSTEIRO TRIDIMENSIONAL' 15/03/2018 96 f. Mestrado em CIÊNCIAS GEODÉSICAS E TECNOLOGIAS DA GEOINFORMAÇÃO Instituição de Ensino: UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO, Recife Biblioteca Depositária: CENTRAL DA UFPE
Souza	2018	SOUZA, GABRIEL DE. ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DAS CONFIGURAÇÕES DOS PONTOS DE APOIO E DO VOO NA ACURÁCIA DE ORTOFOTOMOSAICOS ELABORADOS A PARTIR DE DADOS DE VANT' 22/03/2018 undefined f. Mestrado em SENSORIAMENTO REMOTO Instituição de Ensino: UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL, Porto Alegre Biblioteca Depositária: undefined
Arantes	2019	ARANTES, JESIMAR DA SILVA. Sistema autônomo para supervisão de missão e segurança de voo em VANTs' 23/05/2019 217 f. Doutorado em CIÊNCIAS DA COMPUTAÇÃO E MATEMÁTICA COMPUTACIONAL Instituição de Ensino: UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO (SÃO CARLOS), São Carlos Biblioteca Depositária: Prof: Achille Bassi
Cambraia-Filho	2019	CAMBRAIA-FILHO, Dácio José. Utilização de índices de vegetação baseados na porção visível do espectro eletromagnético para monitoramento de fitofisnomias do Cerrado. 2019. 147 p. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Brasília, 2019
Casagrande	2019	CASAGRANDE, PEDRO BENEDITO. GEOLOGIA E GEOPROCESSAMENTO APLICADOS AO ORDENAMENTO TERRITORIAL' 19/12/2019 89 f. Doutorado em GEOLOGIA Instituição de Ensino: UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS, Belo Horizonte Biblioteca Depositária: Biblioteca Vitória Pedersoli - IGC
Filho	2019	FILHO, PAULO HONORIO. Uma abordagem de navegação de veículos aéreos não tripulados com uso de mapa topológico visual monocular' 22/02/2019 undefined f. Mestrado em Ciência da Computação Instituição de Ensino: INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO CEARÁ, Fortaleza Biblioteca Depositária: Biblioteca Waldyr Diogo de Siqueira
Forgiarini	2019	FORGIARINI, ANA PAULA PIAZZA. Quantificação da Influência da Geomorfologia e Urbanização no Recuo da Linha de Costa em Cenários de Elevação do Nível do Mar' 08/03/2019 45 f. Mestrado em OCEANOGRAFIA FÍSICA, QUÍMICA E GEOLÓGICA Instituição de Ensino: UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE, Rio Grande Biblioteca Depositária: setorial Oceano
Franco	2019	FRANCO, LUCAS DOS SANTOS. UM MÉTODO DE PLANEJAMENTO DE ROTAS DE VOO DE VANT MULTIROTOR PARA COBERTURA DE ÁREAS UTILIZANDO A META-HEURÍSTICA ACO' 09/12/2019 100 f. Mestrado em CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO Instituição de Ensino: UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS, São Carlos Biblioteca Depositária: BCo UFSCar
Furlan	2019	FURLAN, LUCAS MOREIRA. Hidrodinâmica em área úmida de cerrado na chapada sedimentar do oeste mineiro' 02/07/2019 107 f. Mestrado em GEOCIÊNCIAS E MEIO AMBIENTE Instituição de Ensino: UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA JÚLIO DE MESQUITA FILHO (RIO CLARO), Rio Claro Biblioteca Depositária: IGCE/UNESP/Rio Claro (SP)
Graça	2019	GRACA, NIARKIOS LUIZ SANTOS DE SALLES. ESTUDO DA INFLUÊNCIA DA GEOMETRIA DE VOO NA OBTENÇÃO DE PRODUTOS CARTOGRÁFICOS EMPREGANDO RECOBRIMENTO AÉREO COM VANT E TÉCNICA FOTOGRAFÉTRICA SFM' 27/02/2019 240 f. Doutorado em CIÊNCIAS GEODÉSICAS Instituição de Ensino: UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ, Curitiba Biblioteca Depositária: Central da UFPR
Guidoti	2019	GUIDOTI, FERNANDA PEREIRA. Proposta de uma arquitetura base para integração de VANT' 19/03/2019 undefined f. Mestrado em CIÊNCIAS DA COMPUTAÇÃO E MATEMÁTICA COMPUTACIONAL Instituição de Ensino: UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO (SÃO CARLOS), São Carlos Biblioteca Depositária: undefined
Oliveira	2019	OLIVEIRA, Alexandre de Jesus. Método automático para detecção de nematóides em lavoura cafeeira. 2019. 104 f. Dissertação (Mestrado em Ciência da Computação) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2019. Disponível em: http://dx.doi.org/10.14393/ufu.di.2019.2314 .
Olivetti	2019	OLIVETTI, Diogo. Câmeras multi e hiperespectral aerotransportadas: contribuições para monitoramento de qualidade de águas continentais. 2019. 144 f., il. Tese (Doutorado em Geociências Aplicadas)—Universidade de Brasília, Brasília, 2019.

Pinhata	2019	PINHATA, EDUARDO. ALGORITMOS PARA O PROBLEMA DE ENTREGA DE PACOTES AUXILIADA POR DRONE' 11/02/2019 148 f. Mestrado em Ciência da Computação Instituição de Ensino: UNIVERSIDADE FEDERAL DO ABC, Santo André Biblioteca Depositária: Ufabc
Pires	2019	PIRES, RAYNER DE MELO. Análise da disseminação de dados em redes FANET' 22/03/2019 123 f. Doutorado em CIÊNCIAS DA COMPUTAÇÃO E MATEMÁTICA COMPUTACIONAL Instituição de Ensino: UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO (SÃO CARLOS), São Carlos Biblioteca Depositária: Prof. Achille Bassi
Rabelo	2019	RABELO, JULIANA GOMES. ESTUDO DE ZONAS DE FRATURAS DE ALTA PERMEABILIDADE ATRAVÉS DE MAPEAMENTO ESTRUTURAL E MODELAGEM NUMÉRICA NA FORMAÇÃO JANDAÍRA, BACIA POTIGUAR' 27/11/2019 100 f. Doutorado em GEODINÂMICA E GEOFÍSICA Instituição de Ensino: UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE, Natal Biblioteca Depositária: Biblioteca Central Zila Mamede
Ribeiro	2019	RIBEIRO, LUCIANO DO VALE. Estudo de Algoritmos de Visão Computacional para Identificação e Rastreamento de Linhas de Transmissão de Energia Elétrica com Multitrotores' 06/12/2019 51 f. Mestrado em CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA COMPUTAÇÃO Instituição de Ensino: UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ, Itajubá Biblioteca Depositária: BIM - Biblioteca Mauá
Ruiz	2019	RUIZ, LUIS FERNANDO CHIMELO. PROPOSTA DE CLASSIFICAÇÃO E DE PÓS-CLASSIFICAÇÃO BASEADA EM OBJETOS DA COBERTURA E DO USO DA TERRA POR MEIO DE IMAGENS OBTIDAS POR VEÍCULO AÉREO NÃO TRIPULADO' 15/02/2019 undefined f. Doutorado em SENSORIAMENTO REMOTO Instituição de Ensino: UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL, Porto Alegre Biblioteca Depositária: undefined
Sampaio	2019	SAMPAIO, JESSICA VILLELA. CARACTERIZAÇÃO LABORATORIAL DE UMA CÂMERA INFRAVERMELHO TERMAL A BORDO DE VANT PARA FINS DE ESTIMATIVA DA TEMPERATURA DA ÁGUA EM UMA SEÇÃO DO RIO PARAÍBA DO SUL, JACARÉ-SP' 20/08/2019 undefined f. Mestrado em SENSORIAMENTO REMOTO Instituição de Ensino: INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS, São José dos Campos Biblioteca Depositária: < http://urlib.net/8JMKD3MGP3W34R/3U893C5 >
Serrão	2019	SERRAO, PEDRO FERNANDES. Formação e manutenção de correntes de retorno: influência da morfologia e das ondas incidentes' 26/02/2019 105 f. Mestrado em Oceanografia Instituição de Ensino: UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO, São Paulo Biblioteca Depositária: Biblioteca "Prof. Dr. Gelso Vazzoler" do IOUSP
Teixeira	2019	TEIXEIRA, ALISON ANDRE DOMINGUES. AVALIAÇÃO DA ACURÁCIA RADIOMÉTRICA DE IMAGEM DOS SENSORES SEQUOIA E MSI NA CULTURA DA AVEIA PRETA' 06/09/2019 undefined f. Mestrado em SENSORIAMENTO REMOTO Instituição de Ensino: UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL, Porto Alegre

ANEXO II – Descrittivo da UP 19 – Montagna Bolognese

Unità di paesaggio

n. 19, 19a: Montagna bolognese

Comuni interessati	Integralmente:	Castel d'Aiano, Gaggio Montano, Grizzana, Loiano, Marzabotto, Monghidoro, Montese, Monzuno, S. Benedetto V. Sambro, Vergato		
	Parzialmente:	Camugnano, Casalfiumanese, Castel S. Pietro, Castel del Rio, Castiglione de' Pepoli, Guiglia, Lizzano, Monte S. Pietro, Monterezeno, Ozzano, Pavullo, Pianoro, Porretta, Sasso Marconi, Savigno, Zocca		
Province interessate	Bologna, Modena			
Inquadramento territoriale	Superficie territoriale (KmQ)	1.096,75		
	Abitanti residenti (tot.)	54.582		
	Densità (ab/kmq)	49,76		
	Distribuzione della popolazione	Centri	31.362 (57%)	
		Nuclei	1.062 (2%)	
		Sparsa	22.158 (41%)	
	Temperatura media/annua (C°)	11,5		
Precipitazione media/annua (mm)	1.035			
Uso del suolo (ha)	Sup. agricola	62.095 (56,61%)		
	Sup. boscata	36.982 (33,72%)		
	Sup. urbanizzata	139 (0,13%)		
	Aree marginali	10.180 (9,29%)		
	Altri	275 (0,25%)		
Altimetria s.l.m. (per superfici in ha)	< 0	-		
	0 ÷ 40	-		
	40 ÷ 600	72.458 (66,07%)		
	600 ÷ 1200	37.188 (33,91%)		
	> 1200	25 (0,02%)		
Capacità d'uso (per superfici in ha)	Suoli con poche limitazioni	1.017		
	Suoli con talune limitazioni	648		
	Suoli con intense limitazioni	23.647		
	Suoli con limitazioni molto forti	18.764		
	Suoli con limitazioni ineliminabili	-		
	Suoli inadatti alla coltivazione	27.249		
	Suoli con limitazioni molto intense	22.913		

Clivometria (per superfici in ha)	Suoli inadatti a qualsiasi tipo di produzione	13.734
	Superfici occupate da fosse	-
Geologia	Superfici con pendenze > 35%	31.221
	Classe litologica prevalente	Suoli provenienti da rocce argillose o marnose
Stato di fatto della strumentazione urbanistica	Superficie in ha	81.375
	Comuni privi di strumento o con P.d.F.	2 (7%)
	Comuni con P.R.G. approvato ante L.R. 47/78	3 (11%)
	Comuni con P.R.G. approvato post L.R. 47/78 e ante D.M. 21/9/84	11 (41%)
Vincoli esistenti	Comuni con P.R.G. approvato post D.M. 21/9/84	11 (41%)
	<ul style="list-style-type: none"> • Vincolo idrogeologico; • Vincolo sismico; • Abitati soggetti a consolid. e trasferimento; • Vincolo paesistico; • Vincolo militare; • Oasi di protezione della fauna; • Zone soggette a controllo degli emungimenti. 	
Componenti del paesaggio ed elementi caratterizzanti	Elementi fisici	<ul style="list-style-type: none"> • Formazioni argillose ad elevata franosità, caratterizzate da una morfologia molto dolce (19a) su cui spiccano rilievi di tipo tabulare calcareo-arenacei dell'Appennino emiliano, delimitati da scarpate più o meno stabili (19); • Fenomeni carsici entro le formazioni calcaree e gessose.
	Elementi biologici	<ul style="list-style-type: none"> • Zone boscate alternate ad ampie aree coltivate in cui prevale la vegetazione forestale nelle pendici inaccessibili; • Fauna del piano submontano prevalentemente nei boschi cedui e ad alto fusto del querceto misto caducifoglio, alternati a seminativi.
	Elementi antropici	<ul style="list-style-type: none"> • Viabilità preromana, romana e medioevale; • Monasteri; • Insedimenti storici caratterizzati da particolari tipologie: torre difensiva, casa torre, casa con torre-colombaia; • Essicatoi per le castagne, mulini e ferriere; • Bacini artificiali; • Estese opere stradali e ferroviarie; • Rimboschimenti anche estesi vecchi e recenti; • Sistema insediativo della fondovalle Reno e sistema infrastrutturale della Val di Setta.
Invarianti	<ul style="list-style-type: none"> • Viabilità di crinale; 	

del paesaggio	<ul style="list-style-type: none"> • Estesi fenomeni franosi; • Case-torre in pietra arenaria. 	
Beni culturali di particolare interesse	<p>Beni culturali di interesse biologico - geologico</p> <p>Beni culturali di interesse socio - testimoniale</p>	<p>Contrafforte Pliocenico; Sassi di Roccamalatina; Popolamenti di betulla in località Bocca dei Ravari (Castel d'Aiano) e di pino silvestre nell'area di Monte Termine (Marzabotto e Grizzana Morandi).</p> <p>Borghi di edilizia medioevale con presenze comacine; Zone archeologiche di Misa e Monte Bibebe.</p>
Programmazione	Programma e progetti esistenti	<ul style="list-style-type: none"> • R.E.R.: Progetto di Parco di Monte Sole; • P.I.M.: Progetto di Parco Sassi di Roccamalatina..

ANEXO III – Exemplo de relatório de processamento no GeoPEC

GeoPEC

Avaliação do Padrão de Acurácia Posicional em Dados Espaciais

RELATÓRIO DE PROCESSAMENTO (completo)

DADOS DO PRODUTO

Produto: Ortomosaico 18 PC - 1:1000 Local:

Confisco

Data: agosto/2019

Responsável Técnico: Danilo Magalhães

CLASSIFICAÇÃO FINAL DO PRODUTO

Padrão de acurácia utilizado: Decreto n. 89.817/1984 - Análise Planimétrica Metodologia: Santos et al. (2016) com as tolerâncias PEC-PCD da ET-CQDG

O produto "Ortomosaico 18 PC - 1:1000", É ACURADO para a escala de 1/1000. O resultado do PEC-PCD foi "Classe A", de acordo com o Decreto n. 89.817 de 20 de junho de 1984, que regulamenta as normas cartográficas brasileiras, aliada às tolerâncias da ET-CQDG.

O produto foi submetido a análise de tendência e precisão em suas componentes posicionais, onde os resultados foram: É Preciso e Não há Tendência.

Pontos de checagem utilizados: 27 RMS das discrepâncias (m): 0,1635

INFORMAÇÕES GERAIS

Padrão de acurácia utilizado: Decreto n. 89.817/1984
Análise Planimétrica

PROCESSAMENTO

Escala de Referência: 1/1000 Pontos de checagem inseridos: 29 Pontos de checagem utilizados: 27

.....
OUTLIERS

>> Outliers detectados: 0
>> Valor limite - detecção: 0,9

.....
ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS

>> Média(E)= -0,047 Média(N)= 0,0085 Média(ABS)= 0,1087
>> Desv-pad(E)= 0,1451 Desv-pad(N)= 0,0658 Desv-pad(ABS)= 0,1245
>> RMS(E)= 0,1499 RMS(N)= 0,065 RMS(ABS)= 0,1635

..... PADRÃO
DE DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL

>> Vizinho mais próximo:
:: Área (m²) = 3400000
:: 1ª ordem - R= 1,5428 Zcalc= 5,3959 Ztab= 1,96
 Resultado = Padrão DISPERSO - (significativo estatisticamente) - 95%
:: 2ª ordem - R= 1,3193 Zcalc= 4,5721 Ztab= 1,96
 Resultado = Padrão DISPERSO - (significativo estatisticamente) - 95%
:: 3ª ordem - R= 1,2584 Zcalc= 4,5657 Ztab= 1,96
 Resultado = Padrão DISPERSO - (significativo estatisticamente) - 95%

..... TESTE DE
NORMALIDADE

>> Teste de Normalidade Shapiro-Wilk : Wcalc(E)=
0,3314 Wcalc(N)= 0,2559
p-value(E)= 0 p-value(N)= 0 Nível
de Confiança = 95% Amostra NÃO
Normal

..... TESTE DE
PRECISÃO

>> Decreto 89.817:
PEC= 0,28 EP= 0,17
Resultado: Classe A

..... TESTE DE
TENDÊNCIA

>> Teste t de Student
tcalc(E)= -1,6831 tcalc(N)= 0,6712 ttab= 1,7056
Resultado: Inconclusivo

>> Estatística Espacial

Média Direcional (Azimute)= 317,2032 Variância Circular= 0,8464 Resultado: Não
Tendencioso

DISCREPÂNCIAS - PONTOS DE TESTE

ID	di(E)	di(N)	di(ABS)
0	-0,238	-0,007	0,2381
1	-0,164	-0,055	0,173
10	0,02	0,045	0,0492
11	-0,112	0,137	0,177
12	-0,043	0,073	0,0847
13	0,053	0,002	0,053
14	4,012	4,695	6,1757
15	-0,281	-0,241	0,3702
16	-0,018	0,013	0,0222
17	-0,038	0,024	0,0449
18	0,023	0,029	0,037
19	0,023	-0,006	0,0238
2	-0,142	-0,025	0,1442
20	0,044	-0,057	0,072
21	0,016	0,006	0,0171
22	-0,05	0,048	0,0693
23	-0,083	-0,05	0,0969
24	0,1	-0,025	0,1031
25	0,049	-0,012	0,0504
26	0,031	-0,089	0,0942
27	-0,018	-0,053	0,056
28	-0,035	0,011	0,0367
3	-0,079	0,036	0,0868
4	-0,123	0,117	0,1698
5	-0,641	0,164	0,6616
6	-0,018	-0,121	0,1223
7	0,154	-0,054	0,1632
8	0,021	0,017	0,027
9	-0,001	0,061	0,061

ANEXO IV – Mapas utilizados na avaliação do raciocínio espacial de crianças

