



**COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO
ESCOLA SUPERIOR DA CETESB**



**CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO “CONFORMIDADE AMBIENTAL COM
REQUISITOS TÉCNICOS E LEGAIS”**

RAUL SILVA SINEDINO PINHEIRO

UTILIZAÇÃO DE DRONES NA PERÍCIA CRIMINAL AMBIENTAL
Perícia em Aterros através de imagens aerofotogramétricas com VANTs –
Veículos Aéreos Não Tripulados

**São Paulo
2021**



Raul Silva Sinedino Pinheiro

UTILIZAÇÃO DE DRONES NA PERÍCIA CRIMINAL AMBIENTAL
Perícia em Aterros através de imagens aerofotogramétricas com RPAS –
Veículos Aéreos Não Tripulados

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Pós-Graduação “Conformidade Ambiental com Requisitos Técnicos e Legais”, da Escola Superior da CETESB, como requisito para obtenção o título de especialista em Conformidade Ambiental.

Orientadora: Prof^a Ma. Lina Maria Arché e
Co-orientador: Prof^o Igor André Cubatelli Redivo.

São Paulo
2021

DADOS INTERNACIONAIS DE CATALOGAÇÃO

(CETESB, Biblioteca, SP, Brasil)

P722u Pinheiro, Raul Silva Sinedino
Utilização de drones na perícia criminal ambiental : perícia em aterros através de imagens aerofotogramétricas com VANTs – Veículos Aéreos Não Tripulados / Raul Silva Sinedino Pinheiro. – São Paulo, 2021.
184 p. : il. color. ; 30 cm.

Orientadora: Profa. Ma. Lina Maria Aché.
Co-orientador: Prof. Igor André Cubatelli Redivo.

Trabalho de conclusão de curso (Especialização em Conformidade Ambiental) – Pós-Graduação Lato Sensu Conformidade Ambiental com Requisitos Técnicos e Legais, Escola Superior da CETESB, São Paulo, 2021.
Disponível também em: <<http://cetesb.sp.gov.br/escolasuperior/producao-tecnico-cientifica/>>.

1. Aerofotogrametria 2. Drones 3. Perícia criminal ambiental 4. Rio Grande do Sul (BR) I. Aché, Lina Maria, Orient. II. Redivo, Igor André Cubatelli, Co-orient. III. Escola Superior da CETESB (ESC). IV. Título.

CDD (21. ed. Esp.) 526.982 028.6 816 5
344.046 028 5 816 5
CDU (2. ed. Port.) 528.715:349.6 (816.5)
528.715:502.14 (816.5)

Catálogo na fonte: Margot Terada – CRB 8.4422

Direitos reservados de distribuição e comercialização.
Permitida a reprodução parcial desde que citada a fonte.

© CETESB.

Av. Professor Frederico Hermann Jr., 345
Pinheiros – SP – Brasil – CEP 05459900

Site: <<https://cetesb.sp.gov.br/escolasuperior/producao-tecnico-cientifica/>>



CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO
CONFORMIDADE AMBIENTAL COM REQUISITOS TÉCNICOS E LEGAIS



AValiação DOS TRABALHOS DE CONCLUSÃO DE CURSO

Aluno(a):	Raul Silva Sinedino Pinheiro	
Título do trabalho:	Utilização de Drones na Perícia Criminal Ambiental : perícia em aterros através de imagens aerofotogramétricas com VANTs – Veículos Aéreos Não Tripulados	Turma: 2017

Avaliadores	Nota	Assinatura
Avaliador 1 Nome: Juliana da Costa Mantovani	9,0	<i>Juliana M.</i>
Avaliador 2 Nome: Eduardo Jun Shinihara	8,0	<i>Eduardo Jun</i>
Orientador Nome: Lina Maria Aché Roney Perez dos Santos	9,0	<i>Lina Maria Aché</i>
Nota final	9,0	
Aprovado em	São Paulo, 19 de novembro de 2019	

Ciência do aluno(a): <i>Raul Sinedino</i>	Assinatura <i>Raul S. Sinedino Pinheiro</i>
--	--

A aprovação do Trabalho de Conclusão de Curso não significa aprovação, endosso ou recomendação, por parte da CETESB, de produtos, serviços, processos, metodologias, técnicas, tecnologias, empresas, profissionais, ideias ou conceitos mencionados no trabalho.

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a minha família e amigos, os quais me apoiaram e me incentivaram a realizar e finalizar o curso que será importante para a aprimoração dos Laudos Periciais.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, aos meus pais que me auxiliaram em cada momento difícil durante toda a minha vida e por acreditarem que a oralização de uma criança surda seria um caminho menos tortuoso na sua vida acadêmica e profissional, facilitando a minha formação acadêmica e profissional.

A minha vó, Dona Silvia que não se encontra mais entre nós, por ser uma das responsáveis pela formação do meu caráter e por insistir nas correções da minha fala nos momentos da preguiça de falar.

Aos meus professores do curso de Pós-Graduação que me deram conhecimentos importantes, em especial à professora Lina Maria Arché que confiou na minha pesquisa, aceitando participar dela e pela dedicação que teve durante todo o processo na elaboração do presente trabalho.

Aos meus colegas da Seção de Perícias Ambientais que me auxiliaram com críticas construtivas, sugestões e pelas correções da monografia, em especial ao Chefe da Seção, Pedro Bittencourt pela paciência com os dias não trabalhados e diminuição da minha produtividade durante o curso, por entender os ganhos em que a Seção de Perícias Ambientais obteria com a minha formação acadêmica.

A meus amigos e amigas, os quais sempre me proporcionaram momentos de alegria e de reflexão com o contexto sócio-político em que vivemos no momento, em especial ao Gilson Leite e à Lak Lobato, os quais me deram força para a finalização do curso com as contagens regressivas e risadas de assuntos variados.

RESUMO

O presente estudo teve por objetivo lançar metodologias com utilização de drone *Phantom 4 Pro* como ferramenta útil para a Perícia Criminal Ambiental, de forma a possibilitar levantamentos de forma rápida e eficiente em áreas de difícil acesso ou grandes extensões. A metodologia forneceu subsídios da visão aérea da área, a qual permitiu maior qualidade nos levantamentos periciais e tomada de decisões de forma rápida durante os levantamentos aéreos com a obtenção de informações espaciais – qualitativas e quantitativas – possibilitando o enriquecimento em termos de imagens comprobatórias de danos ao meio ambiente, especificamente em áreas ocupadas por aterros sanitários/lixões. Entende-se que a utilização do drone na Perícia acelerou e deu qualidade às observações comparadas com as constatações *in loco*. Além disso, o ortomosaico de imagens aerofotogramétricas feitas com Programa *Agisoft Metashape Professional* foram mais eficientes em termos de precisão se comparadas com as imagens de satélite de alta resolução disponíveis em *sites* de busca, devido à utilização de GNSS submétricos para a aerotriangulação através de pontos de apoio (pontos de controle e de verificação), os quais fazem a equivalência entre as fotografias e o terreno. Dessa forma, embora os resultados tenham provocado o aumento da capacidade de atendimentos, não foram capazes de diminuir o número de requisições de perícias pendentes. O principal benefício foi o aumento da qualidade dos Laudos Periciais por parte dos Peritos Criminais da Seção de Perícias Ambientais, da Divisão de Engenharia Legal, do Instituto-Geral de Perícias do Estado do Rio Grande do Sul

Palavras-chave: Aerofotogrametria. *Agisoft Metashape Professional*. Drones. GNSS *South Galaxy G1 Plus RTK*. Ortomosaico. Perícia Criminal. Perícia Criminal Ambiental. *Phantom 4 Pro*. *Promark 3*.

ABSTRACT

The objective of this study is to develop methodologies using Phantom 4 Pro drones as a useful tool for the Environmental Crime Forensics, in order to enable surveys quickly and efficiently in difficult access and large extensions areas. The methodology provided subsidies of the aerial vision of the area, which allowed higher quality in the forensic surveys and in the decision-making in a fast way during aerial surveys which obtained the spatial information - qualitative and quantitative - enabling enrichment in terms of evidential images of damages to the environment, specifically in areas occupied by landfills / dumps. The use of drones by the Forensic team speeded up and it brought quality to the detection of evidences compared to the on-site findings. In addition, the orthomosaic of aerial photogrametrics images taken by the Agisoft Metashape Professional Software were more accurated when compared to the high resolution satellite images available on search sites, due to the use of submetric GNSS for aerial triangulation through support points (control and check points), making the equivalence between the photographs and the land. Thus, although the results caused an increase in the service capacity, they were not able to reduce the number of pending requests for environmental site surveys. The main benefit was the increase in the quality of the Final Reports by the Forensic Experts from the Environmental Forensics Section, from the Legal Engineering Division, from the General Forensics Institute of the State of Rio Grande do Sul

Key-words: Aerophotogrammetry, Agisoft Metashape Professional, Drones, Environmental Forensics, Forensic Science, GNSS South Galaxy G1 Plus RTK, Orthomosaic, Phantom 4 Pro, Promark 3.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura	1	Local de Crime Ambiental por destruição de floresta nativa	23
Figura	2	Estrutura Organizacional do IGP/RS	26
Figura	3	Formas de representação da Terra	33
Figura	4	Desdobramento do Globo Terrestre	33
Figura	5	Classificação das projeções de acordo com o tipo de superfície de projeção	34
Figura	6	Obtenção de Imagens por sensoriamento remoto	38
Figura	7	Exemplo de fotogrametria feita com RPAS	40
Figura	8	Intervenção sobre o ortomosaico produzido no <i>Software Agisoft Metashape Professional</i> e elaborado no <i>Qgis</i>	42
Figura	9	Exemplo de um ortomosaico	45
Figura	10	RPAS do tipo Asa Fixa	47
Figura	11	RPAS do tipo Quadricóptero	48
Figura	12	RPAS do tipo Hexacóptero	48
Figura	13	LIDAR – <i>Light Detection and Ranging System</i>	51
Figura	14	MDE (Modelo Digital de Elevação)	52
Figura	15	Curvas de nível	52
Figura	16	GNSS de Navegação	58
Figura	17	GNSS Geodésico	58
Figura	18	Aterro Sanitário	62
Figura	19	Área de “lixão”	62
Figura	20	Escorrimento de chorume no solo a céu aberto	64
Figura	21	Representação esquemática do Estado do Rio Grande do Sul e a delimitação dos municípios com os pontos de interesse do trabalho	69
Figura	22	Delimitação do Aterro de Vacaria (imagem de 29-08-2018)	70
Figura	23	Delimitação do Aterro de Bom Jesus (imagem de 08-04-2019)	70

Figura	24	Delimitação do Aterro de São Leopoldo (imagem de 28-02-2019)	71
Figura	25	Delimitação do Aterro de Sapucaia do Sul (imagem de 28-02-2019)	71
Figura	26	Drone <i>Phantom 4 Pro</i>	75
Figura	27	Coleta de dados em um dos pontos com <i>Promark 3</i>	78
Figura	28	Coleta de dados em um dos pontos com <i>GNSS South Galaxy G1 Plus RTK</i>	81
Figura	29	Nuvem de pontos com a distribuição espacial dos pontos de apoio	83
Figura	30	Distribuição espacial dos pontos de apoio no aterro de Vacaria/RS	88
Figura	31	Distribuição espacial dos pontos de apoio no aterro de Bom Jesus/RS	91
Figura	32	Distribuição espacial dos pontos de apoio no aterro de São Leopoldo/RS	96
Figura	33	Distribuição espacial dos pontos de apoio no aterro de Sapucaia do Sul/RS	107
Figura	34	Representação 3D do Modelo Digital de Superfície (MDS) - Vacaria	116
Figura	35	Representação 3D do Modelo Digital de Terreno (MDT) - Vacaria	117
Figura	36	Modelo Digital de Elevação (DEM) a partir do MDS – Vacaria	117
Figura	37	DEM a partir do MDT – Vacaria	118
Figura	38	DEM com curvas de nível – Vacaria	118
Figura	39	Mosaico de Ortofotos – Vacaria	119
Figura	40	Representação 3D do MDS – Bom Jesus	119
Figura	41	Representação 3D do MDT – Bom Jesus	120
Figura	42	DEM a partir do MDS – Bom Jesus	120
Figura	43	DEM gerado a partir do MDT – Bom Jesus	121
Figura	44	DEM com curvas de nível – Bom Jesus	121
Figura	45	Mosaico de Ortofotos – Bom Jesus	122
Figura	46	Representação 3D do MDS – São Leopoldo	122
Figura	47	Representação 3D do MDT – São Leopoldo	123
Figura	48	DEM a partir do MDS – São Leopoldo	123
Figura	49	DEM gerado a partir do MDT – São Leopoldo	124

Figura	50	Mosaico de Ortofotos – São Leopoldo	124
Figura	51	DEM com as curvas de nível – São Leopoldo	125
Figura	52	Representação 3D MDS – Sapucaia do Sul	125
Figura	53	Representação 3D do MDT – Sapucaia do Sul	126
Figura	54	DEM a partir do MDS – Sapucaia do Sul	126
Figura	55	DEM a partir do MDT – Sapucaia do Sul	127
Figura	56	DEM com as curvas de nível – Sapucaia do Sul	127
Figura	57	Mosaico de Ortofotos – Sapucaia do Sul	128
Figura	58	Elementos de interesse em um mosaico de Ortofotos – Vacaria	130
Figura	59	Elementos de interesse em um mosaico de Ortofotos – Bom Jesus	131
Figura	60	Elementos de interesse em um mosaico de Ortofotos – Bom Jesus	131
Figura	61	Elementos de interesse em um mosaico de Ortofotos – São Leopoldo	132
Figura	62	Elementos de interesse em um mosaico de Ortofotos – São Leopoldo	133
Figura	63	Elementos de interesse em um mosaico de Ortofotos – Sapucaia do Sul	134
Figura	64	Drenos de gases em um mosaico de Ortofotos – Sapucaia do Sul	135
Figura	65	Vazamento de chorume em um mosaico de Ortofotos – Sapucaia do Sul	135
Figura	66	Vazamento de chorume em um mosaico de Ortofotos – Sapucaia do Sul	136
Figura	67	Localização das Valas encerradas – São Leopoldo	138
Figura	68	Localização das Lagoas de Contenção de Chorume – Sapucaia do Sul	139
Gráfico	1	Tipos de Perícias Solicitadas 2004 – 2020	29
Gráfico	2	Número de atendimentos pendentes versus número de peritos	30
Gráfico	3	Requisições de perícias recebidas por ano	31

LISTA DE TABELAS

Tabela	1	Tipos de perícias solicitadas entre 2004 e 2020	28
Tabela	2	Dados da coleta dos pontos de apoio – Vacaria/RS	77
Tabela	3	Dados da coleta dos pontos de apoio – Bom Jesus/RS	78
Tabela	4	Dados da coleta dos pontos de apoio – São Leopoldo/RS	79
Tabela	5	Dados da coleta dos pontos de apoio – Sapucaia do Sul/RS	80
Tabela	6	Parâmetros de interesse registrados no Relatório Pré-Otimização (X – <i>Easting</i> ; Y – <i>Northing</i> ; Z – <i>Altitude</i>) - Vacaria	87
Tabela	7	RMSE dos pontos de controle no Relatório Pré-Otimização - Vacaria	87
Tabela	8	Parâmetros de interesse registrados no Relatório Pré-Otimização - Vacaria	88
Tabela	9	Parâmetros registrados no Relatório Pós-Otimização – Vacaria	88
Tabela	10	RMSE dos pontos de controle no Relatório Pós-Otimização – Vacaria	89
Tabela	11	Parâmetros de interesse registrados no Relatório Pós-Otimização – Vacaria	89
Tabela	12	Comparativo do RMSE com acurácia do projeto – Vacaria	90
Tabela	13	Parâmetros de interesse registrados no Relatório Pré-Otimização (X – <i>Easting</i> ; Y – <i>Northing</i> ; Z – <i>Altitude</i>) – Bom Jesus	90
Tabela	14	RMSE dos pontos de controle no Relatório Pré-Otimização – Bom Jesus	91
Tabela	15	Parâmetros de interesse registrados no Relatório Pré-Otimização – Bom Jesus	92
Tabela	16	RMSE dos pontos de controle no Relatório Pós-Otimização – Bom Jesus	92
Tabela	17	Parâmetros de interesse registrados no Relatório Pós-Otimização – Bom Jesus	92
Tabela	18	Parâmetros de interesse registrados no Relatório Pós-Otimização – Bom Jesus	92

Tabela	19	Comparativo do RMSE com acurácia do projeto – Bom Jesus	93
Tabela	20	Parâmetros de interesse registrados no Relatório Pré-Otimização em linha de voo sul-norte (X – <i>Easting</i> ; Y – <i>Northing</i> ; Z – Altitude) – São Leopoldo	94
Tabela	21	RMSE dos pontos de controle no Relatório Pré-Otimização em linha de voo sul-norte – São Leopoldo	95
Tabela	22	Parâmetros de interesse registrados no Relatório Pré-Otimização em linha de voo sul-norte – São Leopoldo	95
Tabela	23	RMSE dos pontos de controle no Relatório Pós-Otimização em linha de voo sul-norte – São Leopoldo	95
Tabela	24	Parâmetros de interesse registrados no Relatório Pós-Otimização em linha de voo sul-norte – São Leopoldo	95
Tabela	25	Parâmetros de interesse registrados no Relatório Pós-Otimização em linha de voo sul-norte (X – <i>Easting</i> ; Y – <i>Northing</i> ; Z – Altitude) – São Leopoldo	95
Tabela	26	Comparativo do RMSE com acurácia do projeto em linha de voo sul-norte – São Leopoldo	97
Tabela	27	Parâmetros de interesse registrados no Relatório Pré-Otimização em linha de voo leste-oeste (X – <i>Easting</i> ; Y – <i>Northing</i> ; Z – Altitude) – São Leopoldo	97
Tabela	28	RMSE dos pontos de controle no Relatório Pré-Otimização em linha de voo leste-oeste – São Leopoldo	98
Tabela	29	Parâmetros de interesse registrados no Relatório Pré-Otimização em linha de voo leste-oeste – São Leopoldo	98
Tabela	30	RMSE dos pontos de controle no Relatório Pós-Otimização em linha de voo leste-oeste – São Leopoldo	98
Tabela	31	Parâmetros de interesse registrados no Relatório Pós-Otimização em linha de voo leste-oeste – São Leopoldo	98
Tabela	32	Parâmetros de interesse registrados no Relatório Pós-Otimização em linha de voo leste-oeste (X – <i>Easting</i> ; Y – <i>Northing</i> ; Z – Altitude) – São Leopoldo	99
Tabela	33	Comparativo do RMSE com acurácia do projeto em linha de voo leste-oeste – São Leopoldo	100
Tabela	34	Parâmetros de interesse registrados no Relatório Pré-Otimização (Voo cruzado) (X – <i>Easting</i> ; Y – <i>Northing</i> ; Z – Altitude) – São Leopoldo	100

Tabela	35	RMSE dos pontos de controle no Relatório Pré-Otimização (Voo cruzado) – São Leopoldo	101
Tabela	36	Parâmetros de interesse registrados no Relatório Pré-Otimização (Voo cruzado) – São Leopoldo	101
Tabela	37	RMSE dos pontos de controle no Relatório Pós-Otimização (Voo cruzado) – São Leopoldo	101
Tabela	38	Parâmetros de interesse registrados no Relatório Pós-Otimização (Voo cruzado) – São Leopoldo	101
Tabela	39	Parâmetros de interesse registrados no Relatório Pós-Otimização (Voo cruzado) – São Leopoldo	101
Tabela	40	Comparativo do RMSE com acurácia do projeto (Voo cruzado)	102
Tabela	41	Comparativo do RMSE/Acurácia do projeto dos 3 processamentos – São Leopoldo	103
Tabela	42	Parâmetros de interesse registrados no Relatório Pré-Otimização em linha de voo leste-oeste (X – <i>Easting</i> ; Y – <i>Northing</i> ; Z – Altitude) – Sapucaia do Sul	104
Tabela	43	RMSE dos pontos de controle no Relatório Pré-Otimização do voo em linha de voo leste-oeste – Sapucaia do Sul	105
Tabela	44	Parâmetros de interesse registrados no Relatório Pós-Otimização em linha de voo leste-oeste – Sapucaia do Sul	105
Tabela	45	Parâmetros de interesse registrados no Relatório Pós-Otimização do voo em linha de voo leste-oeste (X – <i>Easting</i> ; Y – <i>Northing</i> ; Z – Altitude) – Sapucaia do Sul	105
Tabela	46	RMSE dos pontos de controle no Relatório Pós Otimização do voo em linha de voo leste-oeste – Sapucaia do Sul	106
Tabela	47	Parâmetros de interesse registrados no Relatório Pós-Otimização do voo em linha de voo leste-oeste – Sapucaia do Sul	106
Tabela	48	Comparativo do RMSE com acurácia do projeto do voo em linha de voo leste-oeste – Sapucaia do Sul	106
Tabela	49	Parâmetros de interesse registrados no Relatório Pré-Otimização do voo em linha de voo norte-sul (X – <i>Easting</i> ; Y – <i>Northing</i> ; Z – Altitude) – Sapucaia do Sul	108
Tabela	50	RMSE dos pontos de controle no Relatório Pré-Otimização do voo em linha de voo norte-sul – Sapucaia do Sul	108
Tabela	51	Parâmetros de interesse registrados no Relatório Pré-Otimização em linha de voo norte-sul – Sapucaia do Sul	108

Tabela	52	Parâmetros de interesse registrados no Relatório Pós-Otimização do voo em linha de voo norte-sul (X – <i>Easting</i> ; Y – <i>Northing</i> ; Z – Altitude) – Sapucaia do Sul	109
Tabela	53	RMSE dos pontos de controle no Relatório Pós-Otimização do voo em linha de voo norte-sul – Sapucaia do Sul	109
Tabela	54	Parâmetros de interesse registrados no Relatório Pós-Otimização do voo em linha de voo norte-sul – Sapucaia do Sul	110
Tabela	55	Comparativo do RMSE com acurácia do projeto do voo com linha de voo norte-sul – Sapucaia do Sul	110
Tabela	56	Parâmetros de interesse registrados no Relatório Pré-Otimização (Voo cruzado) – Sapucaia do Sul	111
Tabela	57	RMSE dos pontos de controle no Relatório Pré-Otimização (Voo cruzado) – Sapucaia do Sul	111
Tabela	58	Parâmetros de interesse registrados no Relatório Pré-Otimização (Voo cruzado) – Sapucaia do Sul	111
Tabela	59	Parâmetros de interesse registrados no Relatório Pós-Otimização (Voo cruzado) – Sapucaia do Sul	112
Tabela	60	RMSE dos pontos de controle no Relatório Pós-Otimização (Voo cruzado) – Sapucaia do Sul	112
Tabela	61	Parâmetros de interesse registrados no Relatório Pós-Otimização (Voo cruzado) – Sapucaia do Sul	112
Tabela	62	Comparativo RMSE com acurácia do projeto (Voo cruzado) – Sapucaia do Sul	113
Tabela	63	Comparativo do RMSE/AP dos 3 processamentos – Sapucaia do Sul	114
Tabela	64	RMSE dos 4 projetos após a otimização das câmeras	115
Tabela	65	Área das Valas encerradas no aterro de São Leopoldo/RS	137
Tabela	66	Área das Lagoas de Contenção de Chorume observadas no aterro de Sapucaia do Sul/RS	138

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AIC	Circular de Informações Aeronáuticas
ANAC	Agência Nacional de Aviação Civil
APP	Área de Preservação Permanente
APROMAC	Associação de Proteção Ao Meio Ambiente de Cianorte
BM	Brigada Militar do Estado do Rio Grande do Sul
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CH	Pontos de Verificação
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CPP	Código Processual Penal
DC	Departamento de Criminalística
DECEA	Departamento de Controle do Espaço Brasileiro
DEM	Modelo Digital de Elevação
DEMA	Delegacia de Polícia de Proteção do Meio Ambiente
EP	Erro Padrão
ET – PCDG	Especificação Técnica para Produtos de Conjunto de Dados Espaciais
FEPAM	Fundação Estadual de Proteção Ambiental Luís Henrique Roessler/RS
FUNAI	Fundação Nacional do Índio
GNSS	Sistema Global de Navegação por Satélite
GPS	Sistema de Posicionamento Global
GR	<i>Ground Resolution</i> – Resolução do Terreno
HV	Pontos de Controle
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICA	Instrução do Comando da Aeronáutica
IGP/RS	Instituto-Geral de Perícias do Estado do Rio Grande do Sul

IMU	Unidade de Medição Inercial
INCRA	Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária
INDE	Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais
LASER	<i>Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation</i>
LIDAR	<i>Light Detection and Ranging</i>
MDE	Modelo Digital de Elevação
MDS	Modelo Digital de Superfície
MDT	Modelo Digital de Terreno
NPA	Núcleo de Perícias Ambientais
PEAD	Polietileno de Alta Densidade
PEC	Padrão de Exatidão Cartográfica
PEC-PCD	Padrão de Exatidão Cartográfica dos Produtos Digitais
PGP	Protocolo Geral de Perícias
PMD	Peso Máximo de Decolagem
PPP	Posicionamento Por Ponto Absoluto
PPK	<i>Post Processed Kinematic</i> (Posicionamento Cinemático Pós Processado)
RBMC	Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo
REEE	Resíduos de Equipamentos Eletroeletrônicos
RIBAC	Rede Inbra de Bases Comunitárias
RMSE	Raiz do Erro Médio Quadrático
RPA	Aeronave Remotamente Pilotada
RPAS	<i>Remotely Piloted Aircraft System</i>
RSU	Resíduos Sólidos Urbanos
RTK	<i>Real Time Kinematic</i> – Posicionamento Cinemático em Tempo Real.
RSCC	Resíduos Sólidos de Construção Civil
SARPAS	Solicitação de Acesso de Aeronaves Remotamente Pilotadas
SCA	Sistemas de Controles Ativos
SCN	Sistema Cartográfico Nacional
SISCEAB	Sistema de Controle do Espaço Aéreo Brasileiro
SPA	Seção de Perícias Ambientais

UNICAMP Universidade Estadual de Campinas

USP Universidade de São Paulo

UTM Universal Transversal de Mercator

VANT Veículo Aéreo Não Tripulado

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	19
2	OBJETIVOS	19
2.1	OBJETIVO GERAL	20
2.2	OBJETIVO ESPECÍFICO	20
3	JUSTIFICATIVA DO TRABALHO	20
4	LEVANTAMENTO DA LITERATURA	21
4.1	PERÍCIA CRIMINAL	21
4.1.1	Autonomia Pericial	24
4.1.2	Instituto-Geral de Perícias do Rio Grande do Sul (IGP/RS)	25
4.1.3	Seção de Perícias Ambientais	26
4.2	GEOTECNOLOGIAS	31
4.2.1	Cartografia Básica	31
4.2.1.1	<i>Representação Cartográfica</i>	31
4.2.1.2	<i>Coordenadas</i>	34
4.2.1.3	<i>Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC)</i>	35
4.2.2	Sensoriamento Remoto	37
4.2.3	Fotogrametria	39
4.2.4	Fotointerpretação	44
4.2.5	<i>Remotely Piloted Aircraft System (RPAS)</i>	46
4.2.5.1	<i>Legislação no Uso de RPAS no Brasil</i>	49
4.2.6	LIDAR (<i>Light Detection and Ranging</i>)	50
4.2.7	Sistema Global de Navegação por Satélite (GNSS)	53
4.2.8	GPS	54
4.2.8.1	<i>Classificação dos Receptores GNSS</i>	55
4.2.8.2	<i>Técnicas de Posicionamento GNSS</i>	56
5	ATERROS DE RESÍDUOS SÓLIDOS	59
5.1	ATERROS SANITÁRIOS/LIXÕES	59
5.1.1	Normas NBR ABNT	60
5.1.2	Chorume	63
5.1.3	Volume de lixo e emissões de gases	64
5.2	ATERROS DE RESÍDUOS INDUSTRIAIS	65
5.2.1	Resíduos Classe I - Perigosos	65
5.2.2	Resíduos Classe II – Não Perigosos	67
5.2.2.1	<i>Resíduos Classe II A – Não Inertes</i>	67
5.2.2.2	<i>Resíduos Classe II B - Inertes</i>	67
6	METODOLOGIA	68
6.1	TIPOS DE PESQUISA	68

6.2	CARACTERIZAÇÃO DA ORGANIZAÇÃO	72
6.3	CARACTERIZAÇÃO DAS ÁREAS DE INTERESSE	72
6.3.1	Vacaria/RS	72
6.3.2	Bom Jesus/RS	72
6.3.3	São Leopoldo/RS	73
6.3.4	Sapucaia do Sul/RS	74
6.4	EQUIPAMENTO E SOFTWARES UTILIZADOS	74
7	MODELAMENTO TOPOGRÁFICO POR MEIO DE	76
	IMAGEAMENTO POR RPA	
7.1	VACARIA	77
7.2	BOM JESUS	78
7.3	SÃO LEOPOLDO	79
7.4	SAPUCAIA DO SUL	80
8	RESULTADOS	82
8.1	VACARIA	87
8.2	BOM JESUS	90
8.3	SÃO LEOPOLDO	93
8.4	SAPUCAIA DO SUL	104
8.5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	114
9	PRODUTOS GERADOS	116
9.1	VACARIA	116
9.2	BOM JESUS	119
9.3	SÃO LEOPOLDO	122
9.4	SAPUCAIA DO SUL	125
9.5	FOTOINTERPRETAÇÃO DOS PRODUTOS GERADOS	129
9.5.1	Fotointerpretação Qualitativa	129
9.5.1.1	<i>Vacaria</i>	129
9.5.1.2	<i>Bom Jesus</i>	130
9.5.1.3	<i>São Leopoldo</i>	132
9.5.1.4	<i>Sapucaia do Sul</i>	133
9.5.2	Fotointerpretação Quantitativa	136
9.5.2.1	<i>Vacaria</i>	137
9.5.2.2	<i>Bom Jesus</i>	137
9.5.2.3	<i>São Leopoldo</i>	137
9.5.2.4	<i>Sapucaia do Sul</i>	138
10	CONCLUSÕES	140
	REFERÊNCIAS	142
	APÊNDICE A – Relatório Final Processamento – Vacaria	152
	APÊNDICE B – Relatório Final Processamento – Bom Jesus	161

1 INTRODUÇÃO

Os VANTs (Veículo Aéreo Não Tripulado) são aeronaves não tripuladas que podem ser pilotadas remotamente ou podem realizar voos de forma autônoma e originalmente foram utilizados para operações militares. Entretanto, os avanços tecnológicos permitiram que os VANTs também se tornassem economicamente viáveis para aplicações civis, os quais aumentam a cada ano e têm aplicabilidade nas diversas áreas.

Os drones, termo genérico originado nos EUA, os quais se tornaram populares, e pode-se dizer que são VANTS do tipo RPAS (*Remotely Piloted Aircraft System*), podendo ser utilizados em diversas aplicações de meio ambiente e mapeamento através de aerofotogrametrias, as quais são: monitorar desmatamento e poluição, localização das nascentes de água, levantamento de cobertura vegetal, monitoramento de vegetação e cobertura do solo, exploração de contaminações por hidrocarbonetos através de aerofotogrametria, agricultura, pecuária, segurança, mercado imobiliário, construção civil, dentre outros.

Em virtude disso, foi construída a ideia de se fazer um projeto com a utilização de RPAS como ferramenta muito útil para a Perícia Criminal, tendo alta aplicabilidade nas perícias ambientais, pois permite a realização de levantamentos aéreos em áreas de difícil acesso e/ou grandes extensões.

A utilização do drone na Perícia Criminal aceleraria o atendimento e daria qualidade às observações comparadas com as constatações *in loco*? As imagens aerofotogramétricas feitas com RPAS seriam melhores e mais confiáveis que as de satélite de alta resolução? Seria possível fazer mensurações utilizando dados de levantamentos com RPAS? Essas dúvidas foram explanadas durante o presente trabalho.

2 OBJETIVOS

O presente trabalho de conclusão de curso contém o objetivo geral e o objetivo específico, a seguir apresentados.

2.1 OBJETIVO GERAL

Estabelecer metodologias com uso de RPAS de forma a possibilitar levantamentos a campo de forma rápida e eficiente, oferecendo maior segurança à equipe envolvida e menor custo ao Estado do Rio Grande do Sul com diminuições de viagens, combustíveis e diárias para os Peritos Criminais.

2.2 OBJETIVO ESPECÍFICO

Obter análise de informações espaciais – qualitativas e quantitativas – com precisão, de forma dinâmica, eficiente e remota em áreas ocupadas por aterros sanitários/lixões por serem áreas extensas, de modo a verificar se a ortofoto digital oriunda de um drone é mais precisa se comparada com as imagens de satélite de alta resolução, as quais são comumente utilizadas na elaboração dos Laudos Periciais pelos Peritos Criminais da Seção de Perícias Ambientais, da Divisão de Engenharia Legal, do Departamento de Criminalística do Instituto-Geral de Perícias do Estado do Rio Grande do Sul (IGP/RS).

3 JUSTIFICATIVA DO TRABALHO

Os levantamentos dos locais de Perícia Criminal de natureza ambiental são, de forma geral, realizados em áreas de difícil acesso e/ou grandes extensões, como é o caso de aterros sanitários, os quais costumam apresentar áreas de grande extensão. Dessa forma, é importante estudar se os RPAS poderiam ser considerados ferramentas muito úteis para a Perícia Criminal Ambiental.

A equipe da Seção de Perícias Ambientais, da Divisão de Engenharia Legal do Departamento de Criminalística do Instituto-Geral de Perícias (IGP/RS) é composta, atualmente, por seis (6) Peritos Criminais para realizar os exames periciais envolvendo crimes ambientais em todo o Estado do Rio Grande do Sul. A equipe faz, em média, 15 a 20 levantamentos a campo em uma viagem de quatro (4) dias no interior do Estado e a duração de um levantamento de local de grande extensão pela equipe costuma ser de uma hora em média, sem a utilização de RPAS.

O desenvolvimento de metodologias com uso de RPAS possibilitaria levantamentos a campo de forma rápida e eficiente, oferecendo maior segurança à equipe envolvida e menor custo ao Estado com diminuições de viagens, combustíveis e diárias para os Peritos Criminais. Entende-se que os levantamentos a campo com uso de RPAS poderão aumentar o número de atendimentos de perícias pendentes,

ou seja, a metodologia desenvolvida poderá beneficiar o Instituto-Geral de Perícias e as partes envolvidas com agilidade e qualidade. E dessa forma, servir de referência para outras seções do Departamento de Criminalística do IGP/RS. Além disso, possibilitaria a vantagem de se obter fotos aéreas do momento dos exames periciais contra imagens de satélite de alta resolução de datas antigas.

4 LEVANTAMENTO DA LITERATURA

4.1 PERÍCIA CRIMINAL

A perícia criminal trata das infrações penais, em que o Estado assume a defesa do cidadão, em nome da sociedade. Para fazer a perícia criminal, o profissional deve ter nível superior e, no caso, dos peritos oficiais, prestar concurso específico (ser funcionário público concursado) (VELHO; GEISER; ESPÍNDULA, 2017).

Segundo Velho, Geiser e Espíndula (2017), quando, em uma investigação, observam-se vestígios¹ materiais deixados pelo criminoso, é obrigatório que estes sejam periciados, ou seja, submetidos ao exame de corpo e delito por força de dispositivos legais presentes no Código Processual Penal (CPP) transcritos a seguir:

Art. 158. Quando a infração deixar vestígios, será indispensável o exame de corpo de delito, direto ou indireto, não podendo supri-lo a confissão do acusado.

Art. 159. O exame de corpo de delito e outras perícias serão realizados por perito oficial, portador de diploma de curso superior.

Art. 167. Não sendo possível o exame de corpo de delito, por haverem desaparecido os vestígios, a prova testemunhal poderá suprir-lhe a falta. (VELHO; GLEISER; ESPÍNDULA, 2017, p.21)

Os dispositivos citados determinam que os vestígios de um crime devem ser analisados pelo Perito Oficial e a penalidade para ausência destes exames é a nulidade, como podemos verificar no artigo 564 do CPP (VELHO; GEISER; ESPÍNDULA, 2017):

Art. 564. A nulidade ocorrerá nos seguintes casos:

I – por incompetência, suspeição ou suborno do juiz;

II – por ilegitimidade da parte;

III – por falta das fórmulas ou dos termos seguintes:

a denúncia ou a queixa e a representação, e nos processos de contravenções penais, a portaria ou auto de prisão em flagrante;

o exame de corpo de delito nos crimes que deixam vestígios, ressalvado o disposto no art. 167;

[...] (VELHO; GLEISER; ESPÍNDULA, 2017, p.21).

¹ Assim chamado para definir qualquer elemento material que possa ter alguma relação com o crime (VELHO; GEISER; ESPÍNDULA, 2017).

As infrações penais podem deixar vestígios e assim a justiça necessitará de exames especializados, ou seja, necessitará da perícia criminal, a qual tem o intuito de esclarecer as hipóteses e servirá de prova material para fundamentar uma sentença através dos laudos periciais.

Segundo Velho, Geiser e Espíndula (2017), o laudo pericial é o documento no qual os peritos expõem todo o roteiro dos exames periciais realizados, descrevem as técnicas e métodos científicos empregados e emitem a conclusão. É, portanto, o resultado final de um completo e detalhado trabalho técnico-científico com objetivo de subsidiar a justiça em assuntos onde existem vestígios a serem analisados.

Dessa forma, o laudo pericial muito bem elaborado e fundamentado com técnicas e conhecimentos científicos aplicados de forma correta e responsável é de extrema importância para auxiliar a justiça brasileira a fundamentar uma sentença para a condenação dos réus.

De acordo com Barbieri e Geiser (2017), o tratamento dado às questões ambientais na realização de uma perícia deve ser científico, ou seja, o laudo pericial não pode traduzir a opinião do perito, mas sim, uma resposta precisa aos quesitos, usando os preceitos científicos.

Os laudos periciais de natureza ambiental são complexos e fundamentados através de imagens de satélite de alta resolução, exame *in loco* (**Figura 1**) e levantamento de literatura através de pesquisas bibliográficas. As imagens de satélite são importantes pois através delas podem ser analisadas as alterações antrópicas significativas ocorridas na área de interesse ao longo do tempo. Sendo assim, elas fornecem subsídios importantes para se fundamentar uma sentença.

Dessa forma, há a importância de se estudar cientificamente os benefícios da utilização de ortomosaicos de imagens aéreas feitas com drone em termos de precisão e acurácia, com a finalidade de aprimorar a qualidade da elaboração dos laudos periciais na esfera criminal ambiental.

Segundo Barbieri e Geiser (2017), o meio ambiente vem recebendo crescente proteção jurídica, tanto na esfera criminal quando nas cíveis e administrativa, portanto, sendo promulgada a Lei dos Crimes Ambientais (Lei nº9.605/98), a qual define em seu capítulo V, os crimes ambientais da seguinte forma:

Seção I – Dos crimes contra a Fauna;

Seção II – Dos Crimes contra a Flora;

Seção III – Da Poluição e outros crimes ambientais;

Seção IV – Dos Crimes contra o Ordenamento Urbano e o Patrimônio Cultural;

Seção V – Dos Crimes contra a Administração Ambiental (BRASIL, 1998).

Figura 1 – Local de crime ambiental por destruição de floresta nativa



Fonte: Própria (2018).

Como o objetivo deste trabalho é desenvolver metodologias com usos de RPAS de forma a possibilitar levantamentos aéreos a campo de forma rápida e eficiente, e obter análise de informações espaciais em áreas ocupadas por aterros sanitários/lixões, daremos ênfase à Seção III – Da poluição e outros crimes ambientais, onde se encaixam os impactos gerados por atividades de disposição de resíduos sólidos diversos através aterros sanitários e lixões.

A definição de poluição pode ser encontrada na Lei nº6.938/81 (BRASIL, 1981), a qual dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências: “degradação da qualidade ambiental resultante de atividades que direta ou indiretamente: a) prejudiquem a saúde, a segurança e o bem-estar da população; b) criem condições adversas às atividades sociais e econômicas; c) afetem desfavoravelmente a biota; d) afetem as

condições estéticas ou sanitárias do meio ambiente; e) lancem matérias ou energias em desacordo com os padrões ambientais estabelecidos”.

4.1.1 Autonomia Pericial

Como a Criminalística é tratada como uma disciplina científica por se apoiar em vertentes das ciências de base, os laudos periciais elaborados pelos Peritos Criminais são o resultado de um completo e detalhado trabalho técnico, através da análise dos vestígios observados e coletados, usando os preceitos científicos.

De acordo com Silva (2004), o astrônomo Galileu Galilei foi o pioneiro em pleitear a “autonomia científica” para que fosse possível o real desenvolvimento da ciência em uma época em que se predominavam os dogmas presentes na teologia. E assim se deu o início da importância da liberdade científica e de se obter autonomia para evitar que interesses alheios possam interferir no resultado correto.

Conforme citado por Amorim (2012), a Criminalística surgiu e se estruturou no interior das agências policiais e com o processo de redemocratização do país, que resultou na promulgação da Constituição Federal de 1988 (BRASIL, 1988) e no fortalecimento das práticas democráticas, a sociedade passou a cobrar mudanças estruturais nas instituições que atuam no Sistema de Justiça Criminal. Uma dessas propostas foi a autonomia dos órgãos de Criminalística, mediante sua desvinculação das Polícias Judiciárias.

Muitos constituintes, no momento da elaboração da atual Constituição (BRASIL, 1988), não tiveram a percepção quanto à relevância da prova pericial, e assim a Perícia Criminal Oficial não foi inserida no texto constitucional como uma unidade autônoma (ESPÍNDULA, 2009), diferente de outros órgãos públicos em que gozam de autonomia funcional e científica, tais como o Poder Judiciário, Ministério Público, Defensorias Públicas Estaduais, Universidades Federais, entre outros.

Devido a este posicionamento, os peritos em nível estadual passaram a pleitear a autonomia da função pericial, pois entendiam que uma perícia quando atrelada ao órgão policial poderia gerar suspeição aos resultados dos exames periciais quando uma instituição está em um mesmo ambiente organizacional. Quando os órgãos da Criminalística estão subordinados às Polícias Judiciárias, pode se comprometer a imparcialidade importante do perito, principalmente em casos em que o objeto da análise pericial envolve os demais servidores do mesmo órgão, por exemplo policiais civis.

A imparcialidade necessária da função pericial também está sendo discutida em outros países. Koppl (2007) *apud* Amorim (2012) chegou à conclusão de que a relação institucional entre o órgão pericial e o policial cria um viés pró acusação.

Esse contexto também é lembrado por Silva (2009), em que a proximidade ou mesmo o exercício da função pericial que realiza a investigação policial, é considerado mais um fator que contribui para uma maior possibilidade de ingerência na atividade pericial.

Conclui Amorim (2012) que a atividade pericial deve ser realizada com a mais absoluta imparcialidade e rigor científico, contribuindo para a resolução dos crimes com respeito aos direitos individuais.

E diante dessa lacuna constitucional e a possibilidade da parcialidade dos laudos periciais quando subordinados aos Delegados Policiais, os Peritos Criminais do Estado do Rio Grande do Sul e de outros Estados criaram uma corrente pró-autonomia pericial.

4.1.2 Instituto-Geral de Perícias do Rio Grande do Sul (IGP/RS)

No ano de 1947, foi criado o Instituto de Polícia Técnica na Repartição Central de Polícia, ou seja, era vinculado à Polícia Judiciária. Em 1966, o Instituto de Polícia Técnica passou a denominar-se de Instituto de Criminalística, sendo elevado à Categoria de Divisão, mas ainda subordinado a outro órgão público.

A desvinculação da Polícia Civil ocorreu no ano de 1987, passando a existir na Constituição Estadual de 1989 como Coordenadoria Geral de Perícias, sendo órgão autônomo prevista no Art. 124 e, em 1997, foi instituído o atual Instituto-Geral de Perícias através de uma emenda Constitucional nº19² (RIO GRANDE DO SUL, 1989).

O Rio Grande do Sul foi o primeiro, no país, a ter o setor desvinculado da Polícia Civil, tornando-se um órgão vinculado à Secretaria de Segurança Pública, sendo a iniciativa de fundamental importância no que tange às investigações técnicas, para que pudessem ser executadas de forma ainda mais autônoma e isenta.

Hoje são poucos os Estados brasileiros que têm a Perícia Criminal Oficial como parte integrante da polícia judiciária.

Atualmente, são órgãos do IGP, sob a coordenação da Supervisão Técnica: o Departamento de Criminalística (DC), Departamento de Identificação (DI),

² Publicada no DOE número 134, de 17 de julho de 1997.

Departamento Médico-Legal (DML), Departamento de Perícias do Interior (DPI) e o Departamento de Laboratório de Perícias (DPL). A sua estrutura organizacional organizada está apresentada na **Figura 2** a seguir:

Figura 2 – Estrutura Organizacional do IGP/RS



Fonte: Adaptado do *site* do IGP/RS (2020).

A Seção de Perícias Ambientais está no Departamento de Criminalística (DC), destacando que ao DC compete realizar exames periciais, pesquisas e experiências no ramo da Criminalística – informática, engenharia, reconstituição, balística, documentoscopia, impressões latentes, disparo, ambiental, fonética, levantamentos de local de crime e levantamentos datiloscópicos nos locais de crime e em sinistros envolvendo patrimônio público.

4.1.3 Seção de Perícias Ambientais

As primeiras solicitações de perícias ambientais requisitadas ao Departamento de Criminalística das quais se tem registro ocorreram no ano de 1997, quando a Seção ainda não existia. Essas requisições foram provenientes da Delegacia de Polícia de Três Forquilhas, interior do Estado do Rio Grande do Sul e encaminhadas então à Divisão de Perícias do Interior do Departamento.

Na ocasião, as solicitações foram encaminhadas às duas Peritas Criminais, em função das suas formações em Ciências Biológicas, as quais estavam lotadas na

Seção de Balística Forense do Departamento de Criminalística e realizaram o trabalho em conjunto. Assim, formaram a primeira equipe de perícias ambientais do Departamento de Criminalística do IGP/RS, porém realizando trabalhos em paralelo com perícias relacionadas à balística forense.

As perícias solicitadas eram relativas à supressão de árvores em Área de Preservação Permanente (APP) que na época consistiam em contravenções definidas pelo antigo Código Florestal (Lei nº 4.771/65³) (BRASIL, 1965).

No ano seguinte, 1998, com a promulgação da Lei nº 9.605/98⁴, conhecida como a Lei dos Crimes Ambientais, as referidas Peritas Criminais do IGP participaram do primeiro Comitê Nacional de Perícias em Crimes contra o Meio Ambiente realizado em Porto Velho/RO onde foi amplamente discutida a nova Lei dos Crimes Ambientais. Dessa forma, reforçou-se a importância de desenvolvimento dessa nova área da criminalística.

Em seguida uma das Peritas se desligou dessa atividade temporariamente enquanto a outra, ainda lotada na Seção de Balística Forense, continuou a realizar os atendimentos das solicitações de perícias relativas aos crimes contra o meio ambiente com equipes formadas sempre com mais um perito de diferentes habilitações profissionais com competências relacionadas às Perícias Ambientais.

No ano de 2000 as requisições de perícias ambientais se avolumaram e a Perita foi designada para coordenar o Núcleo de Perícias Ambientais instituído para a criação de equipe especializada e dedicada nas perícias em crimes contra o meio ambiente, contando apenas uma outra Perita, engenheira química que foi logo substituída também por outra engenheira química. E assim foi criada uma seção específica para atender locais de crimes contra o meio ambiente. Em 2004, houve o retorno de uma das Peritas e mais tarde um outro perito, com formação em Agronomia, entrou em exercício nesse núcleo. Dessa forma, o núcleo contava com quatro peritos, em 2004, para dedicação exclusiva às perícias ambientais.

Em 2012, houve alteração do nome Núcleo de Perícias Ambientais para Seção de Perícias Ambientais e atualmente conta com cinco (05) peritos de formações

³ Na época, ficou instituindo como novo Código Florestal.

⁴ A referida Lei dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências.

diversas como biólogos, engenheiros químicos e agrônomos, devido à multidisciplinaridade inerente aos assuntos que tratam do meio ambiente.

Desde 2004, o Instituto-Geral de Perícias possui um sistema automatizado denominado PGP (Protocolo Geral de Perícias) em que fica registrado o recebimento das perícias solicitadas por seção, os tipos de perícias, atendimentos agendados e efetuados, laudos em revisão, laudos concluídos – tudo de forma esquematizada. A **Tabela 1** mostram os tipos e o números de perícias solicitadas no intervalo de 2004 a 2019 na Seção de Perícias Ambientais.

Tabela 1 – Tipos de perícias solicitadas entre 2004 – 2020

Tipos de Perícia	Quantidade
Desmatamento	2.336
Poluição Hídrica	671
Crime Ambiental	394
Resíduos Sólidos	423
Poluição do Solo	428
Intervenção em APP	454
Outros Tipos de Perícia Ambiental	400
Queimadas	111
Loteamento	115
Poluição Atmosférica	101
Drenagem de Banhado	87
Fauna	78
Unidade de Conservação	64
Poluição Sonora	42
Aterros de Resíduos Domésticos	27
Lavra	22
Ordenamento Urbano e Patrimônio Cultural	15
Maus Tratos de Animais	33
Unidades de Triagem	12
Total	5.813

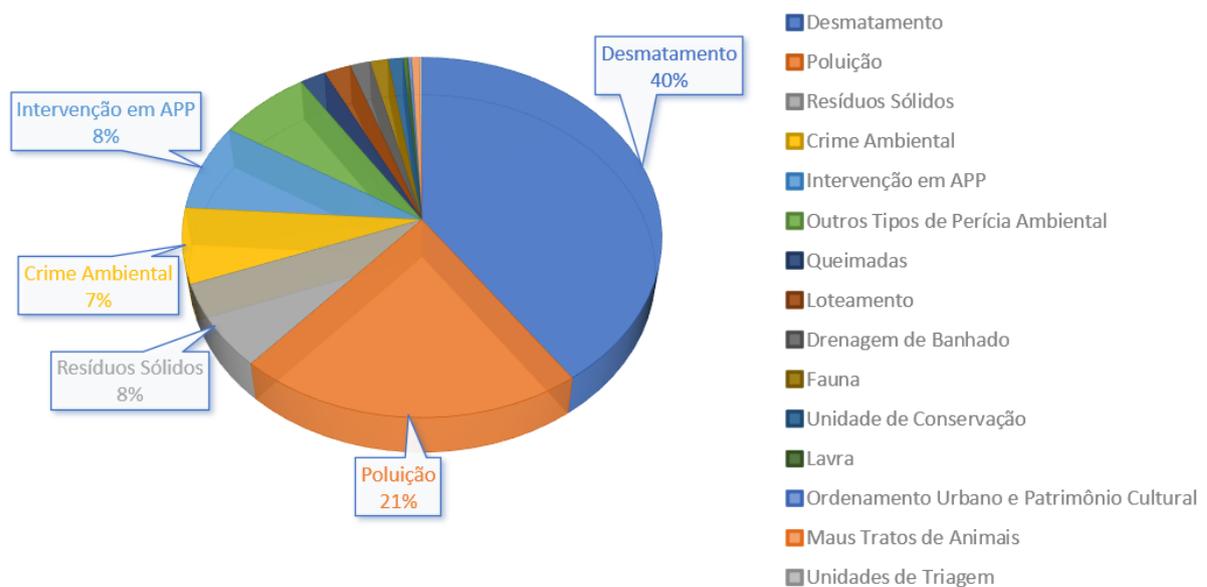
Fonte: PGP (IGP, 2021)

A classificação “Crime Ambiental” foi denominada em uma época em que não havia uma grande diversidade de tipos de perícias solicitadas, mas ainda se mantém para casos que não há um tipo de crime específico ou quando há diversas tipificações distintas de crime ambiental, enquanto a denominação “Aterros de Resíduos Domésticos” foi criada a partir do ano de 2015 – anteriormente era inserida na classificação “Resíduos Sólidos”.

Para facilitar o entendimento do gráfico, foram feitas algumas modificações generalizando os tipos de perícias solicitadas. Por exemplo, poluição atmosférica,

hídrica, do solo e sonora foram contabilizadas como perícia de poluição, enquanto os Aterros de Resíduos Domésticos foram contabilizados como Resíduos Sólidos, pois a classificação daquele só foi contabilizada a partir do ano de 2015. Os dados estão disponibilizados no **Gráfico 1**.

Gráfico 1 – Tipos de Perícias Solicitadas 2004-2020



Fonte: PGP (IGP, 2021)

O **Gráfico 2** apresenta o aumento do número de atendimentos pendentes desde 2004 versus o número de peritos criminais na seção no período 2004-2020.

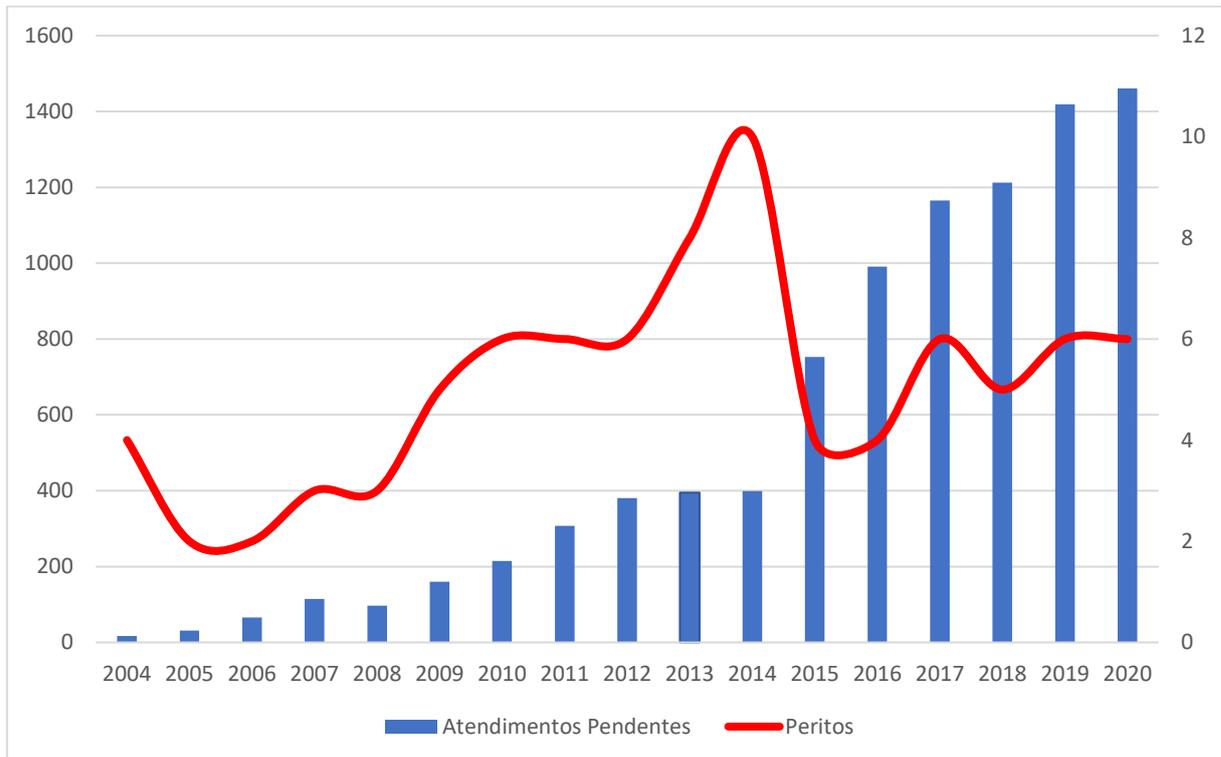
Analisando o referido gráfico, constata-se que houve um *boom* do número de atendimentos pendentes a partir de 2014, justamente quando houve a redução significativa de peritos seção – reduziu de dez peritos para quatro, sendo seis atualmente.

No ano de 2014, o passivo da seção era de 399 atendimentos pulando para 1.461 atendimentos no final de 2020 – significando um aumento cerca de 266,2% em seis anos, enquanto o número de peritos reduzia, evidenciando o problema da falta de peritos lotados na Seção.

Também foi feito o levantamento do número de requisições recebidas a partir de 2015 (**Gráfico 3**) para se analisar se seria um dos motivos pelo *boom* no intervalo de cinco anos. Analisando o referido gráfico, se observa que não houve alterações significativas no número de requisições anuais, muito pelo contrário, tem diminuído desde o ano de 2015, voltando a aumentar em 2019, porém caindo drasticamente no

ano de 2020 – provavelmente relacionada à pandemia da COVID-19. Essa observação infere-se que o impacto do aumento de atendimentos pendentes está relacionado ao decréscimo do número de peritos da Seção de Perícias Ambientais e não ao número de requisições solicitadas por ano.

Gráfico 2 – Número de atendimentos pendentes versus número de peritos



Fonte: PGP (IGP, 2021)

Analisando o referido gráfico, se observa que não houve alterações significativas no número de requisições anuais, muito pelo contrário, tem diminuído desde o ano de 2015, voltando a aumentar em 2019, porém caindo drasticamente no ano de 2020 – provavelmente relacionada à pandemia da COVID-19. Essa observação infere-se que o impacto do aumento de atendimentos pendentes está relacionado ao decréscimo do número de peritos da Seção de Perícias Ambientais e não ao número de requisições solicitadas por ano.

Diante deste quadro preocupante e irreversível a curto prazo, torna-se necessário encontrar alternativas para se minimizar este impacto negativo. Uma delas é encurtar o tempo de levantamento de locais – o uso de RPAS pode ajudar na redução do passivo do número de atendimentos pendentes a longo prazo, mas não irá reduzir o tempo em que se leva para elaborar os laudos periciais. A ferramenta do uso do RPAS não substitui a interpretação e o laudo a ser realizado por profissionais.

Gráfico 3 – Requisições de perícias recebidas por ano

Fonte: PGP (IGP, 2021)

4.2 GEOTECNOLOGIAS

Tommaselli (2009) destaca que as geotecnologias são tecnologias desenvolvidas com objeto de coletar e processar os dados de posicionamento geográfico, possibilitando análises complexas através da integração de diferentes informações em um mesmo banco de dados.

4.2.1 Cartografia Básica

Sabe-se que a cartografia é considerada uma ciência que tem a finalidade de representar graficamente uma área geográfica ou uma superfície plana, ou seja, teve que estudar também a forma da Terra, a qual vem sendo pesquisada ao longo dos anos em diversas partes do mundo (IBGE, 1998).

4.2.1.1 Representação Cartográfica

O conceito de forma esférica para o nosso planeta partiu de Pitágoras em 528 A.C. e a partir dele foram desenvolvidas sucessivas teorias até alcançar o conceito de que a forma do planeta é um Geóide, hoje bem aceito no meio científico internacional (IBGE, 1998).

O conceito de Geóide foi introduzido pelo alemão Carl Friedrich, o que corresponde à superfície do nível médio do mar homogêneo, considerando a ausência de correntezas, ventos, variação da densidade da água, entre outros, supostamente prolongado por sob continentes e a rotação da terra como força centrífuga (IBGE, 1998).

A partir do conceito de Geóide, foi necessária a busca de um modelo mais simples para representar o nosso planeta através de uma figura geométrica, denominada elipsoide de revolução. De acordo com Carvalho e Araújo (2008), o elipsoide foi definido como a superfície de referência para onde são transferidos os dados do geóide, sendo a figura matemática mais utilizada pela ciência geodésica para a realização dos levantamentos. A **Figura 3** mostra uma comparação entre as diversas formas de representação do planeta.

Fitz (2008) destacou que um dos grandes problemas enfrentados para uma boa representação cartográfica é devido à forma esférica da Terra e para fazer uma representação plana em cartas, ocorrem grandes problemas de representação, sendo que globos são a melhor maneira de representar a Terra. A **Figura 4** apresenta um desdobramento aproximado da projeção da Terra sobre uma superfície esférica para a confecção de um globo.

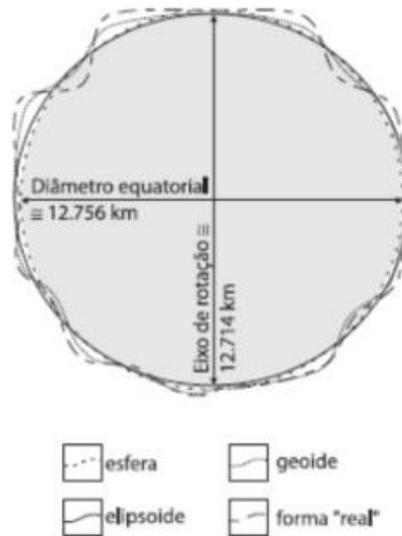
Era necessário aproximar a realidade da superfície terrestre para uma forma passível de ser geometricamente transformada em um mapa, ou seja, uma superfície plana e manuseável. A superfície escolhida foi um elipsoide de revolução, citado anteriormente e com intuito de transportar os pontos constantes nessa superfície para um plano, foi criado um sistema chamado “Projeções Cartográficas”, o qual transporta do modo mais fiel, com alguns ajustes, os pontos notáveis da Terra para os mapas (FITZ, 2008).

Dessa forma, conclui-se que todos os mapas são representações aproximadas da superfície da Terra, pois não se consegue passar de uma superfície curva para uma superfície plana sem que haja deformações. Destaca-se que essas deformações acabam influenciando na precisão e acurácia dos levantamentos realizados com RPAS, devendo haver a preocupação em minimizar os erros, de tal modo que não interfira de forma significativa nas mensurações do trabalho.

De acordo com o Fitz (2008), as referidas projeções cartográficas podem ser distribuídas de acordo com diversos métodos buscando um melhor ajuste da

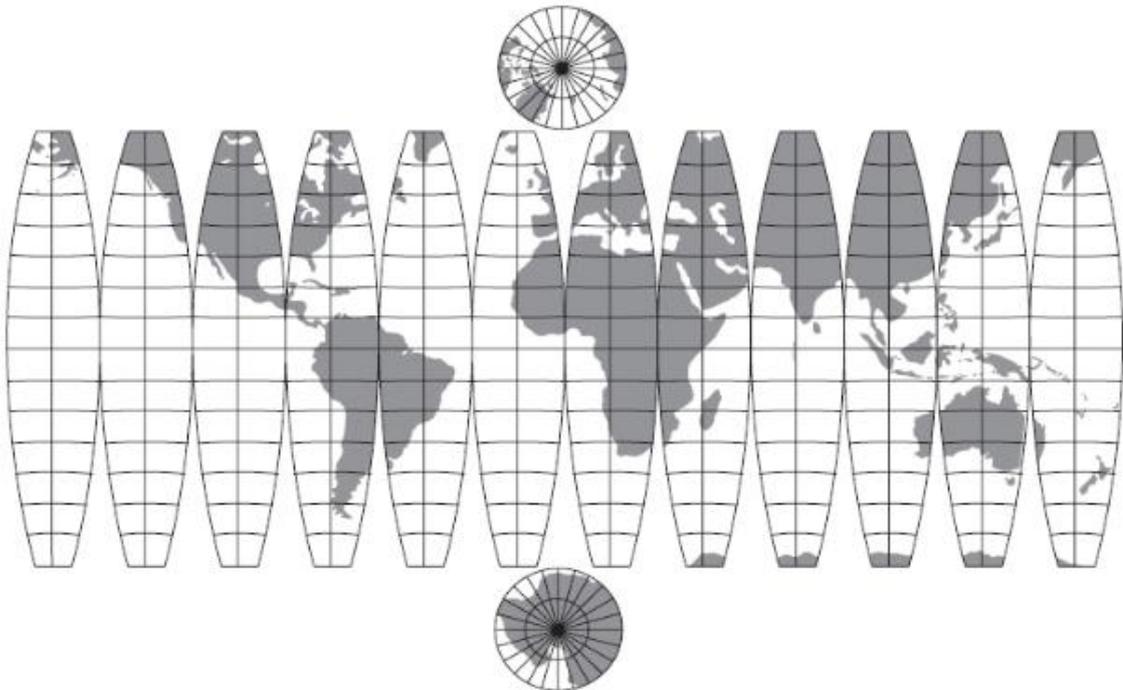
superfície a ser representada, sendo a mais importante que é a classificação quanto ao tipo de superfície de projeção, tais como: plana (A), quando a superfície de projeção é um plano, cônica (B), quando a superfície de projeção é um cone, cilíndrica (C), superfície de projeção é um cilindro, e poliédrica (**Figura 5**).

Figura 3 – Formas de representação da Terra



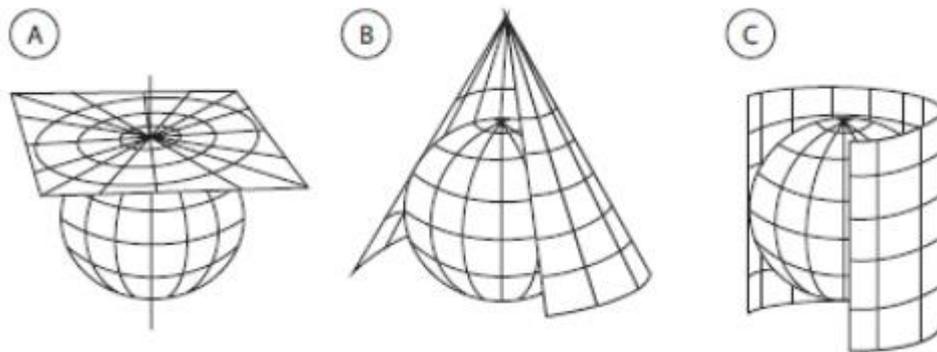
Fonte: Fitz (2008, p.15).

Figura 4 – Desdobramento do globo terrestre



Fonte: Fitz (2008, p.47).

Figura 5 – Classificação das projeções de acordo com o tipo de superfície de projeção



Fonte: Fitz (2008, p.50).

4.2.1.2 Coordenadas

A finalidade de determinar a localização precisa dos pontos na superfície terrestre, dividiu-se a Terra em partes iguais, os hemisférios, os quais de acordo o sistema de convenções adotado, temos: o hemisfério norte, sul, ocidental, oriental e por final, o meridiano de Greenwich. Para sua efetivação, para se determinar a localização de um ponto de interesse em um sistema de referência, usa-se um sistema de coordenadas que possibilita, por meio de valores angulares (coordenadas esféricas) ou lineares (coordenadas planas), sendo o sistema de coordenadas geográficas⁵ e o sistema UTM⁶ (Universal Transversa de Mercator), os mais utilizados atualmente (FITZ, 2008).

O sistema de coordenadas geográficas é o sistema de coordenadas mais antigo que se dá com aplicação de um sistema sexagesimal (CAMARA et al., 1996). Fitz (2008) menciona também que as coordenadas geográficas localizam, de forma direta, qualquer ponto sobre a superfície da Terra, através dos valores expressos por suas coordenadas, Latitude e Longitude, contendo unidades de medida angular, ou seja, graus (°), minutos (') e segundos ("). Por exemplo, o prédio 6 da CETESB (Companhia Ambiental do Estado de São Paulo) está localizado sob as coordenadas 23° 33' 43.54" (Latitude Sul) e 46° 42' 9.65" (Longitude Oeste). Fitz (2008) reforça também de que sistema não necessita de qualquer outra indicação complementar, como é o caso das coordenadas UTM.

⁵ Baseado em coordenadas geodésicas.

⁶ Baseado em coordenadas plano-retangulares.

O Sistema Universal Transversal de Mercator (UTM) é um sistema largamente aplicado em trabalhos cartográficos por trabalhar com paralelos e meridianos retos e equidistantes. A projeção UTM foi criada pelo belga Gerhard Kremer, quem era conhecido como Mercator em 1569 e adota uma projeção do tipo cilíndrica, transversal e secante ao globo terrestre (FITZ, 2008).

Conforme Camara et al (1996), a projeção UTM é definida dividindo-se a Terra em 60 fusos de 6 graus de longitude, sendo que para cada fuso adota-se como superfície de projeção um cilindro transversal com eixo perpendicular ao seu meridiano central, que assume ainda o papel de longitude de origem. Por exemplo, o prédio 6 da CETESB está localizado sob as coordenadas UTM, Fuso 23K, 326220mE (eixo oeste-leste) e 7393233mS (eixo sul-norte).

Segundo De Oliveira (2012), a projeção UTM é o padrão seguido pelas agências federais tais como INCRA (Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária), IBGE, IBAMA, FUNAI (Fundação Nacional do Índio), etc., para as questões de regularização e desapropriação. No entanto, De Oliveira (2012) destaca que a projeção UTM apresenta distorções de representação nas distâncias, áreas e azimutes, podendo as áreas serem significativas, o que causa grande diferença em transações financeiras de compra, venda e desapropriação.

4.2.1.3 Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC)

A PEC está relacionada com a questão da exatidão da posição planimétrica (xy) nos produtos cartográficos, a qual é tratada por diversos organismos internacionais e nacionais. O Brasil, por exemplo, utiliza o Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC), regulamentado pelo Decreto nº89.817/1984 (BRASIL, 1984) em que estabelece as instruções reguladoras das normas técnicas da cartografia nacional. Entretanto, de acordo com Dalmolin e Leal (2001 apud SANTOS et al., 2010), o PEC não apresenta diretrizes para avaliação dos trabalhos de hoje, uma vez que são ofertados pela cartografia digital e não estão contemplados no referido decreto que é de 1984, época em que não se produzia cartografias digitais.

Devido à evolução tecnológica, Santos et al. (2010) salienta ser necessário buscar novas formas de avaliar os produtos cartográficos, sejam analógicos ou digitais, devendo incluir outros itens como realizar testes estatísticos, tipos de amostras a serem utilizadas e como escolher amostras para testes. Essa observação é corroborada por Siqueira (2003) em que na sua dissertação de mestrado consistiu

em um trabalho comparativo entre as bases cartográficas do campus da Universidade de São Paulo (USP) e da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), ambas elaboradas a partir de levantamentos aerofotogramétricos em condições diferenciadas.

Para a análise da exatidão da posição horizontal, Siqueira (2003) utilizou o referido decreto brasileiro e chegou-se à conclusão de que nenhum dos parâmetros considerados na sua pesquisa estava de acordo com a legislação vigente. Em seu trabalho, reforçou mais ainda a necessidade de uma revisão na legislação vigente e nas normas sobre exatidão cartográfica, para que melhor se adeque tanto aos equipamentos, como aos programas de automação topográfica, devendo levar em consideração a realidade brasileira e não uma adaptação das recomendações de outros países.

Apesar das recomendações dos dois autores a respeito de uma revisão na legislação vigente quanto ao padrão de exatidão cartográfica através de novos trabalhos científicos levando em consideração os testes estatísticos, os tipos de amostras a serem utilizadas e como escolher amostras para testes, o Departamento de Ciência e Tecnologia do Exército Brasileiro elaborou a norma para especificação técnica para produtos de conjunto de dados geoespaciais. (ET-PCDG) em 2014 (BRASIL, 2014).

A referida norma, a EB80-N-72.001, definiu os elementos de qualidade para cada produto cartográfico digital e entre estes elementos estão os relativos à precisão posicional em que a precisão absoluta consta como elemento de qualidade da geometria dos dados geoespaciais. Dessa forma, o atributo geometria de um dado vetorial, quando produzido para o Sistema Cartográfico Nacional (SCN) e para a Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais (INDE), deve atender ao padrão de qualidade geométrica ou posicional.

A norma EB80-N-72.001 (BRASIL, 2014) apresentou os valores referentes ao Padrão de Exatidão Cartográfica dos Produtos Cartográficos Digitais (PEC-PCD) para complementarem os estabelecidos para produtos impressos conforme Decreto nº89.817/1984 (BRASIL, 1984). Segundo a referida norma, para um produto digital ser aceito como produto de referência do SCN e do INDE, 90% dos erros dos pontos coletados no produto cartográfico, quando comparados com suas coordenadas levantadas em campo por método de alta precisão, devem apresentar valores iguais

ou inferiores aos previstos ao PEC-PCD, devendo ainda apresentar os valores de EP (Erro Padrão) também iguais ou inferiores aos previstos nas tabelas que constam na norma.

No entanto, os valores do PEC-PCD foram baseados nos valores utilizados pelo “*Ordinance Survey*” e “*National Joint Utilities Group*” do Reino Unido, dados internacionais, fugindo da recomendação de Siqueira (2003) e Santos et al. (2010), sendo que esta mencionou em seu trabalho que o que se realiza, no Brasil, em termos de controle de qualidade de produtos cartográficos difere dos padrões internacionais. E como o presente trabalho não tem a finalidade de gerar produtos cartográficos nas escalas estabelecidas no Decreto brasileiro, não se entrou nos detalhes da PEC-PCD.

4.2.2 Sensoriamento Remoto

Segundo Florenzano (2011), sensoriamento remoto é a tecnologia que possibilita a obtenção de imagens e outros dados da superfície da Terra através da captação e do registro da energia refletida ou emitida pela superfície. O termo *sensoriamento* refere-se à obtenção de dados por meio de sensores instalados em plataformas terrestres enquanto o termo *remoto* significa que a obtenção de dados é feita à distância, sem o contato físico entre o sensor e os objetos de interesse na superfície terrestre (FLORENZANO, 2011).

Segundo Ibrahin (2014), o sensoriamento remoto é uma tecnologia para coleta a distância de informações e dados a superfície terrestre, das alterações antrópicas rurais e urbanas. Essas informações são obtidas remotamente por meio de modernos sensores instalados em plataformas orbitais (satélites) ou aerotransportadas (aviões), como veículos aéreos não tripulados.

Dessa forma, entende-se o sensoriamento remoto como a ciência e a arte de obter informações sobre uma área de interesse, objeto ou fenômeno, mediante análise correta dos dados obtidos por dispositivos que não estão em contato direto com a área de interesse, como é o caso do RPAS, que está sendo objeto de exame pericial.

O sensoriamento remoto tem aplicações nas áreas da agricultura, geologia, recursos hídricos, estudo de solos, florestas, sendo as técnicas de processamento digital e análise visual, consideradas ferramentas úteis para a análise correta de imagens adquiridas por meio de drone, por exemplo.

Entende-se que a nossa estrela, o sol, é a principal fonte de energia eletromagnética utilizada em sensoriamento remoto. A energia radiante do sol atinge o objeto na superfície da terra, e assim interage com este objeto e parte dessa radiação é refletida, se propaga até atingir o sensor que está em plataformas orbitais ou aerotransportadas, onde a informação é detectada e registrada. Essa radiação de retorno acaba criando sinais elétricos, os quais são processados para gerar produtos digitais que serão utilizados na análise de computadores ou produtos fotográficos para análise visual (FLORENZANO, 2011) (**Figura 6**).

Figura 6 – Obtenção de imagens por sensoriamento remoto



Fonte: Florenzano (2011, p. 10).

O formato de armazenamento de dados oriundos do sensoriamento remoto diz respeito ao matricial, o *raster*⁷. Essas imagens digitais possuem os componentes mais importantes de uma estrutura de dados matricial que são conhecidas como resolução, podendo ser classificadas em espacial, espectral, radiométrica e temporal (FITZ, 2009), sendo que a espacial e temporal seriam úteis para o nosso trabalho, conforme Florenzano (2011):

a) Resolução espacial → é definido como tamanho/dimensão. Ou seja, indica a capacidade que o sistema sensor possui para registrar os detalhes do terreno na imagem, sendo que essa resolução é expressa pelo *pixel* (*picture element*⁸). O *pixel* estabelece a unidade mínima de informação que estará representada em uma

⁷ Os dados raster são compostos por linhas (horizontais) e colunas (verticais) de pixels..

⁸ Elemento de imagem.

imagem e corresponde à área da superfície à qual se refere. Dessa forma, quanto maior o tamanho do pixel, menor será a resolução da imagem, ou seja, haverá alta resolução quando esses pixels apresentarem dimensões muito pequenas;

b) Resolução temporal → indica a frequência temporal e quanto tempo o sensor leva para obter uma nova imagem da mesma área de interesse da superfície terrestre. Essa resolução é de fundamental importância quando se pretende monitorar processos dinâmicos como, por exemplo: a ocorrência de queimadas em áreas de floresta, desmatamentos, derramamento de óleo no oceano, mudanças no desenvolvimento de culturas e o crescimento de uma cidade.

A resolução espacial é de extrema importância para a elaboração das metodologias do presente trabalho, uma vez que dependendo da altura em que o drone irá sobrevoar a região, irá influenciar no tamanho dos pixels gerados nos ortomosaicos gerados.

4.2.3 Fotogrametria

Wolf (1983) apud Rocha (2002) considera a fotogrametria como uma arte, ciência e tecnologia de se obter dados confiáveis de objetos físicos e do meio ambiente através de fotografias, por mensurações e exposição de imagens e objetos.

Ainda sobre fotogrametria, Camara et al. (1996) a considera como ciência e tecnologia de se construir um espaço tridimensional a partir de imagens bidimensionais, advindas da gravação de padrões de ondas eletromagnéticas (espaço imagem) não tendo contato físico com o objeto ou área de interesse.

Dessa forma, podemos considerar que os RPAS, objeto do presente trabalho, irão produzir fotografias aéreas sem contato físico com a área em questão, consideradas aerofotogrametrias (fotogrametria aérea), a categoria mais utilizada para a geração de bases cartográficas, ou seja, possuem informações confiáveis para a elaboração dos laudos periciais (**Figura 7**).

Sabe-se que a partir das definições sobre fotogrametria, elas podem ser divididas em duas áreas diferentes, considerando as informações quantitativas e qualitativas:

- **Fotogrametria métrica:** são aquelas que envolvem medidas precisas e computacionais para se determinar a forma e as dimensões dos

objetos de interesse. Ela é aplicada na preparação dos mapas planimétricos e topográficos;

- **Fotogrametria interpretativa:** se ocupam com o reconhecimento e identificação de objetos.

De forma bem resumida, a fotogrametria métrica se aplica a informações quantitativas, enquanto a interpretativa está no contexto das informações qualitativas.

Entretanto, a fotogrametria interpretativa pode ser denominada também como uma fotointerpretação, uma vez que é definida como o ato de se examinar imagens fotográficas, em especial no caso em análise de identificar objetos de interesse criminalístico e deduzir seus significados de forma a se obter uma conclusão correta. A fotointerpretação é sempre utilizada na fotogrametria, pois não é possível efetuar uma medição sem que o objeto a ser mensurado seja identificado, ou seja, existe uma inter-relação entre a fotogrametria e a fotointerpretação. A fotointerpretação também requer, em muitos casos, medições de precisão, ou seja, necessita se fazer uma análise quantitativa também.

Figura 7 - Exemplo de fotogrametria feita com RPAS



Fonte: renderarquitectura.mx (c2020).

A fotointerpretação de áreas ocupadas por aterros sanitários/lixões parte da necessidade do conhecimento básico de elementos típicos em áreas de deposição de resíduos sólidos diversos e características de suas representações em fotografias aéreas. Dessa forma, elementos característicos e os dispositivos de controle de

poluição dessa área podem ser identificados, desde que sejam analisados por experts da área, ou seja, os pequenos detalhes são muito importantes, devendo ser observada também a melhor escala de trabalho que serão definidas conforme a altura de voo com drone. Sabe-se que quanto maior a altura do voo, maior será o terreno captado através de fotografias aéreas, no entanto, teremos menor precisão do terreno devido à menor resolução espacial devido às maiores dimensões do tamanho do pixel.

As conclusões do Laudo Pericial nº113600/2018 (PORTO ALEGRE, 2018), relatado por uma das peritas da Seção de Perícias Ambientais do IGP/RS referente ao Inquérito Policial número 67/2018 – 700705 -A, foram um exemplo da importância das fotogrametrias métricas e interpretativas, além da vantagem de ter fotos aéreas do momento dos exames periciais contra imagens de satélite de alta resolução de datas antigas.

O referido exame pericial foi solicitado pela Delegacia de Polícia de Proteção ao Meio Ambiente (DEMA) e a área em questão se tratava de ocupação por resíduos sólidos na forma de aterro e implantação de um loteamento para residências unifamiliar de forma irregular. A imagem a seguir mostra como foram utilizadas as fotogrametrias métricas e interpretativas em um ortomosaico feito através de imagens aéreas com drone *Phantom 4 Pro* (**Figura 8**).

Baseada na cronologia do aterramento através das imagens de satélite de alta resolução do *Google Earth* datadas até agosto de 2017, a Perita chegou à conclusão estimativa da área aterrada em 11.500m², e como o local foi atendido em agosto de 2018, ela utilizou o ortomosaico feito com drone para averiguar se houve alterações antrópicas entre agosto de 2017 e agosto de 2018, uma vez que não havia imagem de satélite disponível atualizada. Diante dessa comparação da imagem de satélite de alta resolução com o ortomosaico, chegou-se à conclusão de que houve a continuação do aterramento chegando a 22.000m² de área aterrada, ou seja, houve praticamente o dobro de área aterrada no intervalo de um ano. Essa constatação foi prontamente verificável e facilmente obtida, dispensando a medição a campo com GNSS ou equipamento topográfico.

Além disso, foi possível constatar o número de residências unifamiliares construídas e outras ainda em construção, a existência da área de banhado e do avanço do aterramento em direção a ele. Dessa forma, houve a interpretação das imagens, uma vez que se identificou objetos de interesse nelas representados e deu

um significado a estes objetos. Lembrando que quanto maior a resolução, e mais adequada a escala, mais direta e fácil é a identificação dos objetos em uma imagem (FLORENZANO, 2011).

Figura 8 – Intervenção sobre o ortomosaico produzido no Software Agisoft Metashape Professional e elaborado no QGIS⁹



Fonte: Laudo Pericial nº113600/2018 (2018).

⁹ É um software livre com código-fonte aberto servindo de multiplataforma de sistema de informação geográfica (SIG) que permite a visualização, edição e análise de dados.

Hoje em dia as câmeras aéreas analógicas ainda são aplicadas em levantamentos aéreos, mas estão perdendo o espaço para as câmeras digitais pela comodidade, pela qualidade das imagens e por não necessitar de espaço físico para guardá-las. A diferença principal entre elas está na obtenção de dados – as analógicas armazenam os dados em negativos, enquanto as digitais armazenam em uma matriz digital unidimensional ou bidimensional em CCD (*Charge-Coupled Device*). De acordo com o Dos Santos (2013), o crescente desenvolvimento dos sensores digitais aerofotogramétricos aponta para a grande mudança na forma de aquisição, processamento, manuseio e geração de produtos a partir de imagens aéreas, proporcionando melhor resolução espacial e radiométrica e aquisição simultânea de imagens pancromáticas e multiespectrais.

Sabe-se que as medições de áreas e/ou objetos de interesse criminalístico diretamente em fotografias aéreas podem comprometer a qualidade do trabalho. Dessa forma, é necessária uma correção através de técnicas adequadas para esse fim, principalmente quando se tratava com diversos pares estereoscópicos¹⁰.

Obrigatoriamente, quando se deseja obter um ortomosaico de qualidade através de fotografias aéreas feitas com RPAS, o primeiro passo após a tomada de fotografias aéreas é a aerotriangulação, a qual tem a finalidade de correlacionar as coordenadas geográficas da fotografia aéreas com as coordenadas do terreno fotografado – visando à obtenção de coordenadas terrestres para o conjunto de fotografias aéreas. Para se obter a aerotriangulação é necessária a utilização de pontos de apoio – os pontos de controle e os pontos de verificação.

Os pontos de controle são utilizados com a finalidade de se apoiar o processamento e o aumento da precisão das imagens devido ao georreferenciamento e correção geométrica das imagens (GALVÃO; ROSALEN, 2013). Já os pontos de checagem representam a verdadeira acurácia do mapeamento aéreo.

Monico (2008 apud GALVAO; ROSALEN, 2013) destaca que os pontos de controle são pontos cujas coordenadas são, preferencialmente, determinadas *in loco* através de posicionamentos GNSS com a finalidade de obter qualidade compatível com os objetivos propostos do voo.

¹⁰ Uma imagem estereoscópica é o resultado da superposição longitudinal entre duas aerofotos consecutivas e assim se consegue obter a visualização em três dimensões.

Na obtenção de fotografias digitais pode-se obter ajuda de um sistema inercial com adição de receptores de posicionamento por satélite, comumente conhecidos como GNSS, que têm a função de garantir a precisão das coordenadas do sensor no ato da obtenção da fotografia e, com isso, garantir o centro perspectivo das fotografias.

Entretanto, os receptores de posicionamento por satélite embutidos no drone *Phantom 4 Pro*, equipamento a ser utilizado no presente trabalho, são do tipo posicionamento por ponto absoluto, ou seja, obtêm a posição em tempo real porém com precisão em torno de 10 metros. Dessa forma, para se obter um trabalho preciso e de qualidade, será necessário utilizar os pontos de apoio com o GNSS geodésico para realizar o posicionamento relativo utilizando dois receptores, e assim obtendo alta precisão.

4.2.4 Fotointerpretação

Após a obtenção de fotografias aéreas, é realizado o processo de restituição, o qual consistirá na extração dos detalhes contidos nas fotografias a partir de softwares específicos, sendo que os produtos resultantes dessa atividade são os mapas denominados planialtimétricos.

De forma técnica, a restituição produz um modelo estereoscópico da área mapeada com fotografias aéreas, através da interseção de pares de raios luminosos que passam pelos centros de perspectiva e pelos pontos homólogos e assim projeta ortogonalmente cada uma dessas interseções sobre um plano de referência reproduzindo um mapa (KITZ, 2008). Resumindo, o processo de restituição produz resultados constituindo em vetores planialtimétricos georreferenciados que formam a base cartográfica de interesse.

O produto mais importante deste trabalho através da fotogrametria e fotointerpretação é a ortofoto, que consiste na transformação da projeção cônica das fotografias aéreas em uma projeção ortogonal em um plano. A partir desse produto são gerados os mapas planialtimétricos de interesse e assim se chega ao conceito e aplicação do ortomosaico (**Figura 9**).

Mello; Salim; Teixeira (2017) destacam que o mapeamento aéreo utilizando os RPAS surge no âmbito das geotecnologias como uma alternativa de baixo custo à aerofotogrametria e à fotointerpretação, gerando produtos de alta resolução espacial e proporcionando economia de recursos financeiros, humanos e naturais, rapidez na geração de resultados, incremento de segurança no trabalho, e principalmente por

geração e coleta de dados confiáveis e de fácil compreensão, que retratam fielmente a realidade.

De acordo com Silva e Botelho (2017), o drone tem como principal finalidade gerar um produto cartográfico que seja passível de obter análise de informações espaciais (qualitativas e quantitativas) com precisão, de forma rápida e remota. Ainda afirmam que devem ser tomados alguns cuidados na aquisição dessas imagens, os quais são garantir a estabilidade e ortogonalidade da câmera em relação ao solo e a qualidade e recobrimento entre as imagens sucessivas.

Figura 9 – Exemplo de um ortomosaico



Fonte: Elaborada pelo autor (2019).

Em virtude da extensa bibliografia destacando os benefícios da utilização do drone em termos de aerofotogrametria e fotointerpretação, torna-se importante realizar estudos através da análise de informações espaciais, podendo serem qualitativas ou quantitativas, de modo a verificar se as ortofotos digitais oriundas de um drone são melhores em termos de acurácia/precisão em comparação com as imagens de satélite de alta resolução. E assim, através dos resultados obtidos, poderão ser desenvolvidas metodologias de forma a possibilitar levantamentos a

campo de forma rápida e eficiente, incluindo, a escolha do *Software* mais adequado para o trabalho, não somente em aterros sanitários como também em áreas de desmatamentos, mineração, postos de gasolina, abatedouros, laticínios, esterqueiras, banhados, nascentes, etc.

4.2.5 *Remotely Piloted Aircraft System* (RPAS)

Um *Remotely Piloted Aircraft System* (RPAS) é todo e qualquer tipo de aeronave que não necessita de pilotos embarcados para ser guiada (BENEMANN, 2013). Segundo Jensen (2009), estes veículos são mais conhecidos como drone, derivado de zangão em inglês, sendo que a localização a aeronave é conhecida por meio de GNSS a bordo.

Segundo Pegoraro, Gubiani e Philips (2013), a utilização de RPAS em aplicações civis pode se dar em pesquisa ambiental remota, monitoração e certificação de poluição ambiental, gerenciamento de queimadas, etc, como é de interesse do presente trabalho de apresentar metodologias de certificação da poluição ambiental na esfera criminal.

No sensoriamento remoto, os RPAS podem se destacar também devido à possibilidade de maior recobrimento de tempo, conforme destacado por Grenzdörffer (2009) apud Pegoraro, Gubiani e Philips (2013). Para Hardin e Jackson (2005), a utilização desses sistemas autônomos pode suprir uma lacuna entre levantamentos a campo e imagens de satélite orbitais tanto em cobertura espacial como no monitoramento contínuo.

Mitishita et al (2014) destaca também que as facilidades existentes na realização do voo autônomo associado com o baixo custo do recobrimento e do sistema fotogramétrico através de RPAS, são os principais atrativos desta nova tecnologia em aplicações fotogramétricas, principalmente em pequenas áreas de trabalho.

Barbosa e Roanhorse (2007) destacaram como vantagens dos RPAS em relação aos satélites: a resolução espacial que pode ser regulada pela altitude da aeronave, variando entre centímetros até alguns metros; escolha do período de repetição do levantamento, o que facilita o acompanhamento dinâmico dos alvos sobre uma região e o reduzido custo quando comparado com satélites de alta resolução.

Navarro et al (2015) apud Barcelos (2017), menciona que a utilização de RPAS em estudos ambientais é de grande valia, pois contribui em tempo real na precisão e conhecimento de áreas de variadas extensões, oferecendo suporte aos pesquisadores, com auxílio de imagens aéreas de alta resolução, propiciando o mapeamento das áreas de estudo e o desenvolvimento das pesquisas nesse âmbito.

Bicho et al (2013) apud SILVA (2015), esclarece que os órgãos de fiscalização e governamentais e militares têm adotado esse tipo de tecnologia para facilitar, agilizar e adquirir informações detalhadas das áreas de interesse.

Sabe-se que os RPAS podem ser do tipo asa fixa (**Figura 10**) ou multirotores, sendo que estes são um tipo de aeronave com uma estrutura fixa possuindo elementos móveis responsáveis pelo voo que são as hélices girando no plano horizontal. Pode ser um quadricóptero, hexacóptero, octacóptero, dependendo do número de hélices (**Figuras 11 e 12**).

Figura 10 – RPAS do tipo Asa Fixa



Fonte: (Arias, 2016)

As vantagens de se utilizar os RPAS de asa fixa são a possibilidade de voar em áreas grandes, ter melhor sustentação e mais economia de bateria (autonomia de voo em torno de 2 horas e meia), no entanto, são caros – valores na faixa de 80 a 100 mil reais, de difícil locomoção (são relativamente grandes se comparados com RPAS multirotores) e com a dificuldade de achar um ponto de decolagem e pouso. Já os RPAS multirotores são vantajosos em relação ao custo, valores em torno de 4 mil a 10 mil reais), transporte e de fácil manuseio, entretanto tem problemas com economia de bateria, sendo a autonomia de voo em torno de 30 minutos, e assim só conseguem voar em áreas menores.

As técnicas de obtenção de informação a partir do drone podem ser diversas, mas as mais importantes são a fotointerpretação e fotogrametria. A fotointerpretação fornece informações qualitativas, permitindo a discriminação de elementos de interesse nas fotografias, enquanto a fotogrametria providencia informações quantitativas, ou seja, permite a obtenção de dados confiáveis sobre objetos físicos e o meio ambiente, um dos objetivos do presente trabalho.

Figura 11 – RPAS do tipo Quadricóptero



Fonte: *ACTION DRONE* (c2020).

Figura 12 – RPAS do tipo Hexácoptero



Fonte: (Casseiro, 2014).

4.2.5.1 Legislação do Uso de RPAS no Brasil

Há uma grande preocupação recente com a popularização dos veículos aéreos não tripulados por civis, tendo a regulamentação como parâmetro importante para se controlar o uso deles com segurança e bom senso.

Como os Aeronaves Remotamente Pilotadas (RPAs), são aeronaves e para voar no espaço aéreo brasileiro, o operador deverá seguir as normas estabelecidas pelas autoridades competentes da aviação, como Departamento de Controle do Espaço Brasileiro (DECEA), o qual é o órgão central do Sistema de Controle do Espaço Aéreo Brasileiro (SISCEAB).

Mesmo com a existência da regulamentação, é comum ler reportagens em mídias tradicionais, tais como: “aeroportos fechados devido à proximidade de drones na região” e “civis autuados por voos não autorizados em determinadas áreas”, ou seja, mesmo com a regulamentação, existem usuários que não cumprem as condicionantes previstas na regulamentação.

Atualmente, no Brasil, há quatro normas vigentes do DECEA:

- ICA¹¹ 100 – 40 – Aeronaves Não Tripuladas e o Acesso ao Espaço Aéreo Brasileiro (DECEA, 2020).
- MCA¹² 56-1 – Aeronaves Não Tripuladas Para Uso Exclusivo Em Apoio Às Situações Emergenciais (DECEA, 2020);
- MCA 56-2 – Aeronaves Não Tripuladas para Uso Recreativo - Aeromodelos (DECEA, 2020);
- MCA 56-3 – Aeronaves Não Tripuladas Para Uso Em Proveito Dos Órgãos Ligados Aos Governos Federal, Estadual ou Municipal (DECEA, 2020).

A instrução ICA 100-40 (DECEA, 2020) tem por finalidade regulamentar os procedimentos e responsabilidades necessários para o acesso seguro ao Espaço Aéreo Brasileiro por RPAs com finalidade não recreativa, enquanto as MCAs citadas acima são para uso exclusivamente voltado aos órgãos ligados aos Governos Federal, Estadual e Municipal, órgãos de Segurança Pública, Defesa Civil e de Fiscalização da Receita Federal e para civis com finalidade recreativa. Dessa forma, a ICA 100-40

¹¹ Instrução do Comando da Aeronáutica.

¹² Manual do Comando da Aeronáutica.

serviria para operadores civis com finalidade não recreativa, enquanto as outras são voltadas para operadores de instituições públicas e aeromodelos.

Apesar das particularidades distintas, qualquer solicitação de voo considerando as características do voo a serem adotadas, conforme as condicionantes das referidas normas, deverá solicitado no *site* do Solicitação de Acesso de Aeronaves Remotamente Pilotadas (SARPAS). O SARPAS foi desenvolvido com objetivo de facilitar a solicitação de acesso ao Espaço Aéreo Brasileiro para o uso de RPAS/DRONES no Espaço Aéreo Brasileiro. Para ter o acesso ao *site*¹³, basta fazer o cadastro munido da documentação específica, como as Certidões de Cadastro de Aeronave não Tripulada para Uso não Recreativo e Recreativo, feitas no sítio da Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC).

Também consta no *site* no SARPAS as orientações aos operadores de RPAs através do Portal DRONE/RPAS que tem a finalidade de reunir as legislações vigentes e as informações necessárias para que os pilotos possam fazer voos de forma segura, respeitando as normas e por fim, oferecer ao usuário um canal para fazer a solicitação para acessar o espaço aéreo brasileiro.

4.2.6 LIDAR (*Light Detection and Ranging*)

Os sistemas aerotransportados de varredura a *Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation* (LASER), internacionalmente conhecidos como *LIGHT DETECTION AND RANGING* (LIDAR), são sistemas de sensoriamento remoto ativo que se utilizam da tecnologia LASER para a obtenção das coordenadas tridimensionais de uma grande quantidade de pontos mapeados na superfície do terreno de forma direta. O princípio básico de operação de tais sistemas consiste na medição da distância entre o sensor e o ponto mapeado no terreno (MULLER, 2013).

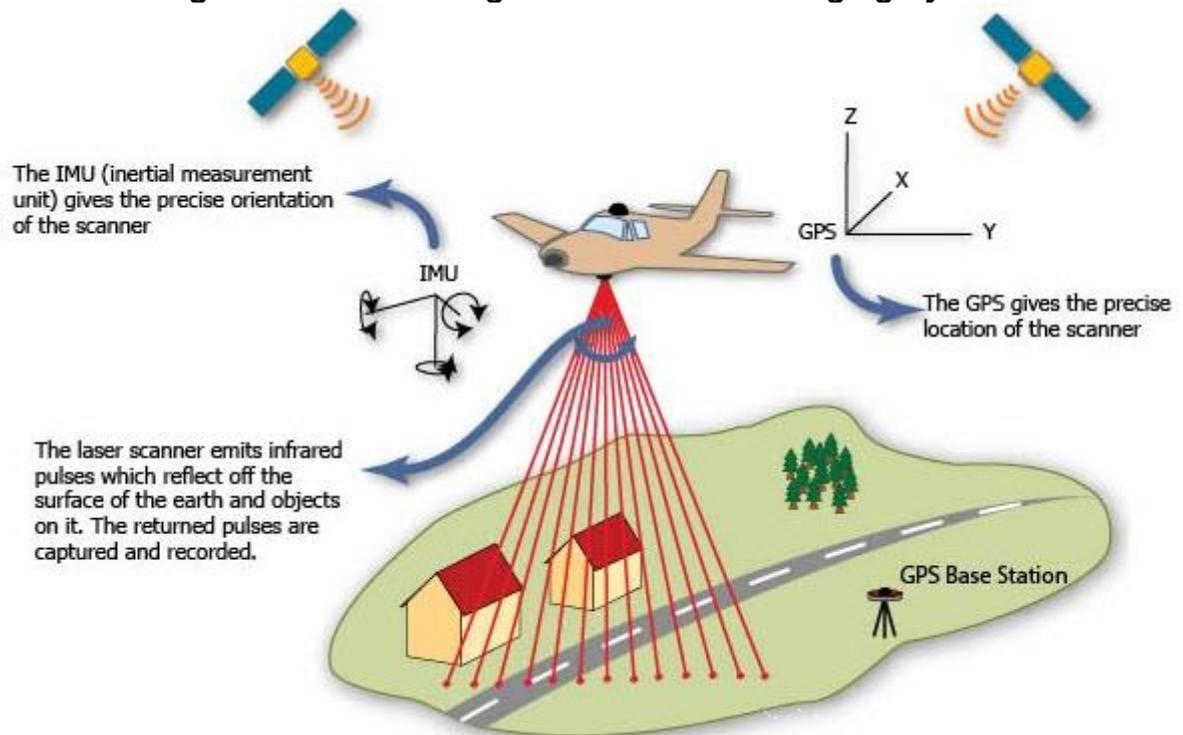
MULLER (2013) ainda complementa que o georreferenciamento do ponto mapeado é possibilitado através do sistema de posicionamento e orientação composto de um sistema de navegação inercial, *Inertial Navigation System* (INS), integrado a um sistema de posicionamento global, *Global Navigation Satellite Systems* (GNSS).

De forma resumida, o LIDAR irá determinar as coordenadas tridimensionais de pontos, ou seja, durante o levantamento aéreo, o sistema irá emitir feixes (pulsos) de

¹³ <http://servicos.decea.gov.br/sarpas/>

luz (LASER) e parte do sinal será refletida na direção do sensor. Dessa forma, irá registrar a distância até o solo para cada um dos feixes emitidos, a qual é determinada através do tempo gasto que o feixe sai do receptor e reflete no solo mais a velocidade da luz. Além da distância, obtém-se também a orientação que é o respectivo ângulo de inclinação de cada feixe em relação a vertical (**Figura 13**).

Figura 13 -LIDAR – Light Detection and Ranging System



Fonte: ELPROCUS (c2013-202).

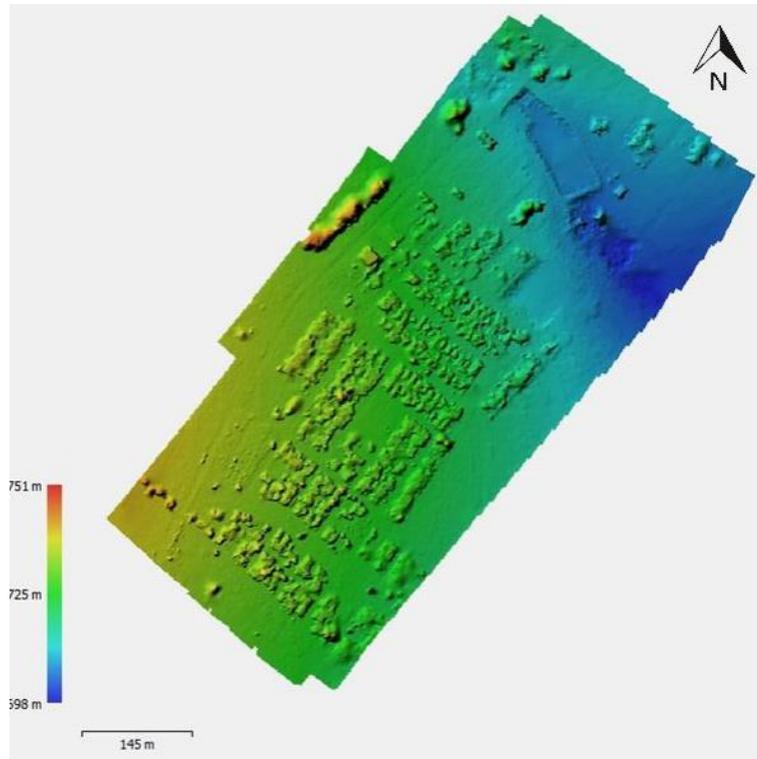
Com este tipo de levantamento, existe a possibilidade na geração de produtos de interesse no presente trabalho, tais como modelos digitais de superfície (MDS), ideal para mensuração de objetos de interesse, modelos digitais de terreno (MDT) que são específicos para gerar modelos digitais de elevação (MDE) e curvas de nível, entre outros (**Figuras 14 e 15**).

Franco (2006) apresentou e descreveu os componentes que integram o sistema de varredura a laser a seguir:

a) Plataforma: apresenta resultados interessantes do ponto de vista cartográfico ao poder captar centenas de pontos por segundo sobre a superfície em estudo, gerando uma estrutura de dados que descrevem o relevo da área. A aeronave tem uma abertura onde o laser é direcionado para o solo ou embarcado num helicóptero. A velocidade, altura de voo e ângulo de abertura são preestabelecidos em programas

de planejamento inicial do mapeamento, porém os seus movimentos são descritos e posteriormente utilizados no tratamento de dados;

Figura 14 – MDE (Modelo Digital de Elevação)



Fonte: Borotto (2019).

Figura 15 – Curvas de nível



Fonte: Campitelli (2016).

b) Sistema de Posicionamento (GNSS + IMU¹⁴): estes são os componentes fundamentais para se obter a exatidão do produto, pois permitem que o sistema

¹⁴ É uma abreviação da expressão inglesa “*Inertial Measurement Unit*”, ou seja, Unidade de Medição Inercial.

execute com precisão o cálculo da posição da plataforma do sensor. No sistema GNSS + IMU, a posição calculada dos receptores GNSS (a bordo da aeronave e a estação base) é ajustada com os parâmetros de variação detectados pelo sistema inercial, melhorando a precisão do posicionamento, sendo que o resultado é um posicionamento obtido com uma sólida tecnologia inercial e com a elevada precisão do sistema GNSS;

c) Scanner: é responsável por receber a resposta de cada pulso, aqueles ecos ao serem refletidos pelos objetos presentes na superfície mapeada. Ele é composto por um dispositivo óptico de espelhos oscilantes e tem como função medir distâncias entre o sensor e os objetos presentes na superfície de interesse ao registrar e processar a diferença de tempo entre o sinal (pulso laser) emitido pelo sensor e a sua resposta depois de interagir com o alvo;

d) Computador e Tela para visualizar a rota do voo: o sistema dispõe de um computador a bordo da aeronave que lhe permite controlar os parâmetros obtidos no planejamento. O computador ainda armazena os dados do receptor GNSS, os relatórios de voo (logs de voo) que contêm informações como a velocidade da aeronave, altura de voo, observações de tempo, entre outras informações pertinentes descritas linha por linha de voo.

4.2.7 Sistema Global de Navegação por Satélite (GNSS)

Sabe-se que o GNSS são sistemas que definem o posicionamento espacial utilizando satélites artificiais. Esses sistemas permitem que receptores sobre a superfície da Terra possam determinar sua localização em comparação com os sinais dos satélites e assim adquirindo sua posição em um sistema de referência espacial adequado.

Esses sistemas foram desenvolvidos primeiramente para fins militares e em seguida passaram a atender as necessidades de posicionamento para uso civil em diversas aplicações como agricultura de precisão, sistemas de transportes e afins, levando ao surgimento de aplicativos para este fim.

Hoje existem diversos sistemas GNSS com nomenclaturas distintas tais como GPS (sistema norte-americano), GLONASS (sistema russo), GALILEO (sistema europeu) e COMPASS (sistema chinês). Até o momento, os sistemas melhor estruturados são o americano e o russo. Pela familiaridade com sistema americano, o enfoque do trabalho será no GPS, conhecimento como Sistema de Posicionamento

Global, uma vez que é o mais utilizado em nosso País. Neste sistema, dezenas de satélites descrevem órbitas circulares inclinadas em relação ao plano do equador com duração de 12 horas e enviam sinais de posicionamento que são capturados por um ou mais receptores GNSS disponíveis no terreno.

4.2.8 GPS

O Sistema de Posicionamento Global é um sistema de rádio navegação desenvolvido pelo Departamento de Defesa dos Estados Unidos com objetivo de ser o principal sistema de navegação do exército americano. Em virtude da alta exatidão proporcionada pelo sistema e do alto grau de desenvolvimento do sistema, ele entrou no contexto das aplicações civis, tais como navegação, transportes, posicionamento geodésico e topográfico.

Ele foi projetado para fornecer a posição instantânea bem como a velocidade de um ponto sobre a superfície terrestre ou próximo a ela, num referencial tridimensional, ou seja, ele permite que o usuário, em qualquer local da superfície da Terra, tenha à sua disposição, no mínimo, quatro satélites, que podem ser rastreados.

Segundo Seber (2003), o princípio básico deste sistema consiste em se determinar a pseudodistância entre um receptor localizado na superfície terrestre que recebe sinais de rádio enviados por, pelo menos quatro (4) satélites.

O princípio básico do GPS é a triangulação, ou seja, três satélites são o suficiente para a determinação da localização tridimensional do receptor, entretanto, em virtude do erro ocasionado pela falta de sincronismo entre o relógio do receptor e o relógio dos satélites, utiliza-se o quarto satélite para corrigir o erro de sincronismo¹⁵ e conseqüentemente a posição do ponto, daí a necessidade de se ter, pelo menos, quatro (4) satélites para se obter sua localização (FITZ, 2008).

A triangulação funciona da seguinte forma: uma pessoa lhe diz que você está a 8km de São Paulo – você pode estar em qualquer lugar dentro do raio de 8 km considerando o centro de São Paulo como referência. Outra pessoa te informa que você está a 8 km do centro de Osasco e a 3ª pessoa informa que você está a 8 km de Taboão da Serra. O ponto de interseção desses três raios é onde você estará

¹⁵ Este erro do sincronismo ocorre principalmente porque os relógios dos satélites são denominados atômicos (rubídio e césio) enquanto os relógios dos receptores são construídos com quartzo.

obrigatoriamente, ou seja, as três pessoas serviriam como três satélites e o 4º satélite servirá para corrigir o erro de sincronismo.

Este sistema de posicionamento apresenta três segmentos bem definidos, os quais são: Segmento espacial, Segmento de Controle e Segmentos de usuários. O segmento espacial consiste em vinte e quatro (24) satélites distribuídos em seis planos orbitais igualmente espaçados, garantindo que, no mínimo, quatro (4) satélites GNSS sejam visíveis em qualquer ponto da superfície terrestre em qualquer hora. Outro segmento importante para o trabalho é o segmento de usuários.

Segundo Monico (2000), o segmento de usuários é composto por receptores GNSS, os quais devem ser utilizados com os propósitos de navegação, Geodésia ou outra atividade qualquer, podendo ser dividida em civil e militar.

4.2.8.1 Classificação dos Receptores GNSS

Monico (2000) ainda destaca que os receptores GNSS podem ser divididos segundo vários critérios, sendo que uma classificação possível é de acordo com a comunidade usuária: receptor militar, civil, navegação, geodésico e de aquisição de tempo. Uma outra classificação baseia-se no tipo de dados proporcionado pelo receptor, ou seja:

- código C/A;
- código C/A e portadora L1;
- código C/A e portadoras L1 e L2;
- códigos C/A e P e portadoras L1 e L2;
- portadora L1;
- portadoras L1 e L2.

Os tipos de dados citados acima estão relacionados ao fato de que cada satélite GNSS transmite duas ondas portadoras L1 e L2, sendo essas frequências geradas simultaneamente, o que permite que os usuários possam corrigir grande parte dos erros devido à refração ionosférica¹⁶. Além desses, temos os códigos *Coarse Acquisition*¹⁷ (C/A) e *Precise or Protected*¹⁸ (P).

¹⁶ Segundo Barbosa, Arruda, Mendonça e Pereira. (2017), como sabemos que refração é um fenômeno óptico em que ocorre alteração da velocidade da onda eletromagnética em virtude da mudança do meio de propagação. A refração sofrida pelo sinal GNSS ao atravessar a atmosfera terrestre pode ser decomposta em refração ionosférica e refração topográfica.

¹⁷ Fácil aquisição.

¹⁸ Código preciso.

O código C/A é o código a partir do qual os usuários civis obtêm suas pseudodistâncias que permitem obter a exatidão estipulada no GPS, enquanto o código P tem sido reservado para uso dos militares norte-americanos e outros usuários autorizados.

Conforme Fitz (2008), os receptores também podem ser classificados pelo tipo de aplicação, ou seja: podem ser receptores de navegação, receptor topográfico, receptor geodésico, receptor para SIG, receptor de aquisição de tempo, entre outros.

4.2.8.2 *Técnicas de Posicionamento GNSS*

Segundo Fitz (2008), o posicionamento geodésico pode ser realizado no modo pontual ou relativo, sendo que no primeiro caso, a posição do ponto é determinada num sistema de referência bem definido, que no caso do GNSS, é o WGS-84. No posicionamento relativo, a posição de um ponto é determinada com relação à posição do outro ponto, cujas coordenadas geográficas devem ser conhecidas. Destaca-se que tanto no posicionamento por ponto, quanto no relativo, o objeto de interesse a ser posicionado pode estar em repouso ou em movimento, dando origem às nomenclaturas de posicionamento estático e cinemático:

1. Posicionamento por Ponto Absoluto (PPP): neste tipo de posicionamento, necessita-se apenas de **um receptor** para realização das leituras, o qual é o mais utilizado em navegação de **reduzida precisão**. Neste caso, o posicionamento de um ponto em tempo real, usando a pseudodistância derivada do código C/A apresenta precisão planialtimétrica em torno de 10 a 15 metros, mesmo se a coleta de dados sobre um ponto estacionário for de longa duração. Não é um método adequado para fins geodésicos e cadastrais;

2. Posicionamento Relativo: neste caso, o usuário deve dispor de **dois ou mais receptores**, os quais devem se comunicar entre si, ou seja, rastreando simultaneamente. Entretanto, com o advento dos Sistemas de Controle Ativos (SCA), que no caso do Brasil, pode-se citar o sistema RBMC (Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo) e a RIBaC (Rede INCRA de Bases Comunitárias). Dessa forma, o usuário com apenas um receptor poderá efetuar o posicionamento relativo referido ao sistema de referência do SCA, porém deverá acessar os dados de uma ou mais estações pertencentes ao SCA, para realizar o pós-processamento. Há os seguintes métodos de posicionamento relativo tais como: **posicionamento relativo**

estático; posicionamento relativo em tempo real (cinemático) e o posicionamento relativo estático rápido.

3. Posicionamento Relativo Estático: a observável normalmente usada nesse tipo de posicionamento é a dupla diferença da portadora, podendo usar também a dupla diferença de pseudodistância ou uma combinação das duas. Entretanto, os casos em que se usa a fase da portadora com observável fundamental são os que apresentam melhores resultados em termos de acurácia – sendo esta técnica mais utilizada em posicionamento geodésico. Neste tipo de posicionamento, tem-se um receptor instalado em uma estação base, e um segundo receptor em estações de interesse, os quais rastreiam satélites visíveis por um período de tempo que pode variar de trinta (30) minutos, até algumas horas. No caso de curtos períodos de ocupação, até dez (10) minutos, o posicionamento será tratado como método rápido.

4. Posicionamentos Relativo Estático Rápido, Pseudocinemático e Semi-Cinemático: De acordo com Monico (2000), o posicionamento relativo estático rápido é igual ao estático, porém com um menor tempo de ocupação, não excedendo em 20 minutos por ponto, utilizando tanto receptores L1 ou L1/L2. O método de pseudocinemático é um tipo de posicionamento em que há a reocupação de uma ou todas as estações, e há ainda o posicionamento semi-cinemático, conhecido como *stop & go* em que se baseia em determinar rapidamente as ambiguidades¹⁹ e mantê-las durante o levantamento das estações de interesse. Neste tipo de método, a antena é mantida coletando dados sobre a estação a ser levantada, por um breve período de tempo.

5. Posicionamento Relativo Cinemático: neste tipo de método, a fase da portadora é a observável fundamental, normalmente utilizado em atividades de mapeamento, que utiliza esse tipo de posicionamento em voos fotogramétricos e podendo efetuar o pós-processamento. Neste tipo de método, as ambiguidades são solucionadas em tempo real, equivalendo ao usuário dispor de distâncias entre o receptor e satélites com precisão milimétrica, permitindo posicionamento com acurácia da ordem de 10 cm (SEBER, 2003).

6. Posicionamento Cinemático em Tempo Real (RTK²⁰): neste tipo de posicionamento são utilizados dois receptores coletando dados continuamente – um

¹⁹ Segundo Seber (1993), para solucionar o problema de ambiguidade, utiliza-se um algoritmo denominado OTF (*On The Fly*).

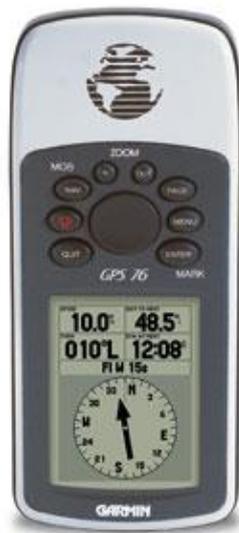
²⁰ Real Time Kinematic.

dos receptores é denominado estação de referência (base) e fica posicionado sobre um ponto de coordenadas conhecidas, enquanto o outro receptor (rover) localizado nas proximidades, coleta dados nos pontos de interesse do usuário para determinação da posição em tempo real. Assim pode-se dizer que o RTK torna o GNSS uma ferramenta universal para medições em tempo real, substituindo as técnicas de medições tradicionais (SEBER, 2003), ou seja, tem muito benefício em monitoramentos, terraplenagem, agricultura de precisão, entre outros.

7. Posicionamento Cinemático Pós Processado (PPK²¹): posicionamento semelhante ao RTK, com a diferença de realizar a correção do posicionamento após o voo efetuado e não em tempo real como é com RTK.

De forma resumida, um GNSS de navegação (**Figura 16**) opera sob a observável pseudodistância e este método lhe confere uma precisão de alguns metros, ideal para a localização de pontos, determinação de rotas e levantamentos de forma menos precisa. Já os GNSS geodésicos (**Figura 17**) lidam com ondas portadoras, ou seja, conseguem obter precisão na casa de centímetros, ideal para trabalhos com georreferenciamento de imóveis, agricultura de precisão e outros projetos mais técnicos, devido à sua precisão e acurácia.

Figura 16 – GNSS de Navegação



Fonte: Georeference (2010)

Figura 17 – GNSS Geodésico



Fonte: Vertente Engenharia (c2020).

²¹ Post Processed Kinematic.

5 ATERROS DE RESÍDUOS SÓLIDOS

Sabe-se que os resíduos sólidos são definidos como tudo aquilo que normalmente se relaciona ao lixo, ou seja, ele é qualquer matéria produzida pelo homem e pela natureza (JR., ROMÉRO., BRUNA., 2014).

Bruna et al. (2014) destaca também sobre a distinção entre resíduos sólidos e rejeito - os resíduos sólidos seriam aqueles que podem ser recicláveis, ou melhor, reaproveitados, enquanto os rejeitos seriam considerados um tipo específico de resíduo, aquele em que são encerradas as possibilidades de reaproveitamento/reciclagem, sendo os aterros licenciados ambientalmente ou incineração, o destino final desses rejeitos. Este olhar traz os conceitos da Lei Federal nº12.305, de 02 de agosto de 2010, em que estabelece a Política Nacional de Resíduos Sólidos (BRASIL, 2010).

5.1 ATERROS SANITÁRIOS/LIXÕES

Segundo Pereira (sem data), o lançamento indevido de resíduos sólidos, líquidos e gasosos de diferentes fontes pode ocasionar alterações nas características do solo, da água e do ar, o que pode ocorrer poluição ou contaminação do meio ambiente.

A definição de poluição pode ser encontrada na Lei nº 6.938/81, a qual dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências (BRASIL, 1981):

“degradação da qualidade ambiental resultante de atividades que direta ou indiretamente: a) prejudiquem a saúde, a segurança e o bem-estar da população; b) criem condições adversas às atividades sociais e econômicas; c) afetem desfavoravelmente a biota; d) afetem as condições estéticas ou sanitárias do meio ambiente; e) lancem matérias ou energias em desacordo com os padrões ambientais estabelecidos”.

Cabe mencionar a relação da poluição com crime ambiental que está previsto na Seção III da Lei dos Crimes Ambientais (Lei nº9605/98), onde se encaixam os impactos negativos gerados por atividade de deposição de resíduos sólidos diversos através de aterros sanitários/lixões, especificamente no artigo 54 da referida lei (BRASIL, 1998):

Art. 54. Causar poluição de qualquer natureza em níveis tais que resultem ou possam resultar em danos à saúde humana, ou que provoquem a mortandade de animais ou a destruição significativa da flora.

A alínea V do inciso 2º da referida lei menciona especificamente sobre os resíduos sólidos (BRASIL, 1998):

V - ocorrer por **lançamento** de **resíduos sólidos**, líquidos ou gasosos, ou detritos, óleos ou substâncias oleosas, **em desacordo com as exigências estabelecidas em leis ou regulamentos.**

As atividades de disposição de resíduos sólidos urbanos podem causar poluição do solo e das águas superficiais e subterrâneas e serem enquadradas conforme artigo 54 da Lei dos Crimes Ambientais que tipifica crime ambiental quando há poluição de qualquer natureza em níveis tais que resultem ou possam resultar em danos à saúde humana, ou que provoquem a mortandade de animais ou destruição significativa da flora. Dessa forma, pode ocorrer a requisição de perícia ambiental na esfera criminal em áreas como aterros²² sanitários, aterros ditos controlados e disposição inadequada (lixões), sendo necessária a elaboração dos laudos periciais relativos a essas áreas.

Como as áreas abrangendo aterros são extensas e o exame pericial *in loco* demorado e, muitas vezes, ineficiente, deve-se estudar outras possibilidades de tornar o exame pericial mais dinâmico e eficiente. Uma delas é utilização de RPAS, popularmente conhecido como Drone, considerado uma ferramenta útil para a perícia criminal ambiental, pois permite a realização de levantamentos em áreas de difícil acesso ou grandes extensões de forma rápida.

5.1.1 Normas NBR ABNT

Atualmente, existem diversas normas técnicas da ABNT que regulamentam as formas aceitáveis de disposição final destes resíduos visando reduzir ao máximo seu impacto negativo sobre o meio ambiente.

A ABNT NBR 10.004:2004, a qual classifica os resíduos sólidos quanto aos seus riscos potenciais ao meio ambiente e à saúde pública, para que possam ser gerenciados adequadamente, define o conceito de resíduos sólidos (ABNT, 2004).

Para a referida norma, os resíduos sólidos são definidos como resíduos nos estados sólido e semi-líquido, que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Também ficam incluídos nessa definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na

²² É uma forma de disposição de resíduos no solo que fundamentada em critérios de engenharia e normas operacionais específicas garante o confinamento seguro em termos de poluição ambiental e de proteção à saúde pública.

rede pública de esgotos ou corpos de água, ou exijam para isso soluções técnicas e economicamente inviáveis em face à melhor tecnologia disponível (ABNT, 2004).

Segundo a norma técnica da ABNT NBR 8.419:1992²³ (ABNT, 1992), o aterro sanitário é definido como uma técnica de disposição de resíduos sólidos urbanos no solo, sem causar danos à saúde pública, minimizando os impactos ambientais, utilizando princípios de engenharia para confinar os resíduos em menor área possível cobrindo-os com uma camada de terra na conclusão de cada jornada de trabalho ou a intervalos menores se necessário.

Já a NBR 8.849:1985²⁴ (ABNT, 1985) conceitua o Aterro Controlado de forma similar ao aterro sanitário, com a diferença de que os resíduos são cobertos com uma camada de material inerte e não de terra.

A diferença entre os aterros sanitários (**Figura 18**) e os aterros controlados reside fundamentalmente em que nos últimos não há exigências quanto à impermeabilização inferior e/ou superior e quanto à remoção e tratamento do percolato e sistema de drenagem de gás (BARROS, 1994).

Apesar do local da **Figura 18** ser definido como aterro sanitário, segundo as características observadas a campo, ele não se adequava à norma para ser classificado como aterro sanitário.

Além da existência de aterros sanitários e aterros controlados, há o famoso “lixão” (**Figura 19**) que é uma forma descontrolada de disposição de resíduos sólidos no terreno, sem os devidos cuidados com a proteção ambiental e com a saúde pública.

Suas possíveis consequências são a propagação de vetores de doenças, a poluição do solo e das águas superficiais e subterrâneas. A disposição do lixo a céu aberto propicia abrigo e alimento para espécies exóticas oportunistas e vetores de doenças como moscas (*Musca domestica*), ratazanas (*Rattus norvegicus*), além de camundongos (*Mus musculus*), baratas (*Periplaneta americana*), mosquitos (*Aedes* sp., *Anopheles* sp., *Culex* sp.), permitindo desenvolvimento de populações destes animais que podem alterar a estrutura trófica dos ecossistemas locais por competição ou oferta de alimento.

²³ Esta norma fixa as condições mínimas exigíveis para a apresentação de projetos de **aterros sanitários** de resíduos sólidos urbanos.

²⁴ Esta norma fixa as condições mínimas para a apresentação de projetos de **aterros controlados** de resíduos sólidos urbanos.

Para a fauna, em especial para as aves, a disposição de resíduos a céu aberto ainda propicia o risco de sufocação provocado por sacos plásticos presentes no local e os espalhados pelo vento nas áreas adjacentes.

Figura 18 – Aterro Sanitário



Fonte: Própria (2010).

Figura 19 – Área de “lixão”



Fonte: Própria (2010).

5.1.2 Chorume

Os resíduos sólidos urbanos representam um dos maiores problemas dos centros urbanos na atualidade em função do seu grande volume e potencial poluidor. Eles são compostos pelo resíduo domiciliar (constituído pelo lixo residencial e pelo lixo comercial) e pelo resíduo público (resíduos de varrição, capina, raspagem, etc. provenientes dos logradouros públicos, bem como móveis velhos, galhos grandes, aparelhos de cerâmica, entulho de obras e outros materiais inservíveis).

A partir da decomposição dos resíduos origina-se um líquido escuro denominado chorume ou sumeiro. Este líquido origina-se da umidade natural do lixo, na água de constituição dos materiais que sobra durante a decomposição e nos líquidos provenientes da dissolução da matéria orgânica pelas enzimas das bactérias (BARROS, 1994) e contém, comumente, ácidos orgânicos voláteis, como o ácido acético e vários ácidos graxos; bactérias; metais pesados como cádmio (Cd), cromo (Cr), cobre (Cu), chumbo (Pb), níquel (Ni) e zinco (Zn) (SILVA, 2002) e sais de íons inorgânicos comuns. Entre os micropoluentes presentes no chorume incluem-se os COVs – compostos orgânicos voláteis – como o tolueno e o diclorometano. O dióxido de carbono produzido na decomposição da matéria orgânica torna o chorume ácido, aumentando com isto sua capacidade de lixiviar os metais pesados presentes no resíduo. Geralmente o chorume produzido em um aterro de resíduos urbanos tem alta demanda de oxigênio, assim como altas concentrações de metais pesados (BAIRD, 2002). Uma vez que se trata de uma solução altamente poluidora, é necessário seu controle de forma a evitar a contaminação das áreas adjacentes, pois este líquido pode infiltrar no solo e contaminar as águas subterrâneas (**Figura 20**).

A variabilidade da composição dos resíduos aterrados e as formas diferentes de manejo, podem produzir chorumes com elevados teores de metais tóxicos, xenobióticos (substâncias químicas produzidas pelas atividades humanas) e microrganismos perigosos à saúde. No chorume, os íons presentes em grandes quantidades percolam pelo solo e combinam-se com espécies doadoras de elétrons, como o íon CN^- , formando complexos. Também podem se ligar a cadeias curtas de carbono, o que os torna solúveis em tecidos animais, podendo atravessar membranas biológicas (SILVA, 2002).

Figura 20 – Escorrimento de chorume no solo a céu aberto



Fonte: Própria (2018).

O escoamento superficial do chorume pode chegar até as águas superficiais mais próximas em função da topografia, tornando possível sua contaminação. Para se evitar estas situações são necessárias algumas medidas de controle, denominados de dispositivos de controle de poluição, como: remoção do chorume para posterior tratamento, monitoramento das águas subterrâneas através de poços de monitoramento (piezômetros), drenos para saída de gases, impermeabilização das paredes e do fundo do aterro e recobrimento dele com material impermeável.

5.1.3 Volume de lixo e emissões de gases

Além do potencial poluidor do chorume, a disposição de resíduos sólidos urbanos em aterros também produz gases indesejáveis. Inicialmente, a decomposição anaeróbica produz ácidos carboxílicos e ésteres voláteis, que se dissolvem na água presente. Na fase seguinte de decomposição, à medida que os ácidos são decompostos, são emitidas quantidades significativas de gás metano (CH_4) e de dióxido de carbono (CO_2) (BAIRD, 2002).

Quando o aterro atinge o estado anaeróbico o gás produzido é composto por 55% (v/v) de metano e 45% (v/v) de dióxido de carbono. Esses gases são produzidos a uma taxa relativamente estável por um período de mais de 10 anos. As taxas de

produção registradas em aterros variam entre 8 e 509m³ de gases por tonelada de resíduos sólidos por ano, dependendo do contato do resíduo, água e infiltração (DUNN Jr., 1978 apud BARRIOS, R, 1987).

5.2 ATERROS DE RESÍDUOS INDUSTRIAIS

Assim como há a existência de aterros sanitários, também existem aterros de resíduos provenientes de atividades industriais.

O resíduo industrial é um dos responsáveis pelos potenciais impactos negativos ao meio ambiente, pois nele estão contidos diversos produtos químicos, metais e solventes químicos, os quais despejados podem ameaçar os ciclos naturais (KRAEMER, 2005). O mesmo autor destaca também que as indústrias são as maiores responsáveis por grande quantidade de resíduos gerados, devendo os geradores serem obrigados legalmente a cuidar do gerenciamento, transporte, tratamento e destinação final adequada de seus resíduos.

Conforme a Norma ABNT 10.004:2004 (ABNT, 2004), os resíduos provenientes de atividades industriais podem ser classificados em resíduos Classe I – Perigosos e resíduos classe II – Não perigosos. Os resíduos classe II podem ser divididos em resíduos classe II A – Não inertes e resíduos classe II B – Inertes.

Como exemplo, segundo estimativas da Fundação Estadual de Engenharia do Meio Ambiente (FEEMA, 2000 apud SISINNO, 2003), são produzidas por mês, 500 mil toneladas de resíduos industriais pelas indústrias do Estado do Rio de Janeiro – desse montante, a maior parte constitui de resíduos não inertes, seguindo de resíduos inertes e 20 mil de resíduos perigosos.

De acordo com Sisino (2003), reciclagem, aterro municipal, co-processamento, aterro industrial, etc. são as principais formas de tratamento e destinação final dos resíduos, sendo que a destinação principal dos resíduos perigosos por meio de reciclagem ou por deposição em aterros municipais e industriais.

5.2.1 Resíduos Classe I - Perigosos

Segundo a NBR 10.004 (ABNT, 2004), este tipo de resíduos é aquele que apresenta periculosidade ou outras características como inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade e patogenicidade, ou constem nos anexos A e B da referida norma. Óleos minerais, óleos lubrificantes, graxas, borras de chumbo,

lodos de rampa de lavagem, lâmpadas fluorescentes, pilhas e baterias, e equipamentos eletroeletrônicos são exemplos de resíduos perigosos.

A referida norma define a periculosidade como característica apresentada por um resíduo que, em função de suas propriedades físicas, químicas ou infectocontagiosas, pode apresentar risco à saúde pública, provocando mortandade, incidência de doenças ou acentuando seus índices e riscos ao meio ambiente, quando o resíduo for gerenciado de forma inadequada.

Por exemplo, os óleos usados contêm produtos resultante da deterioração parcial dos óleos em uso, tais como compostos oxigenados (ácidos orgânicos e cetonas) e compostos aromáticos polinucleares, resinas e lacas. Além dos produtos de degradação do óleo básico, estão presentes os aditivos que entram na formulação de lubrificantes e ainda não foram consumidos, metais de desgaste dos motores e contaminantes diversos, como água, combustível não queimado, poeira e outras impurezas. Desses contaminantes, são importantes o chumbo, o cádmio, o arsênio, o cromo e os hidrocarbonetos policíclicos aromáticos, que são em sua maioria bioacumulativos e causam graves problemas de saúde, segundo a Associação de Proteção Ao Meio Ambiente de Cianorte (APROMAC, 2008).

Já os produtos elétricos e eletrônicos, em geral possuem vários módulos básicos, tais como: conjuntos/placas de circuitos impressos, cabos, cordões e fios, plásticos antichama, disjuntores de mercúrio, telas de tubos catódicos, condensadores, resistências e relés, sensores e conectores. As substâncias mais problemáticas do ponto de vista ambiental presentes nestes componentes são os metais pesados, como o mercúrio, chumbo, cádmio e cromo, gases de efeito estufa, as substâncias halogenadas, como os clorofluorocarbonetos (CFC), bifenilas policloradas (PCBs), cloreto de polivinila (PVC) e retardadores de chama bromados, bem como o amianto e o arsênio (LIMA et al, 2015 apud RODRIGUES, 2003).

Esses resíduos são normatizados pela ABNT NBR 10.157/1987 (ABNT, 1987), a qual fixa as condições mínimas exigíveis para projeto e operação de aterros de resíduos perigosos, de forma a proteger adequadamente as coleções hídricas superficiais e subterrâneas próximas, bem como os operadores destas instalações e populações vizinhas.

A NBR 11.174:1990 (ABNT, 1990) destaca que os resíduos não perigosos não podem ser misturados com resíduos perigosos, de modo que, neste caso, podem

tornar-se, no todo, classificados como perigosos. Por esse motivo, os resíduos provenientes de indústrias devem ser tratados e destinados em instalações apropriadas.

5.2.2 Resíduos Classe II – Não Perigosos

Conforme citado anteriormente, estes tipos de resíduos podem ser divididos em duas classes – não inertes e inertes.

Para esta tipologia de classificação de resíduos, é permitido aos geradores encaminhar para a disposição final em aterros enquadrados em classe II.

Quanto a tipologia do aterro Classe II vai depender da quantidade diária de resíduos a receber, podendo ser aterros em valas (pequeno porte), aterros em trincheira (médio porte) e aterros em camadas (grande porte). No caso de aterros em trincheira e em camadas não há legislação específica, neste caso, vale o melhor aproveitamento volumétrico e operacionalidade.

5.2.2.1 Resíduos Classe II A – Não Inertes

Conforme a NBR 10.004:2004 (ABNT, 2004), esses resíduos são aqueles que não se enquadram nas classificações de Classe I ou resíduos Classe II B e podem ter propriedades, tais como: biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água. De forma resumida, incluem-se nesta classe os resíduos potencialmente biodegradáveis ou combustíveis.

O maior exemplo de resíduos não inertes são os resíduos sólidos do tipo sucata de materiais ferrosos e não ferrosos, peças de veículos automotivos, resíduos de papel e papelão e resíduos de borracha, os quais devem ser dispostos em aterros de resíduos classe II A, tais como aterro sanitário ou aterro de codisposição, sendo que este consiste em misturar os resíduos classe II com os resíduos sólidos domiciliares.

5.2.2.2 Resíduos Classe II B – Inertes

Perfazem esta classe os resíduos considerados inertes e não combustíveis, sendo os resíduos sólidos de construção civil (RSCC) os famosos resíduos classe II B.

As diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão de RSCC estão estabelecidas através da Resolução do CONAMA nº307, de 5 de julho de 2002 (BRASIL, 2002).

A referida resolução define que resíduos da construção civil são os provenientes de construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, e os resultantes da preparação e da escavação de terrenos, tais como: tijolos, blocos cerâmicos, concreto em geral, solos, rochas, metais, resinas, colas, tintas, madeiras e compensados, forros, argamassa, gesso, telhas, pavimento asfáltico, vidros, plásticos, tubulações, fiação elétrica etc, comumente chamados de entulhos de obras, caliça ou metralha.

Ainda, segundo a referida Resolução, os resíduos sólidos de construção civil não poderiam ser dispostos em aterros de resíduos domiciliares, em áreas de “bota fora”, em encostas, corpos d’água, lotes vagos e em áreas protegidas por lei.

Além da determinação do CONAMA, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), em sua NBR 15.113:2004 (Resíduos sólidos da construção civil e resíduos inertes - Aterros - Diretrizes para projeto, implantação e operação), define que a disposição destes resíduos deve ocorrer em aterros específicos conforme estabelecido por esta Norma (ABNT, 2004).

6 METODOLOGIA

O presente trabalho consistiu em levantar as áreas ocupadas por aterros no interior do Estado do Rio Grande do Sul através de mapeamento aerofotogramétrico com coletas de pontos de apoio utilizando duas técnicas distintas de posicionamento GNSS.

6.1 TIPOS DE PESQUISA

A ideia do trabalho foi realizar o mapeamento aerofotogramétrico em, pelo menos, quatro áreas ocupadas por aterros com drone. Além do mapeamento, foram feitas coletas de pontos de apoio (pontos de controle e de checagem) em campo utilizando duas técnicas distintas de posicionamento GNSS – Posicionamento Relativo e Posicionamento Cinemático em tempo real (RTK), com a finalidade de estudar as diferenças dessas duas técnicas em termos de precisão e acurácia.

Para se obter um produto bom e confiável levou-se em consideração determinados aspectos importantes com finalidade de se evitar gastos indevidos, uma vez que foram feitos exames *in loco* em cidades distantes da cidade do autor do presente trabalho. Os aspectos importantes foram o planejamento do voo por meio de estudo teórico-prático das áreas de interesse, a execução do voo, levando em

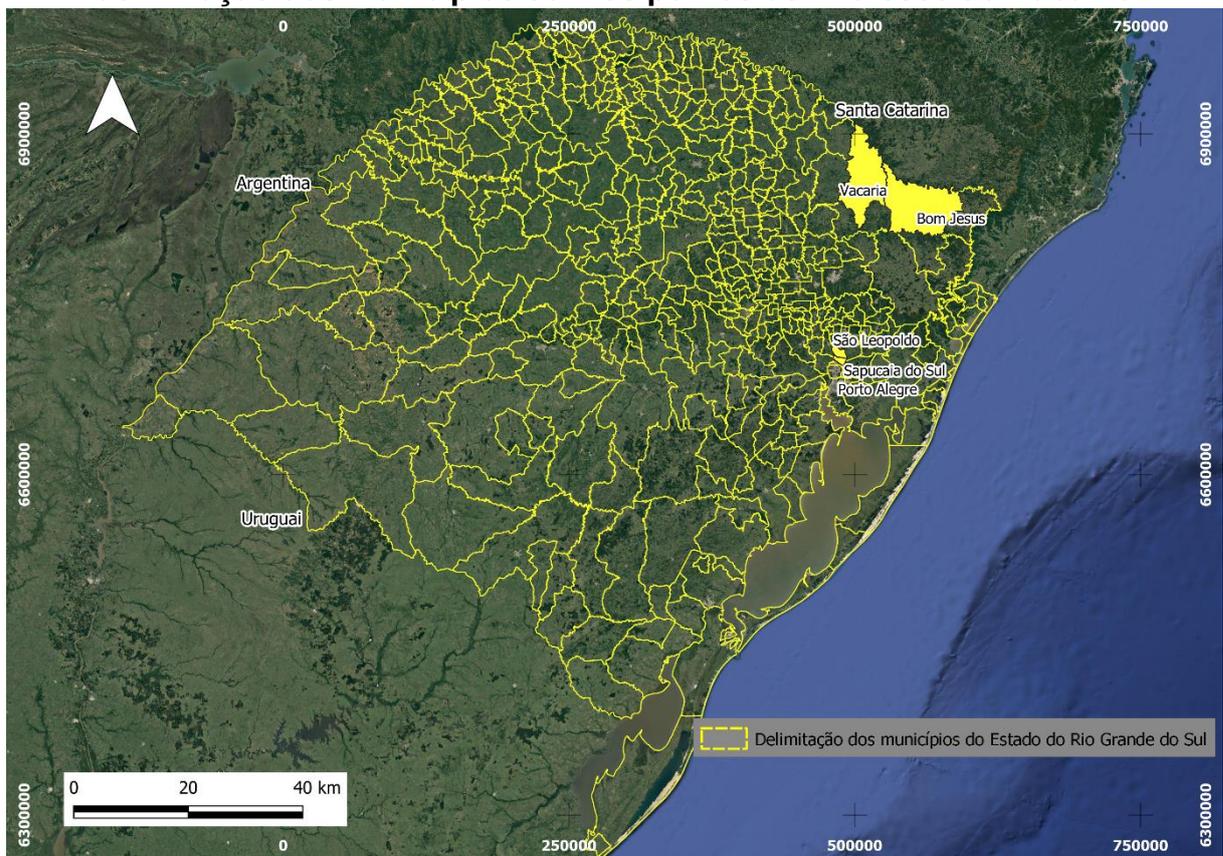
consideração os equipamentos adequados, as condições meteorológicas e o horário adequado para a tomada das fotos. E por fim, a verificação da qualidade das imagens no formato digital.

A seleção das áreas a serem objeto de estudo foram analisadas de acordo com as requisições de perícia da Seção de Perícias Ambientais pendentes em áreas típicas de deposição de resíduos sólidos, facilidade de locomoção e das características da área.

Os municípios escolhidos foram Sapucaia do Sul, São Leopoldo, Bom Jesus e Vacaria, sendo que as coletas de ponto de apoio das duas primeiras cidades foram feitas com a técnica do RTK, enquanto as duas últimas com a técnica de Posicionamento Relativo.

As **Figuras 21 a 25** ilustrativas foram elaboradas no Software *Qgis* sobre as imagens de satélite obtidas do Programa *Google Earth*.

Figura 21 – Representação esquemática do Estado do Rio Grande do Sul e a delimitação dos municípios com os pontos de interesse do trabalho



Fonte: Elaborada pelo autor (2021).

A localização das áreas de interesse foi realizada com base nas coordenadas geográficas indicadas nos ofícios da Delegacia de Polícia de Proteção ao Meio

Ambiente de Porto Alegre e Autos de Constatação do Comando Ambiental da Brigada Militar do Rio Grande do Sul, enviados em anexo com os ofícios solicitantes de perícia criminal.

Figura 22 – Delimitação do Aterro de Vacaria (imagem de 29-08-2018)



Fonte: Elaborada pelo autor (2019).

Figura 23 – Delimitação do Aterro de Bom Jesus (imagem de 08-04-2019)



Fonte: Elaborada pelo autor (2019).

Figura 24 – Delimitação do Aterro de São Leopoldo (imagem de 28-02-2019)



Fonte: Elaborada pelo autor (2019).

Figura 25 – Delimitação do Aterro de Sapucaia do Sul (imagem de 28-02-2019)



Fonte: Elaborada pelo autor (2019).

6.2 CARACTERIZAÇÃO DA ORGANIZAÇÃO

Para se realizar o voo sobre os aterros selecionados, foram solicitadas autorizações de voos junto ao DECEA/SARPAS, as quais foram autorizadas mediante a Certidão de Cadastro de Aeronave Não Tripulada para Uso Não Recreativo nº PP – 517377978, conforme as condicionantes previstas na ICA 100-40 (DECEA, 2020), uma vez que o equipamento é do operador autor deste trabalho e não da Instituição Pública.

6.3 CARACTERIZAÇÃO DAS ÁREAS DE INTERESSE

6.3.1 Vacaria/RS

O local foi atendido no dia vinte e nove de agosto de dois mil e dezoito, às 16h, pela equipe da Seção de Perícias Ambientais, da Divisão de Engenharia Legal, do Departamento de Criminalística.

O ponto de referência para o acesso à área questionada possui as seguintes coordenadas UTM, Fuso 22J, *datum* SIRGAS 2000, 507799mE; 6810893mN.

Conforme o boletim de ocorrência enviado em anexo com ofício solicitante da Delegacia de Polícia de Vacaria, estaria ocorrendo na área, o depósito irregular de resíduos sob a responsabilidade da Prefeitura de Vacaria.

Nos exames periciais, constatou-se que os resíduos constatados na área em questão eram em sua maioria Resíduos Sólidos de Construção Civil (RSCC), mas também havia entre eles outros tipos de resíduos, alguns deles perigosos, tais como: Resíduos de Equipamentos Eletroeletrônicos (REEE), incluindo placas eletrônicas, eletrodomésticos e lâmpadas fluorescentes.

Dessa forma, inferiu-se que a disposição final dos resíduos perigosos e não perigosos diretamente sobre o solo e expostos às intempéries, na forma de aterro ou de pilhas, estava em desacordo com as exigências estabelecidas em leis e/ou regulamentos e representava risco potencial ao meio ambiente e à saúde humana.

6.3.2 Bom Jesus/RS

Este aterro foi atendido no dia vinte e oito de agosto de dois mil e dezoito, às 08h30min pela equipe da Seção de Perícias Ambientais.

O ponto de referência para o acesso à área de interesse possui as seguintes coordenadas UTM, Fuso 22J, *datum* SIRGAS 2000, 556619mE; 6832140mN.

De acordo com o Relatório de Vistoria da Comunicação de Ocorrência pela Brigada Militar, enviado em anexo com o ofício solicitante da Delegacia de Polícia de Bom Jesus/RS, estaria ocorrendo na referida área, o depósito irregular de resíduos sólidos, pertencente à Prefeitura de Bom Jesus.

Na ocasião dos exames, constatou-se que todos os resíduos gerados no município eram encaminhados a este local, o qual não estava amparado por uma Licença de Operação. A maioria dos resíduos constatados era de origem domiciliar, ou seja, Resíduos Sólidos Urbanos (RSU). Além dos resíduos sólidos urbanos, foram constatados resíduos diversos, tais como: pneus, vidros, eletrônicos, tratamentos veterinários, fraldas descartáveis. Também se constatou acúmulo de chorume em alguns pontos na área.

Dessa forma, a conclusão foi de que o referido aterro estava em desacordo com as exigências estabelecidas em leis e/ou regulamentos e representava risco potencial ao meio ambiente e à saúde humana.

6.3.3 São Leopoldo/RS

No dia dezoito de fevereiro de dois mil e dezenove, às 13h, a equipe da Seção de Perícias Ambientais deslocou-se até a Fundação de Resíduos Sólidos Industriais – FUNRESOLI, situada na Estrada do Socorro nº4017, Bairro Arroio da Manteiga, município de São Leopoldo/RS.

O ponto de referência para o acesso ao aterro em questão possui as seguintes coordenadas UTM, Fuso 22J, *datum* SIRGAS 2000, 481323mE; 6710519mN.

Segundo o Auto de Infração nº1442/2013, emitido pela Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luis Roessler/RS (FEPAM), haveria na área em questão o armazenamento de resíduos em local e forma inadequada, o lançamento de efluentes e de percolado, diretamente no solo e rede pluvial, respectivamente.

Nos exames periciais, constatou-se que se tratava de aterro sanitário Classe I e Classe II, o qual já se encontrava encerrado com 12 valas de recebimento de resíduos Classe I cobertas e uma vala de recebimento de resíduos Classe II recoberto com três camadas de argila. Além disso, se encontrava em processo de remediação e o tratamento de percolado operava de forma adequada.

Dessa forma, constatou-se que a referida empresa ao longo dos anos buscou formas de se adequar às solicitações da FEPAM.

6.3.4 Sapucaia do Sul/RS

No dia vinte de fevereiro de dois mil e dezenove, às 11h30min, a equipe deslocou-se até o Aterro Municipal da cidade, situado na Avenida Leônidas de Souza, nº 1289, município de Sapucaia do Sul.

O ponto de referência para o acesso ao aterro em questão possui as seguintes coordenadas UTM, Fuso 22J, *datum* SIRGAS 2000, 490608mE; 6697116mN.

Segundo o ofício de Solicitação da DEMA, constatou-se diversas irregularidades e denúncias, tais como: vazamento de chorume, descarte de resíduos perigosos (ácidos e resíduos hospitalares) no local.

Através dos exames periciais, observou-se uma vala de recebimento de resíduos sólidos urbanos já encerradas, porém havia diversos resíduos sólidos urbanos (RSU) e resíduos sólidos de construção civil (RSCC) depositados sobre o solo a céu aberto. Além dessa irregularidade, foi observado vazamento de chorume em diversos pontos da superfície dos taludes da vala encerrada e o escoamento deles sobre o solo em diversos pontos da área e duas lagoas de contenção de chorume.

A conclusão, após os exames, pelas características observadas, foi de que o referido aterro não se adequava à norma para ser classificado como aterro sanitário, ou seja, estava em desacordo com as exigências estabelecidas em leis e/ou regulamentos e representou risco potencial ao meio ambiente e à saúde humana

6.4 EQUIPAMENTO E SOFTWARES UTILIZADOS

Para o mapeamento aéreo dos aterros selecionados foi feito o uso de um RPA, modelo *Phantom 4 Pro* (**Figura 26**), desenvolvido pela empresa chinesa DJI, a maior fabricante de drones do mundo.

O referido drone é considerado um quadricóptero, com autonomia de voo de cerca de 30 minutos, podendo alcançar velocidade de até 72km/h no modo S (DJI, c2020). Ainda conforme as especificações obtidas no *site* da DJI, o equipamento possui uma câmera acoplada com sensor de 20 megapixels, o que garante uma boa resolução espacial, podendo ser igual ou inferior a 5cm/pixel, dependendo das características do voo, além de desempenhar função de voo inteligente (MELLO; SALIM; TEIXEIRA, 2017 apud DJI, c2020).

Figura 26 – Drone *Phantom 4 Pro*



Fonte: DJI (c2020).

O *Phantom 4 Pro* é considerado um RPA de Classe 3²⁵ pela ANAC, tendo peso máximo de decolagem (PMD) de até 25kg e pode ser considerado como aeromodelo, dependendo da finalidade.

A coleta dos pontos de apoio *in loco* foi realizada com dois receptores GNSS, marcas *Promark 3* e *GNSS South Galaxy G1 Plus RTK*. O primeiro GNSS foi feito com Posicionamento Relativo enquanto o segundo realizou a coleta dos pontos por Posicionamento Cinemático em tempo real (RTK).

Posteriormente, os dados obtidos no levantamento de campo por posicionamento relativo foram processados utilizando-se o programa *GNSS Solutions*, convertidos para o formato RINEX²⁶. Em relação à coleta de pontos por RTK, os dados brutos foram extraídos diretamente no computador com formato *.STH*, convertidos para RINEX e processados no *Software Topcon Tools*. Os pontos coletados tanto no posicionamento relativo quanto no RTK foram, posteriormente, corrigidos por Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo (RBMC) dos Sistemas GNSS no *site* do IBGE.

Para se iniciar o voo inteligente e efetuar o mapeamento fotogramétrico das áreas de interesse foi necessário realizar as etapas de planejamento, execução do

²⁵ Esta classificação é importante para saber quais condicionantes se deve cumprir na ICA 100-40.

²⁶ *Receiver Independent Exchange Format* é um formato de intercâmbio de dados de satélite crus. É útil para para se obter os dados de pós-processamento.

voo e o processamento dos dados obtidos, sendo que as etapas de planejamento e a execução do voo podem ser realizadas em diversos programas como *Pix4D Capture*, *Dronedeploy*, *Maply*, *Drone Harmony* e o *Ground Station Pro*, este criado pela própria DJI.

A etapa de planejamento de voo deve ser detalhada para evitar e se prever os erros, portanto, os parâmetros de voo e as escalas do levantamento foram definidos previamente. Para as etapas de planejamento e a execução do voo, foi utilizado o *DroneDeploy*, plataforma baseada no *cloud* para RPAS, pela facilidade de manipulação com planejamento de voo e análise de dados. Esse *software* também permite que se utilize ferramentas adicionais de diversas aplicabilidades facilitando a vida do operador de drones na hora de planejar os voos em áreas de interesse. Além dessa facilidade, há uma central de ajuda intuitiva e eficiente. Dessa forma, os voos de interesse foram controlados por *iPad Mini 4* através do *Software* iOS versão 12.2 pelo aplicativo *DroneDeploy* versão 3.0.

O processamento de dados obtidos foi realizado no Programa *Agisoft Metashape Professional* versão 1.5.0 *build* 7492 pela familiaridade do autor de manipular esta ferramenta, uma vez que conhecer os processos e algoritmos utilizados pelo referido *software* é importante para o entendimento das limitações e potencialidades da ferramenta. Este programa executa o processamento fotogramétrico de imagens digitais que gera produtos espaciais 3D, tais como: ortomosaicos, MDT, MDE, altimetria e geração de curvas de nível, processamento de imagens e dentre outras coisas, para serem utilizados em aplicações GIS, podendo também efetuar mensurações indiretas de objetos em diversas escalas. Diversos estudos consideram que o *Agisoft Metashape* é capaz de produzir resultados com qualidade e de forma precisa.

7 MODELAMENTO TOPOGRÁFICO POR MEIO DE IMAGEAMENTO POR RPA

Previamente ao imageamento por RPA foram necessários distribuir pontos de apoio e pontos de controle nas áreas a serem periciadas, os quais foram demarcados de em campo pela fixação de folhas A3 no solo ou a Cal em formato de “X” com a finalidade de serem reconhecidos nas imagens aéreas feitas com RPA. As

coordenadas dos pontos foram obtidas utilizando duas técnicas distintas de posicionamento GNSS.

7.1 VACARIA

Previamente ao imageamento por RPA foram distribuídos nove (09) pontos de apoio na área a ser periciada, sendo seis (6) pontos de controle, denominados de HV1 a HV6 e três (3) pontos de verificação, nomeados de CH1 a CH3 no presente trabalho. Os pontos foram demarcados em campo pela fixação de quatro folhas A3 no solo, para a visualização nas imagens obtidas pelo drone. As coordenadas dos dez pontos de apoio foram obtidas por GNSS *Promark 3* e posteriormente corrigidas no pós-processamento por RBMC. Os dados das coordenadas e altitude dos pontos estão ilustrados na Tabela 2.

Tabela 2 – Dados da coleta dos pontos de apoio – Vacaria/RS

Pontos de Apoio	<i>Easting</i> (m)	<i>Northing</i> (m)	Altitude (m)
HV1	507712,425	6850284,958	926,36
HV2	507876,191	6850175,870	952,15
HV3	507858,612	6850094,217	954,81
HV4	507831,288	6849973,294	945,80
HV5	507692,240	6850246,133	923,39
HV6	507786,640	6850102,579	938,01
CH1	507679,039	6850175,725	919,93
CH2	507750,970	6850179,591	935,18
CH3	507825,415	6850156,748	951,54

Fonte: O autor (2018).

A área periciada foi completamente imageada uma vez por RPA, marca DJI, modelo *Phantom 4 Pro*, permitindo o planejamento de voo autônomo em altura de 75 metros, com velocidade média de 8m/s. O voo percorreu os 10 hectares da área periciada, obedecendo o padrão linha de voo, com ângulo de direção em 143 graus e obteve 157 imagens aéreas.

As fotos aéreas foram processadas da forma como foram obtidas no RPA, sendo realizado um processamento de imagens no *Software Agisoft Metashape Professional*.

7.2 BOM JESUS

Previamente ao imageamento por RPA foram distribuídos nove (09) pontos de apoio na área a ser periciada, sendo seis (6) pontos de controle, denominados de HV1 a HV6 e três (3) pontos de verificação, nomeados de CH1 a CH3 no presente trabalho. Os pontos foram demarcados em campo pela fixação de quatro folhas A3 no solo, para a visualização nas imagens obtidas pelo drone. As coordenadas dos nove pontos de apoio foram obtidas por GNSS *Promark 3* (**Figura 27**) e posteriormente corrigidas no pós-processamento por RBMC. Os dados das coordenadas e altitude dos pontos estão ilustrados na Tabela 3.

A área de interesse foi mapeada uma vez, sendo que o imageamento foi realizado pelo drone *Phantom 4 Pro*, permitindo o planejamento de voo autônomo em altura de 70 metros, com velocidade média de 8m/s. O voo percorreu uma área de 13 hectares, obedecendo o padrão linha de voo com ângulo de direção em 115 graus e obteve 229 fotos aéreas, as quais foram processadas da forma como foram obtidas durante o voo, através do Programa *Agisoft Metashape Professional*.

Figura 27 – Coleta de dados em um dos pontos com *Promark 3*



Fonte: Própria (2018).

Tabela 3 – Dados da coleta dos pontos de apoio – Bom Jesus/RS

Pontos de Apoio	<i>Easting</i> (m)	<i>Northing</i> (m)	Altitude (m)
HV1	556487,801	6832152,225	1065,20
HV2	556715,263	6832234,755	1076,93
HV3	556597,920	6832188,161	1070,14
HV4	556719,437	6832027,509	1072,18

HV5	556531,840	6832022,645	1064,50
HV6	556520,509	6831944,527	1061,07
CH1	556593,036	6832060,316	1066,3
CH2	556752,344	6832142,821	1073,7
CH3	556692,439	6831957,195	1065,2

Fonte: O autor (2018).

7.3 SÃO LEOPOLDO

Nessa área foram distribuídos dez (10) pontos de apoio, antes de realizar o voo autônomo, sendo cinco pontos de controle (HV1 a HV5) e cinco pontos de verificação (CH1 a CH5). Os pontos de interesse foram demarcados com a Cal em formato de “X” com a finalidade de serem reconhecidos nas imagens aéreas feitas com RPA. As dez coordenadas de apoio foram obtidas pelo *GNSS South Galaxy G1 Plus RTK* através de dois receptores – um que ficou como estação de referência (base), posicionado em um ponto de coordenada conhecida, enquanto o outro receptor (*rover*) coletou os dados dos pontos de apoio para a determinação da posição em tempo real. Os dados das coordenadas e altitude dos pontos de apoio estão visualizados na Tabela 4.

Tabela 4 – Dados da coleta dos pontos de apoio – São Leopoldo/RS

Pontos de Apoio	<i>Easting</i> (m)	<i>Northing</i> (m)	Altitude (m)	RMSE North	RMSE East	RMSE Altitude
	HV1	481509,6967	6710668,1283	44,1733	0,0042	0,0042
HV2	481321,8192	6710739,0000	41,4041	0,0172	0,0172	0,0450
HV3	481341,4188	6710704,5798	42,2848	0,0105	0,0105	0,0288
HV4	481335,2780	6710594,6165	33,7120	0,0060	0,0060	0,0166
HV5	481340,0295	6710526,9279	32,7463	0,0057	0,0057	0,0158
CH1	481511,6354	6710710,2407	42,0198	4,9254	4,9254	16,1062
CH2	481346,4385	6710741,9101	42,7413	0,0047	0,0047	0,0128
CH3	481311,7175	6710715,0000	41,8368	0,0094	0,0094	0,0236
CH4	481304,1701	6710591,3300	33,9697	0,0034	0,0034	0,0101
CH5	481305,2536	6710534,1014	33,5500	0,0040	0,0040	0,0109

Fonte: O autor (2019).

O aterro de São Leopoldo foi completamente imageado duas vezes, em linha de voo cruzado independentes de aproximadamente 19 minutos de duração, sendo que as fotos aéreas foram obtidas com RPA *Phantom 4 Pro*, permitindo o planejamento de voo autônomo na altura de 75 metros, com velocidade média de 8,0m/s. O voo 1 percorreu uma área de 22 hectares, obedecendo o padrão linha de voo norte-sul com ângulo de direção de 90 graus e obteve 327 fotografias aéreas. O voo 2 percorreu uma área de 21ha, também obedecendo o padrão linha de voo leste-oeste com ângulo de direção de 180 graus, obtendo 358 fotos aéreas.

As imagens aéreas foram processadas da forma como foram obtidas durante os dois voos e foram processadas no Software *Agisoft Metashape Professional* de três – um processamento com as fotos do voo 1 e 2, um processamento com as fotos do voo 1 e outro processamento com as fotos do voo 2, de forma a analisar as diferenças na precisão e acurácia.

7.4 SAPUCAIA DO SUL

Antes do voo por RPA, no aterro de resíduos sólidos urbanos, foram alocados treze (13) pontos de apoio, sendo sete (7) pontos de controle e seis (6) pontos de verificação, os quais foram nomeados de HV1 a HV7 e CH1 a CH6, respectivamente na presente monografia. Os pontos de apoio foram demarcados com a Cal em formato “X” para serem identificados nas fotos aéreas feitas com RPA. As treze (13) coordenadas de apoio foram alcançados pelo *GNSS South Galaxy G1 Plus RTK* através de dois receptores – um que ficou como estação de referência (base), posicionado em um ponto de coordenada conhecida, enquanto o outro receptor (*rover*) coletou os dados dos pontos de apoio para a determinação da posição em tempo real (**Figura 28**). Os dados das coordenadas e altitude dos pontos de apoio estão visualizados na Tabela 5.

Tabela 5 – Dados da coleta dos pontos de apoio – Sapucaia do Sul/RS

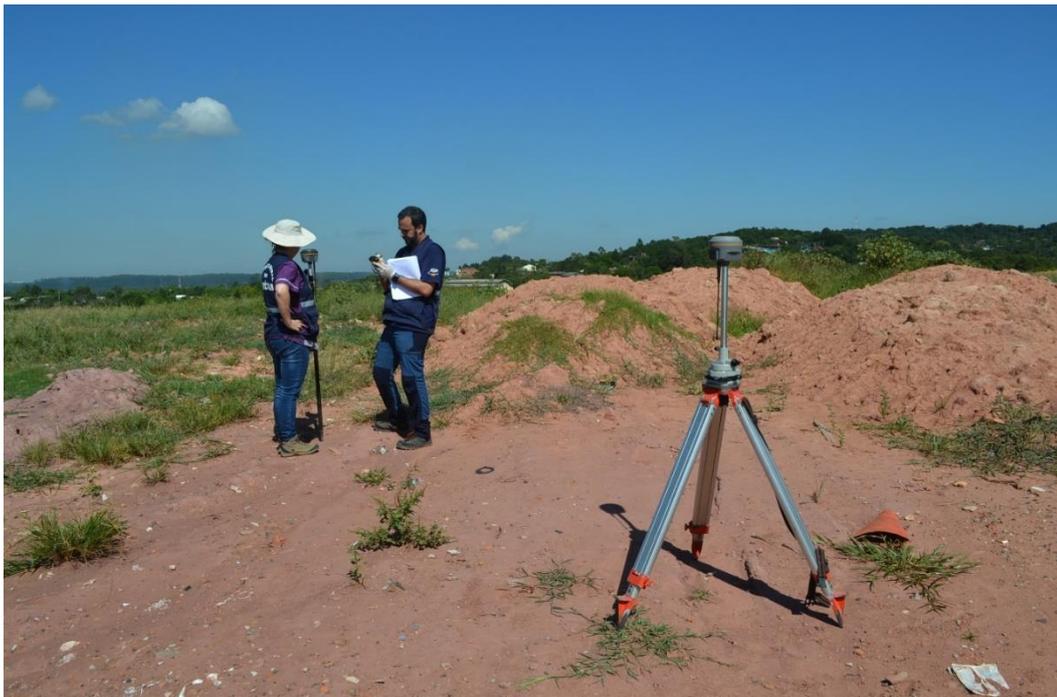
Pontos de Apoio	<i>Easting</i> (m)	<i>Northing</i> (m)	Altitude (m)	RMSE North	RMSE East	RMSE Altitude
HV1	490637,2870	6697478,8328	67,4767	0,0099	0,0099	0,0283
HV2	490658,4971	6697443,1536	71,9170	0,0135	0,0135	0,0361
HV3	490621,0809	6697390,8328	79,5975	0,0074	0,0074	0,0172

HV4	490591,4231	6697376,3914	71,9057	0,0036	0,0036	0,0095
HV5	490687,1422	6697322,0835	63,5992	0,0073	0,0073	0,0218
HV6	490574,7087	6697114,2070	46,5202	0,0130	0,0149	0,0395
HV7	490640,3899	6697131,0562	49,0232	0,0081	0,0098	0,0264
CH1	490718,1986	6697439,3980	66,0961	0,0132	0,0165	0,0426
CH2	490642,0205	6697409,9658	79,6745	0,0090	0,0090	0,0210
CH3	490665,3472	6697380,7007	77,0732	0,0059	0,0059	0,0154
CH4	490642,9439	6697348,9597	78,2457	0,0015	0,0015	0,0036
CH5	490611,3831	6697111,6531	46,5438	0,0411	0,0454	0,1334
CH6	490701,3623	6697137,8047	45,5070	0,0081	0,0090	0,0292

Fonte: O autor (2019).

A área a ser periciada foi totalmente imageada duas vezes, em dois voos independentes de aproximadamente 20 minutos, com as fotos aéreas sendo obtidas com drone *Phantom 4 Pro*. O planejamento de voo autônomo foi feito com altura de 60 metros e velocidade média de 8,0m/s. Os dois voos, 1 e 2, percorreram uma de 16 hectares e 15ha, respectivamente, obedecendo o padrão em linha de voo com ângulo de direção de 90 graus e 180 graus, respectivamente. O voo 1 obteve 364 fotos aéreas, enquanto o voo 2 conseguiu 351 imagens aéreas.

Figura 28 – Coleta de dados em um dos pontos com *GNSS South Galaxy G1 Plus RTK*



Fonte: Própria (2019).

As imagens aéreas foram processadas da forma como foram obtidas durante os dois voos e foram processadas no Software *Agisoft Metashape Professional* da mesma forma em relação a São Leopoldo, com finalidade de se analisar as diferenças na precisão e acurácia do processamento.

8 RESULTADOS

Conforme citado os processamentos foram efetuados através do Programa *Agisoft Metashape Professional* versão 1.5.0 *build* 7492, obedecendo de forma resumida, os seguintes passos:

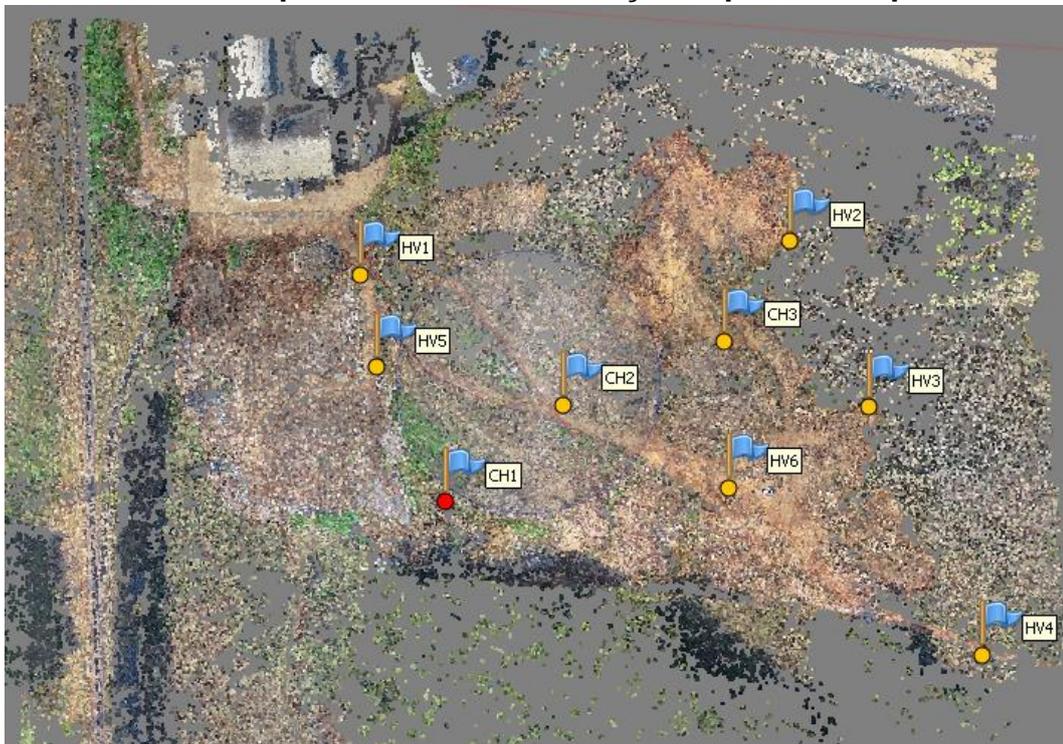
1. importação das imagens feitas com RPA: fluxo de trabalho/ adicionar fotos;
2. Conversão do sistema de coordenadas de graus decimais para coordenadas UTM (SIRGAS 2000, Fuso 22J – EPSG: 31982): aba *reference*²⁷/converter;
3. Importação dos pontos de apoio: aba *reference*/ importar arquivo .txt contendo as coordenadas geodésicas precisas e a altitude dos pontos de apoio;
4. Análise das imagens: clicar em uma imagem qualquer adicionada com botão direito do mouse, clicar em *Estimate Image Quality/ Apply to all cameras* e excluir imagens com qualidade inferior a 0.5²⁸ que não comprometam a sobreposição;
5. Análise do brilho das imagens: clicar em uma imagem qualquer e depois clicar no botão *Image Brightness*, optar por estimar automaticamente;
6. Importação das máscaras: clicar em uma imagem qualquer com botão direito, *Masks*, importar máscaras: Parâmetro: Método: *From Alpha*; Operation: *Replacement*; *Apply to all câmeras*.
7. Configuração do projeto: aba *reference*/Configurações: Sistemas de Coordenadas – SIRGAS 2000/UTM Zone 22S (EPSG: 31982); *Tie Point accuracy (pix)*: 1; *Miscellaneous Ground Altitude (m)*: colocar a altitude média dos pontos de controle;
8. Calibração da câmera: Ferramentas/Calibração da Câmara/*Type: Auto*;

²⁷ O Programa está na língua portuguesa, porém não é 100% traduzido, podendo ter palavras inglesas.

²⁸ A péssima qualidade está associada ao arrastamento das imagens na ocasião do mapeamento aéreo. Este arrastamento está relacionado à velocidade do obturador da câmera não estar de acordo com a velocidade do drone. Antes de excluir a imagem, é necessário observar a sobreposição pois pode acontecer de não possuir outras imagens para sobrepor o possível “buraco” ao deletar determinada imagem.

9. Alinhamento²⁹ das imagens aéreas: fluxo de trabalho/ alinhar fotos/ Geral: baixa; *Generic preselection* e *reference preselection* habilitados; *Advanced: key point limit: 40,000; Tie point limit: 10,000; Apply masks to: key points; adaptative câmara model fitting* habilitado;
10. Apontamento³⁰ dos pontos de apoio: os pontos de apoio (marcadores) visualizados na nuvem de pontos (**Figura 29**) são identificados com a ferramenta *filter fotos by markers* da seguinte forma – botão direito do mouse sobre cada marcador, clicar em *filter fotos by markers*, e assim irá mostrar as fotos relacionadas à localização daquele ponto de apoio;

Figura 29 – Nuvem de pontos com a distribuição espacial dos pontos de apoio



Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

11. Realinhamento³¹ das imagens: fluxo de trabalho/ alinhar fotos/ Geral: precisão elevada e mesmas configurações do item 9, porém habilitada também a opção *reset current alignment*;

²⁹ É considerado o processo mais importante. O alinhamento irá realizar o método da busca dos pontos homólogos, através de pixel por pixel, e depois fazer a sobreposição das imagens. Por exemplo, suponha que exista um objeto xis na imagem 1 e o mesmo objeto na imagem 2, o software entende que são pontos homólogos e irá sobrepor as duas imagens, tornando uma só.

³⁰ É considerada a etapa crítica e sensível do processamento, pois a pontaria dos pontos de apoio irá melhorar a qualidade posicional das fotos com os pontos de apoio. As fotos já estão georreferenciadas, mas não estão precisas, daí a necessidade de se fazer essa etapa.

³¹ É feito novamente com a finalidade de melhorar ainda mais a precisão, utilizando a elevada e já com a pontaria dos pontos efetuada. A ferramenta de precisão consta 5 opções – muito elevada, elevada, média, baixa e muito baixa, as quais estão relacionadas ao tamanho do pixel da imagem. Por

12. Edição de nuvem de pontos: *modell*/ seleção gradual; critério: erro de projeção (eliminar 10% dos pontos gerados); eliminar seção; *modell*/ seleção gradual; critério: *reconstruction uncertainty* (eliminar 10% dos pontos); eliminar seção; *modell*/ seleção gradual; critério: *projection accuracy* (elimina entre 20.000 e 50.000);
13. Geração do Relatório Pré-Otimização³²: antes de se otimizar as câmeras, crie-se um relatório em *ficheiro*/ exportar/ *Generate Report*; nomear o arquivo;
14. Otimização das câmeras: ferramenta/ *optimize cameras*; geral: deixar como aparecer, é automático; *advanced*: deixar desabilitada as duas opções;
15. Repetir o mesmo processo do item 13: *ficheiro*/ exportar/ *Generate Report*;
16. Construção da nuvem de pontos densa: fluxo de trabalho/ *Build Dense Cloud*/ Qualidade: média; *advanced*: *Depth filtering*³³ *agressive* e *calculate point colors* habilitado;
17. Classificação da nuvem de pontos³⁴: ferramentas/ *dense cloud*/ *classify Ground Points*; *From: Any Class*; Parâmetros: *max angle: 5.0*; *max distance: 0.4* e *cell size: 20*;
18. Construção do modelo tridimensional (MDT): fluxo de trabalho/ construir modelo/; *Source data: dense cloud*; Tipo de superfície: *Height field (2,5D)*; *Face count*: média; *advanced*: Interpolação: *enabled*; *Point classes*³⁵: apenas habilita *ground*; e habilitar a opção *calculate vertex colors*;
19. Suavizar os pontos embaçados: ferramentas/ *mesh*/ e clica em *smooth mesh*; *Strength 4.0*;

exemplo, a opção baixa é ruim pois irá apresentar erro maior de pixel – a melhor opção é a elevada em que a resolução da foto é o mesmo tamanho do pixel da imagem. O primeiro alinhamento usou a opção baixa pois a intenção não é a qualidade do produto e sim alinhar de acordo com as coordenadas.

³² Os relatórios pré-otimização e pós-otimização são necessários para se verificar as diferenças do projeto com a otimização das câmeras.

³³ As opções que aparecem no filtro de profundidade são muito importantes conforme os produtos de interesse que irá gerar. Se for para gerar o MDT (Modelo Digital de Terreno) usa a opção *agressive*, se a intenção for gerar o modelo digital de Superfície (MDS), escolhe a opção *mild*. Como a intenção do trabalho é gerar os dois produtos, antes de iniciar a construção da nuvem de pontos, fiz duas cópias do projeto – um para o MDT e outro para o MDS. O MDT é excelente para se criar o modelo digital de elevação e as curvas de nível, enquanto o MDS é excelente para mensuração de áreas/volumes de objetos.

³⁴ Essa etapa serve para filtrar tudo que está acima do terreno, ou seja, definir o que é terreno e o que não é – ideal no caso de MDT.

³⁵ Aqui há a diferença do MDT para o MDS. No caso do MDT, apenas deixa habilitada o *Ground*, enquanto no MDS desativa somente os *low points*.

20. Construção do Modelo Digital de Elevação (DEM): fluxo de trabalho/ *build DEM*; *Type*: Geográfica; *Source data*: *dense cloud*; Interpolação: *enabled*.
21. Criação das curvas de nível: ferramenta/ *Generate Contours*; *interval (m)*: 1;
22. Construção do Ortomosaico: fluxo de trabalho/ *build Orthomosaic*; *type*: Geográfica; *Surface*: *DEM*; Modo de Combinação: *Mosaic*.
23. Construção da nuvem de pontos densa³⁶: fluxo de trabalho/ *Build Dense Cloud*/ *Qualidade*: média; *advanced*: *Depth filtering*: *mild* e *calculate point colors* habilitado;
24. Classificação da nuvem de pontos: mesmo caminho do item 17;
25. Construção do modelo tridimensional (MDS): fluxo de trabalho/ *construir modelo*; *Source data*: *dense cloud*; Tipo de superfície: *Height field (2,5D)*; *Face count*: média; *advanced*: Interpolação: *enabled*; *Point classes*³⁷: desativa apenas os *low points*; e habilitar a opção *calculate vertex colors*;
26. Texturização do modelo: fluxo de trabalho/ *construir textura*; modo de mapeamento: ortofoto adaptativo; modo de combinação: mosaico; *texture size*: 4096. *Enable color correction*: ativado; *Enable hole filling*: ativado;
27. Construção do Ortomosaico: fluxo de trabalho/ *build Orthomosaic*: *type*: geográfica; *Surface*: *DEM*; Modo de Combinação: *Mosaic*.

Conforme dito, os Relatórios Pré-Otimização e Pós-Otimização são necessários para se verificar as alterações ocorridas no projeto antes e depois da ferramenta otimização das câmeras. Este relatório também pode ser gerado no final do processo (após as vinte e sete etapas descritas), para obtenção de todas as informações do processo, inclusive os parâmetros usados durante o processamento (**Figura 30**). Os relatórios finais do processamento de geração dos ortomosaicos de Vacaria e Bom Jesus estão no apêndice A e B, respectivamente.

Nestes relatórios constam as informações referentes ao trabalho, algumas consideradas importantes para se observar se o projeto está adequado ou não. Nele constam o número de fotos e a altura do voo nos mapeamentos efetuados, os erros de projeção dos *pixels* do terreno, a resolução do terreno, informações da câmera, os parâmetros e os erros da calibração da câmera, as raízes do erro quadrático médio

³⁶ No caso de construir o Modelo Digital de Superfície (MDS), as etapas posteriores ao item 15 são um pouco diferentes.

³⁷ Aqui há a diferença do MDT para o MDS. No caso do MDT, apenas deixa habilitada o *Ground*, enquanto no MDS desativa somente os *low points*.

(RMSE³⁸) dos pontos de apoio (controle/verificação) tanto do planimétrico (xy) quanto no altimétrico (z) e os erros do RMSE dos pontos de apoio individuais, RMSE da imagem para cada ponto. Os Relatórios finais do processamento para a obtenção dos ortomosaicos de Vacaria e Bom Jesus estão no apêndice A e B, respectivamente.

As informações necessárias para o presente trabalho são a resolução adotada, a altura do voo, as raízes do erro quadrático médio (planimétrico e altimétrico) e da imagem total e as elipses³⁹ sobre a nuvem de pontos/ortomosaico.

Segundo Graham (2002), os valores do *ground resolution* (resolução do terreno) e do RMSE da Imagem total são as informações mais importantes, pois é o valor desses parâmetros que vão definir sobre o projeto ser aceitável ou não, ou seja, se a acurácia do projeto é aceitável. Para isso, deve se aplicar as seguintes equações:

$$\text{Planimétrico (xy)} = GR * 1,5 \quad (1)$$

$$\text{Altimétrico (z)} = GR * 3,0 \quad (2)$$

Onde:

GR = *Ground Resolution*

Os resultados das Equações (1) e (2) devem ser comparados com os valores da tabela dos RMSE dos controles de ponto no Relatório para “xy” e “z”. Se os resultados obtidos estiverem abaixo dos erros totais do planimétrico e do altimétrico dos pontos de controle, o projeto está aceitável.

Em relação ao valor do erro RMSE da imagem total dos controles de ponto, o erro aceitável é de até 1cm/pix.

Se o projeto não estiver aceitável em relação às raízes do erro quadrático médio RMSE dos parâmetros planimetria e altimetria, só refazendo novamente a coleta dos pontos em campo ou retirar os pontos com erros altos. Se o RMSE da imagem total estiver acima de 1cm, o erro está na etapa da pontaria dos pontos de apoio, devendo refazê-la.

³⁸ Em inglês *ROOT MEAN SQUARE ERROR* – é a medida de erro mais comumente usada para aferir a qualidade do ajuste de um modelo. É a raiz do erro médio quadrático entre a predição e o valor real.

³⁹ Quanto mais forem alongadas, maior é o erro do determinado ponto de controle. Essa informação é importante para saber se é viável manter esse ponto ou não. Às vezes é melhor tirar, alcançando melhor resultado em termos de precisão.

Se a acurácia desses dois parâmetros estiver aceitável, se inicia a próxima etapa do processamento que é a construção da nuvem de pontos (item 16).

8.1 VACARIA

Os parâmetros de interesse para o trabalho, em relação ao aterro de Vacaria/RS, em que foram coletados nove pontos de apoio (6 pontos de controle e três pontos de verificação) gerados no Relatório Pré-Otimização, ou seja, antes de calibrar as câmeras, respectivamente estão ilustradas nas Tabelas 6 a 8. A distribuição espacial dos pontos de apoio está ilustrada na **Figura 30**.

Tabela 6 – Parâmetros de interesse registrados no Relatório Pré-Otimização (X – Easting, Y – Northing, Z – Altitude) - Vacaria

Pontos de Apoio	Erro X (m)	Erro Y (m)	Erro Z (m)	Total (m)	Imagem (cm/pix)
HV1	1,03303	-2,17564	-24,7195	24,8366	0,361
HV2	1,00277	-1,83675	-23,9888	24,0799	0,559
HV3	0,611956	-1,60739	-25,4639	25,5219	0,884
HV4	0,897643	-1,54157	-25,1219	25,1852	0,628
HV5	1,00034	-2,50689	-22,9132	23,0716	0,530
HV6	1,32543	-2,16599	-22,9596	23,0996	0,783
Total⁴⁰	1,00087	2,0018	24,3182	24,3182	0,618
CH1	1,40785	-2,23529	-21,3059	21,4691	0,433
CH2	0,0573063	-2,91819	-21,1236	21,3243	0,471
CH3	0,72427	-1,26329	-24,8545	24,8972	0,507
Total⁴¹	0,914673	2,24412	22,4937	22,238	0,460

Fonte: O autor (2018).

Tabela 7 – RMSE dos pontos de controle no Relatório Pré-Otimização - Vacaria

Número	Erro X (m)	Erro Y (m)	Erro Z (m)	Erro XY (m)	Total (m)
6	1,00087	2,0018	24,215	2,23807	24,3182

Fonte: O autor (2018).

⁴⁰ Total em relação aos pontos de controle.

⁴¹ Total em relação aos pontos de verificação

Tabela 8 – Parâmetros de interesse registrados no Relatório Pré-Otimização - Vacaria

<i>Ground Resolution (GR)</i>	Número de imagens	Altitude do voo
2,39 cm/pix	168	80,4 metros

Fonte: O autor (2018).

Figura 30 – Distribuição espacial dos pontos de apoio no aterro de Vacaria/RS



Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Os mesmos parâmetros de interesse também estão disponíveis no Relatório Pós-Otimização e foram ilustrados nas Tabelas 9 a 11.

Tabela 9 – Parâmetros registrados no Relatório Pós-Otimização - Vacaria

Pontos de Apoio	Erro X (cm)	Erro Y (cm)	Erro Z (cm)	Total (cm)	Imagem (cm/pix)
HV1	-1,19031	10,3212	-46,0299	47,1878	0,298
HV2	16,4798	-10,1013	40,1639	44,5731	0,580
HV3	-38,2909	19,553	-50,8384	66,5812	0,776
HV4	-3,73699	0,0173758	7,21864	8,1286	0,277
HV5	-12,3012	-3,57375	41,8983	43,8127	0,448
HV6	39,5514	-15,1655	7,22589	42,9712	0,679
Total⁴²	24,0446	11,7878	36,9162	45,6059	0,523

⁴² Total em relação aos pontos de controle.

CH1	19,278	31,392	106,442	112,636	0,340
CH2	-93,3476	-76,2563	167,527	206,383	0,498
CH3	-20,223	63,5676	-120,53	137,758	0,706
Total⁴³	56,2565	60,1147	134,068	157,33	0,482

Fonte: O autor (2018).

Tabela 10 – RMSE dos pontos de controle no Relatório Pós-Otimização - Vacaria

Número	Erro X (cm)	Erro Y (cm)	Erro Z (cm)	Erro XY (cm)	Total (cm)
6	24,0446	11,7878	36,9162	26,7786	45,6059

Fonte: O autor (2018).

Tabela 11 – Parâmetros de interesse registrados no Relatório Pós-Otimização - Vacaria

<i>Ground Resolution (GR)</i>	Número de imagens	Altitude do voo
2,39 cm/pix	168	80,6 metros

Fonte: O autor (2018).

Observando o valor total da imagem (pix) após a otimização da câmera, constata-se que está abaixo do valor de 1cm, ou seja, a pontaria dos pontos de apoio efetuada durante a etapa do item 10 ocorreu de forma adequada.

Comparando os valores das raízes do erro quadrático médio dos parâmetros planimétricos (xy) e altimétrico (z) das Tabelas 7 e 10, observamos que a otimização das câmeras melhorou a acurácia do projeto. Por exemplo, o RMSE em relação ao parâmetro “xy” era de 2,23807 metros e após a otimização, ficou em 26,7786 centímetros, ou seja, reduziu o erro em cerca de 88%. Analisando os valores dos RMSE em relação ao plano altimétrico, verificamos que houve a redução cerca de 98%. Dessa forma, chega-se à conclusão de que a otimização das câmeras durante o processamento é de extrema importância para a melhoria da acurácia do projeto.

Após estas etapas é efetuada a análise para saber se a acurácia do projeto (AP) é aceitável ou não de acordo com as Equações 1 e 2:

- $Acurácia\ do\ projeto\ (xy) = GR * 1,5 = 2,39 * 1,5 = 3,58\ cm/pix$ (1)

⁴³ Total em relação aos pontos de verificação

- $Acurácia\ do\ projeto\ (z) = GR * 3,0 = 2,39 * 3,0 = 7,17\ cm/pix$ (2)

Logo, a acurácia aceitável em relação à xy e z para seguir o projeto são: 3,58 cm e 7,17cm, respectivamente. Porém, observando os RMSE desses parâmetros disponíveis na Tabela 10, infere-se que os valores estão acima dos valores da acurácia do projeto calculados acima. O RMSE do parâmetro xy está em 26,7786cm, enquanto o do parâmetro z está em 36,9162cm (Tabela 12).

Apesar das raízes do erro quadrático médio em relação aos parâmetros planimétricos e altimétricos estarem na casa dos centímetros, a acurácia deste projeto não seria aceitável de acordo com os especialistas de coleta de pontos e manipulação deles no *Agisoft Metashape*.

Tabela 12 – Comparativo do RMSE com acurácia do projeto - Vacaria

Erros	RMSE Pontos de Controle	Acurácia Projeto	Observação
XY (cm)	26,7786	3,58	Inaceitável
Z (cm)	36,9162	7,17	Inaceitável

Fonte: O autor (2018).

8.2 BOM JESUS

Em relação ao aterro de Bom Jesus/RS onde se fez a coleta de nove pontos de apoio, sendo 6 de ponto de controle e 3 de ponto de verificação, os resultados dos parâmetros de interesse disponíveis no Relatório Pré-otimização sobre a otimização das câmeras, estão disponíveis nas Tabelas 13 a 15.

As Tabelas 16 a 18 mostram os valores dos pontos de apoio após a otimização das câmeras, presentes no Relatório Pós-Otimização.

Não se sabe por que os referidos relatórios ignoraram a existência do ponto de verificação CH2 e por este motivo, este ponto de verificação não está ilustrado nas referidas tabelas.

A distribuição dos pontos de apoio sobre o terreno do aterro de Bom Jesus está ilustrada na **Figura 31**.

Tabela 13 – Parâmetros de interesse registrados no Relatório Pré-Otimização (X – Easting, Y – Northing, Z – Altitude) – Bom Jesus

Pontos de Apoio	Erro X (m)	Erro Y (m)	Erro Z (m)	Total (m)	Imagem (cm/pix)
-----------------	------------	------------	------------	-----------	-----------------

HV1	0,0124721	3,41226	6,4669	7,31194	0,738
HV2	0,00344085	3,16254	5,09889	6,00003	0,862
HV3	0,202101	3,72932	6,70932	7,67878	0,489
HV4	-0,0115648	4,33648	6,09321	7,4877	0,365
HV5	0,657609	4,00596	7,22384	8,28638	0,653
HV6	0,807881	3,62425	7,03166	7,95186	0,756
Total⁴⁴	0,433257	3,73142	6,47546	7,48618	0,672
CH1	0,0964373	3,52761	6,57926	7,46592	0,844
CH2	0,212769	4,40989	6,9249	8,21265	0,407
Total⁴⁵	0,165827	3,99319	6,75429	7,84815	0,715

Fonte: O autor (2018).

Figura 31 – Distribuição espacial dos pontos de apoio no aterro de Bom Jesus/RS



Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Tabela 14 – RMSE dos pontos de controle no Relatório Pré-Otimização Bom Jesus

Número	Erro X (m)	Erro Y (m)	Erro Z (m)	Erro XY (m)	Total (m)
6	0,43	3,73142	6,47546	3,75649	7,48618

Fonte: O autor (2018).

⁴⁴ Total em relação aos pontos de controle.

⁴⁵ Total em relação aos pontos de verificação

Tabela 15 – Parâmetros de interesse registrados no Relatório Pré-Otimização - Bom Jesus

<i>Ground Resolution (GR)</i>	Número de imagens	Altitude do voo
1,81 cm/pix	246	60,9 metros

Fonte: O autor (2018).

Tabela 16 – RMSE dos pontos de controle no Relatório Pós-Otimização - Bom Jesus

Número	Erro X (cm)	Erro Y (cm)	Erro Z (cm)	Erro XY (cm)	Total (cm)
6	7,30437	13,4092	3,00306	15,2696	15,5621

Fonte: O autor (2018).

Tabela 17 – Parâmetros de interesse registrados no Relatório Pós-Otimização - Bom Jesus

<i>Ground Resolution (GR)</i>	Número de imagens	Altitude do voo
1,81 cm/pix	246	61,9 metros

Fonte: O autor (2018).

Tabela 18 – Parâmetros de interesse registrados no Relatório Pós-Otimização (X – Easting, Y – Northing, Z – Altitude) - Bom Jesus

Pontos de Apoio	Erro X (cm)	Erro Y (cm)	Erro Z (cm)	Total (cm)	Imagem (cm/pix)
HV1	-9,93919	-7,94357	-4,64061	13,5434	0,226
HV2	1,65205	-7,52734	-0,927186	7,76207	0,121
HV3	5,55046	5,42566	5,14844	9,31407	0,354
HV4	-4,81531	4,23186	-1,80777	6,66063	0,285
HV5	12,001	24,0305	1,14908	26,8851	0,279
HV6	-4,53728	-18,2831	0,787757	18,8542	0,278
Total⁴⁶	7,30437	13,4092	3,00306	15,5621	0,270
CH1	-20,931	-31,9936	-64,1229	74,6555	0,225
CH3	-17,7283	-13,1857	60,7552	64,6479	0,162

⁴⁶ Total em relação aos pontos de controle.

Total⁴⁷	19,3959	24,4689	62,4617	69,8312	0,204
---------------------------	----------------	----------------	----------------	----------------	--------------

Fonte: O autor (2018).

O valor total da imagem (cm/pix) dos pontos de controle após a otimização das câmeras foi de 0,270 cm/pix, valor bem abaixo do aceitável que é 1,0 cm/pix. Dessa forma, chega-se à conclusão de que a etapa da pontaria dos pontos de apoio foi feita adequadamente durante o processamento das imagens aéreas.

As raízes do erro quadrático médio em relação ao parâmetro da planimetria (xy), antes da otimização, era de 3,75649 metros e após a otimização, reduziu para 15,2696 metros, ou seja, houve uma redução de cerca de 96%. Já em relação ao parâmetro da altimetria (z) a redução foi aproximadamente 100%.

A análise da acurácia do projeto foi calculada da seguinte forma usando as duas Equações:

$$\bullet AP(xy) = GR * 1,5 = 1,81 * 1,5 = 2,715 \text{ cm/pix} \quad (1)$$

$$\bullet AP(z) = GR * 3,0 = 1,81 * 3,0 = 5,43 \text{ cm/pix} \quad (2)$$

Dessa forma, chega-se à conclusão de que a acurácia do projeto não seria aceitável, pois o valor do RMSE da planimetria estava acima dos valores do erro aceitável, somente a altimetria estava adequada (Tabela 19).

Tabela 19 – Comparativo do RMSE com acurácia do projeto - Bom Jesus

Erros	RMSE Pontos de Controle	AP	Observação
XY (cm)	15,2696	2,715	Inaceitável
Z (cm)	3,00306	5,43	Aceitável

Fonte: O autor (2018).

Assim, a conclusão é a mesma em relação ao aterro de Vacaria/RS, ou seja, as raízes do erro quadrático médio estavam na casa dos centímetros, mas o valor da planimetria (xy) estava acima do valor da acurácia do projeto. Ou seja, projeto não se adequava em termos de acurácia.

8.3 SÃO LEOPOLDO

Nessa área foram feitas dez coletas de pontos de apoio – cinco pontos de controle e cinco pontos de verificação. Como o mapeamento nessa área se realizou

⁴⁷ Total em relação aos pontos de verificação

através de voo cruzado (em linha de voo leste-oeste e norte-sul), foram efetuados três processamentos distintos – um somente com as imagens em voo horizontal, um com as imagens do voo vertical e outro com as imagens da linha de voo cruzado. Esses três processamentos serviram de comparação em termos de precisão e acurácia.

Destaca-se que, durante os três processamentos, foi eliminado o ponto de verificação CH1 e a troca dos pontos de HV2 e CH3. Ou seja, o CH3 virou ponto de controle HV2, enquanto o HV2 virou ponto de apoio CH3. Essas foram as mudanças necessárias para se chegar ao menor erro possível.

Os resultados dos parâmetros de interesse disponíveis no Relatório Pré-Otimização do voo em linha de voo norte-sul, antes da otimização das câmeras durante o processamento somente do voo norte-sul, estão disponíveis nas Tabelas 20 a 22.

Já as Tabelas 23 a 25 mostram os valores dos parâmetros de interesse disponíveis no Relatório Pós-Otimização, o qual foi gerado após a otimização das câmeras durante o processamento no *Software Agisoft Metashape*.

Tabela 20 – Parâmetros de interesse registrados no Relatório Pré-Otimização em linha de voo norte-sul

(X – Easting, Y – Northing, Z – Altitude) – São Leopoldo

Pontos de Apoio	Erro X (m)	Erro Y (m)	Erro Z (m)	Total (m)	Imagem (cm/pix)
HV1	-0,336289	0,589612	-2,01966	2,13067	0,515
HV3	-0,222811	0,626439	-2,44867	2,53733	0,396
HV4	-0,30401	0,532282	-1,43346	1,55903	0,432
HV5	-0,129507	0,528858	-0,895335	1,0479	0,520
CH3	-0,283563	0,844577	-2,4268	2,58516	0,321
Total⁴⁸	0,265457	0,635042	1,94015	2,05862	0,444
CH2	-0,361579	0,545266	-2,5239	2,60732	0,462
CH4	-0,323109	0,591022	-1,35376	1,51208	0,518
CH5	-0,139246	0,489108	-0,966611	1,09222	0,384
HV2	-0,332384	1,12626	-2,43247	2,70109	0,407

⁴⁸ Total em relação aos pontos de controle.

Total⁴⁹	0,302079	0,73388	1,93997	2,09603	0,443
---------------------------	-----------------	----------------	----------------	----------------	--------------

Fonte: O autor (2019).

Tabela 21 – RMSE dos pontos de controle no Relatório Pré-Otimização em linha de voo norte-sul - São Leopoldo

Número	Erro X (m)	Erro Y (m)	Erro Z (m)	Erro XY (m)	Total (m)
5	0,265457	0,635042	1,94015	0,688292	2,05862

Fonte: O autor (2019).

Tabela 22 – Parâmetros de interesse registrados no Relatório Pré-Otimização em linha de voo norte-sul - São Leopoldo

Ground Resolution (GR)	Número de imagens	Altitude do voo
2,44 cm/pix	327	82,1 metros

Fonte: O autor (2019).

Tabela 23 – RMSE dos pontos de controle no Relatório Pós-Otimização em linha de voo norte-sul - São Leopoldo

Número	Erro X (cm)	Erro Y (cm)	Erro Z (cm)	Erro XY (cm)	Total (cm)
5	4,64755	6,43886	0,683465	7,94094	7,9703

Fonte: O autor (2019).

Tabela 24 – Parâmetros de interesse registradas no Relatório Pós-Otimização em linha de voo norte-sul - São Leopoldo

Ground Resolution (GR)	Número de imagens	Altitude do voo
2,41 cm/pix	327	85,5 metros

Fonte: O autor (2019).

Tabela 25 – Parâmetros de interesse registrados no Relatório Pós-Otimização em linha de voo norte-sul

(X – Easting, Y – Northing, Z – Altitude) - São Leopoldo

Pontos de Apoio	Erro X (cm)	Erro Y (cm)	Erro Z (cm)	Total (cm)	Imagem (cm/pix)
HV1	-2,59187	0,111347	0,0663785	2,59511	0,357
HV3	4,45581	-8,03069	-0,929095	9,2309	0,289
HV4	-6,51094	-4,45564	0,889866	7,93958	0,277

⁴⁹ Total em relação aos pontos de verificação

HV5	6,07946	1,36975	-0,625312	6,26315	0,335
CH3	-1,44023	11,0028	0,53397	11,1095	0235
Total⁵⁰	4,64755	6,43886	0,683465	7,9703	0,302
CH2	-9,26087	-18,5358	6,65851	21,76441	0,314
CH4	-7,571	0,938683	4,59665	8,90676	0,321
CH5	6,99253	-3,75227	-1,39606	8,05755	0,228
HV2	-6,20474	38,3503	7,33897	39,5361	0,286
Total⁵¹	7,59075	21,385	5,50623	23,3508	0,288

Fonte: O autor (2019).

A distribuição espacial dos pontos de apoio sobre o terreno do Aterro de São Leopoldo está ilustrada na **Figura 32**.

Figura 32 – Distribuição espacial dos pontos de apoio no aterro de São Leopoldo/RS



Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

⁵⁰ Total em relação aos pontos de controle.

⁵¹ Total em relação aos pontos de verificação

Destaca-se que o valor total da imagem dos pontos de controle após a otimização está aceitável por estar abaixo do erro aceitável. As raízes do erro do médio quadrático em relação ao parâmetro da planimetria (xy) antes da otimização era de 68,8292cm e após a otimização reduziu para 7,94094 cm, significando uma redução aproximada de 88,5%. Em relação à altimetria, o valor antes da otimização era de 194,015cm e após a otimização, reduziu para 0,683465cm – redução cerca de 99,6%

Também foi feito o cálculo da acurácia do projeto para os parâmetros planimetria e altimetria conforme as Equações 1 e 2:

$$\bullet \text{ Acurácia do Projeto } (xy) = GR * 1,5 = 2,41 * 1,5 = 3,615 \text{ cm/pix} \quad (1)$$

$$\bullet \text{ Acurácia do Projeto } (z) = GR * 3,0 = 2,41 * 3,0 = 7,23 \text{ cm/pix} \quad (2)$$

Observando os resultados calculados, infere-se que a acurácia do projeto não seria aceitável em virtude do valor do RMSE da planimetria estar acima do erro aceitável (Tabela 26).

Tabela 26 – Comparativo do RMSE com acurácia do projeto em linha de voo norte-sul - São Leopoldo

Erros	RMSE Pontos de Controle	AP	Observação
XY (cm)	7,94094	3,615	Inaceitável
Z (cm)	0,683465	7,23	Aceitável

Fonte: O autor (2019).

Os valores dos parâmetros de interesse do voo em linha de voo leste-oeste antes e depois da otimização das câmeras realizada em uma das etapas do processamento estão ilustradas nas Tabelas 27 a 32.

Tabela 27 – Parâmetros de interesse registrados no Relatório Pré-Otimização em linha de voo leste-oeste - São Leopoldo

(X – Easting, Y – Northing, Z – Altitude)

Pontos de Apoio	Erro X (m)	Erro Y (m)	Erro Z (m)	Total (m)	Imagem (cm/pix)
HV1	0,366092	1,09004	0,394574	1,21569	0,440
HV3	0,742376	0,946972	0,109488	1,20825	0,426
HV4	0,783707	1,00446	1,28958	1,81277	0,282

HV5	1,02153	1,11343	1,86788	2,40254	0,469
CH3	0,72872	1,12467	0,101533	1,34396	0,760
Total⁵²	0,758143	1,05816	1,03247	1,66147	0,475
CH2	0,5635	0,821574	-0,0571891	0,997891	0,523
CH4	0,834534	1,04037	1,34065	1,89107	0,421
CH5	1,06544	1,03533	1,73521	2,2843	0,460
HV2	0,642851	1,37385	0,0480681	1,51758	0,282
Total⁵³	0,800375	1,0859	1,09703	1,73875	0,424

Fonte: O autor (2019).

Tabela 28 – RMSE dos pontos de controle no Relatório Pré-Otimização em linha de voo leste-oeste - São Leopoldo

Número	Erro X (m)	Erro Y (m)	Erro Z (m)	Erro XY (m)	Total (m)
5	0,758143	1,05816	1,03247	1,30172	1,66147

Fonte: O autor (2019).

Tabela 29 – Parâmetros de interesse registrados no Relatório Pré-Otimização em linha de voo leste-oeste - São Leopoldo

<i>Ground Resolution (GR)</i>	Número de imagens	Altitude do voo
2,35 cm/pix	359	79,2 metros

Fonte: O autor (2019).

Tabela 30 – RMSE dos pontos de controle no Relatório Pós-Otimização em linha de voo leste-oeste - São Leopoldo

Número	Erro X (cm)	Erro Y (cm)	Erro Z (cm)	Erro XY (cm)	Total (cm)
5	4,58205	6,04831	0,215552	7,58797	7,59095

Fonte: O autor (2019).

Tabela 31 – Parâmetros de interesse registrados no Relatório Pós-Otimização em linha de voo leste-oeste - São Leopoldo

<i>Ground Resolution (GR)</i>	Número de imagens	Altitude do voo
2,33 cm/pix	359	82,9 metros

Fonte: O autor (2019).

⁵² Total em relação aos pontos de controle.

⁵³ Total em relação aos pontos de verificação

Tabela 32 – Parâmetros de interesse registrados no Relatório Pós-Otimização em linha de voo leste-oeste (X – Easting, Y – Northing, Z – Altitude) - São Leopoldo

Pontos de Apoio	Erro X (cm)	Erro Y (cm)	Erro Z (cm)	Total (cm)	Imagem (cm/pix)
HV1	-0,8972	1,20328	0,0741132	1,50278	0,293
HV3	4,52867	-5,67971	-0,129242	9,79096	0,341
HV4	-7,53117	-4,01722	0,339938	8,54238	0,202
HV5	5,06067	2,37654	-0,296429	5,59877	0,291
CH3	-1,15469	9,18363	-0,0163509	9,25595	0,493
Total⁵⁴	4,58205	6,04831	0,212552	7,59095	0,322
CH2	-7,48401	-19,0718	6,76356	21,5752	0,405
CH4	-8,87605	0,305178	2,27751	9,16867	0,226
CH5	3,87635	-3,68797	-5,15529	7,42995	0,298
HV2	-4,48961	36,3768	7,88302	37,491	0,223
Total⁵⁵	6,51877	20,6198	5,90872	22,4184	0,295

Fonte: O autor (2019).

De acordo com a Tabela 31, o valor total da imagem dos pontos de controle, após a otimização, foi de 0,322cm/pix, estando adequado por estar abaixo do erro aceitável. O RMSE em relação ao parâmetro da planimetria (xy) antes da otimização era de 130,172cm e após a otimização reduziu para 7,58797 cm, significando uma redução aproximada de 94,2%. Em relação à altimetria, o valor antes da otimização era de 103,247cm e após a otimização, reduziu para 0,215552cm – redução cerca de 99,8%

Também foi feito o cálculo da acurácia do projeto para os parâmetros planimetria e altimetria de acordo com as Equações 1 e 2:

- $AP(xy) = GR * 1,5 = 2,33 * 1,5 = 3,495 \text{ cm/pix}$ (1)

- $AP(z) = GR * 3,0 = 2,33 * 3,0 = 6,99 \text{ cm/pix}$ (2)

⁵⁴ Total em relação aos pontos de controle.

⁵⁵ Total em relação aos pontos de verificação

Observando os resultados calculados, infere-se que a acurácia do projeto não seria aceitável em virtude do valor do RMSE da planimetria estar acima do erro aceitável (Tabela 33).

Tabela 33 – Comparativo do RMSE com acurácia do projeto em linha de voo leste-oeste - São Leopoldo

Erros	RMSE Pontos de Controle	AP	Observação
XY (cm)	7,58797	3,495	Inaceitável
Z (cm)	0,215552	6,99	Aceitável

Fonte: O autor (2019).

Os valores dos parâmetros de interesse da linha de voo cruzado processados juntos antes e depois da otimização das câmeras realizada em uma das etapas do processamento estão ilustradas nas Tabelas 34 a 39.

Tabela 34 – Parâmetros de interesse registrados no Relatório Pré-Otimização (Voo cruzado) (X – Easting, Y – Northing, Z – Altitude) - São Leopoldo

Pontos de Apoio	Erro X (m)	Erro Y (m)	Erro Z (m)	Total (m)	Imagem (cm/pix)
HV1	0,00348243	0,885518	-6,27286	6,33506	0,461
HV3	0,387977	0,845217	-6,78915	6,85255	0,540
HV4	0,346618	0,934709	-6,48759	6,56374	0,441
HV5	0,526673	1,05467	-6,15312	6,26503	0,513
CH3	0,374397	1,0381	-6,86889	6,95697	0,581
Total⁵⁶	0,37101	0,955217	6,52032	6,60035	0,506
CH2	0,236526	0,704984	-6,87677	6,91686	0,560
CH4	0,388557	0,991654	-6,45662	6,54387	0,407
CH5	0,5733	0,998642	-6,23287	6,33835	0,578
HV2	0,31	1,27632	-6,91732	7,04091	0,447
Total⁵⁷	0,397396	1,01324	6,62714	6,71592	0,503

Fonte: O autor (2019).

⁵⁶ Total em relação aos pontos de controle.

⁵⁷ Total em relação aos pontos de verificação

Tabela 35 – RMSE dos pontos de controle no Relatório Pré-Otimização (Voo cruzado) - São Leopoldo

Número	Erro X (m)	Erro Y (m)	Erro Z (m)	Erro XY (m)	Total (m)
5	0,37101	0,955	6,52032	1,02474	6,60035

Fonte: O autor (2019).

Tabela 36 – Parâmetros de interesse registrados no Relatório Pré-Otimização (Voo cruzado) - São Leopoldo

<i>Ground Resolution (GR)</i>	Número de imagens	Altitude do voo
2,33 cm/pix	686	85,3 metros

Fonte: O autor (2019).

Tabela 37 – RMSE dos pontos de controle no Relatório Pós-Otimização (voo cruzado) - São Leopoldo

Número	Erro X (cm)	Erro Y (cm)	Erro Z (cm)	Erro XY (cm)	Total (cm)
5	6,41406	8,06537	0,886255	10,3049	10,3429

Fonte: O autor (2019).

Tabela 38 – Parâmetros de interesse registrados no Relatório Pós-Otimização (voo cruzado) - São Leopoldo

<i>Ground Resolution (GR)</i>	Número de imagens	Altitude do voo
2,34 cm/pix	686	85,1 metros

Fonte: O autor (2019).

Tabela 39 – Parâmetros de interesse registrados no Relatório Pós-Otimização (voo cruzado) (X – Easting, Y – Northing, Z – Altitude) - São Leopoldo

Pontos de Apoio	Erro X (cm)	Erro Y (cm)	Erro Z (cm)	Total (cm)	Imagem (cm/pix)
HV1	-7,47975	-4,81666	-0,690245	8,92319	0,322
HV3	2,94053	-4,35131	1,60073	5,49026	0,408
HV4	-4,02312	-5,38062	-0,598034	6,74494	0,286
HV5	10,9266	-1,30669	0,284473	11,0081	0,383
CH3	-2,35202	15,8889	-0,670741	16,0761	0,482

Total⁵⁸	6,41406	8,06537	0,886255	10,3429	0,377
CH2	-11,8757	-13,419	0,578556	17,9286	0,440
CH4	-3,12648	1,1048	4,12959	5,29613	0,236
CH5	12,1383	-4,18499	-0,924547	12,8727	0,396
HV2	-7,7979	43,2884	-0,235654	43,9857	0,350
Total⁵⁹	9,47302	22,7634	2,13884	24,7484	0,365

Fonte: O autor (2019).

Segundo a Tabela 38, o valor total da imagem dos pontos de controle, após a otimização, foi de 0,377cm/pix, estando adequado por estar abaixo do erro aceitável. O RMSE em relação ao parâmetro da planimetria (xy) antes da otimização era de 102,475cm e após a otimização reduziu para 10,3049cm, significando uma redução aproximada de 90%. Em relação à altimetria, o valor antes da otimização era de 652,032cm e após a otimização, reduziu para 0,886255cm – redução cerca de 99,8%

Também foi feito o cálculo da acurácia do projeto para os parâmetros planimetria e altimetria conforme as Equações 1 e 2:

$$\bullet AP(xy) = GR * 1,5 = 2,34 * 1,5 = 3,51 \text{ cm/pix} \quad (1)$$

$$\bullet AP(z) = GR * 3,0 = 2,34 * 3,0 = 7,02 \text{ cm/pix} \quad (2)$$

Observando os resultados calculados, infere-se que a acurácia do projeto não seria aceitável em virtude do valor do RMSE da planimetria estar acima do erro aceitável (Tabela 40).

Tabela 40 – Comparativo do RMSE com acurácia do projeto (voo cruzado) - São Leopoldo

Erros	RMSE Pontos de Controle	AP	Observação
XY (cm)	10,3049	3,51	Inaceitável
Z (cm)	0,886255	7,02	Aceitável

Fonte: O autor (2019).

⁵⁸ Total em relação aos pontos de controle.

⁵⁹ Total em relação aos pontos de verificação

O comparativo dos valores da acurácia do projeto dos três processamentos distintos – um com voo em linha de voo norte-sul, um em linha de voo leste-oeste e o outro com linha de voo cruzado está ilustrado na Tabela 41.

Tabela 41 – Comparativo dos RMSE/Acurácia do Projeto dos 3 processamentos – São Leopoldo

Erros	Linha de voo norte-sul		Linha de voo leste-oeste		Linha de voo cruzado	
	RMSE	AP	RMSE	AP	RMSE	AP
XY (cm)	7,94094	3,615	7,58797	3,495	10,3049	3,51
Z (cm)	0,683465	7,23	0,215552	6,99	0,88625 5	7,02

Fonte: O autor (2019).

Neste levantamento aéreo realizado no aterro de São Leopoldo, constata-se de que não houve diferenças significativas nas comparações dos três processamentos em relação ao parâmetro das raízes do erro médio quadrático RMSE, sendo que o processamento utilizando as fotos da linha de voo cruzado apresentou RMSE diferente dos RMSE dos voos vertical e horizontal. Apesar das pequenas diferenças, o RMSE do processamento do voo em linha de voo leste-oeste apresentou melhor acurácia e precisão para a distribuição espacial dos pontos de apoio.

Apesar desse projeto não ser adequado em função dos valores do RMSE do espaço planimétrico estar acima do erro aceitável para os três processamentos, cabe destacar que ficou próximo do valor do erro aceitável, diferentemente dos resultados das coletas de ponto realizadas com posicionamento relativo. Essa observação infere-se que as coletas de pontos usando o posicionamento Cinemático em Tempo Real (RTK) melhora a acurácia e precisão.

Provavelmente o fato de o projeto não estar adequado em função do parâmetro planimétrico estar acima do valor da acurácia do projeto aceitável está relacionado à distribuição inadequada dos pontos de apoio no terreno, uma vez que o erro se refere ao plano xy, ou seja, na posição deles no terreno. Observando a **Figura 32**, percebe-se que os pontos de apoio se encontravam muito próximos e não espalhados como seria o ideal.

8.4 SAPUCAIA DO SUL

Neste aterro foram coletados treze pontos, sendo sete pontos de controle (HV1 a HV7) e seis pontos de verificação (CH1 a CH6) com mapeamento em dois voos distintos (linhas de voo leste-oeste e norte-sul). Da mesma forma do item anterior, foram feitos três processamentos – um com imagens de voo em linha de voo leste-oeste, um em norte-sul e outro com as imagens da linha de voo cruzado – com a finalidade de servirem de comparação em termos de precisão e acurácia nos parâmetros planimétricos e altimétricos.

Os valores dos parâmetros de interesse do processamento de voo em linha de voo leste-oeste, antes da otimização das câmeras, estão nas Tabelas 42 a 44, enquanto os valores dos parâmetros de interesse após a otimização das câmeras estão observados nas Tabelas 45 a 47.

Tabela 42 – Parâmetros de interesse registrados no Relatório Pré-Otimização do voo em linha de voo leste-oeste (X – Easting, Y – Northing, Z – Altitude) – Sapucaia do Sul

Pontos de Apoio	Erro X (m)	Erro Y (m)	Erro Z (m)	Total (m)	Imagem (cm/pix)
HV1	-3,17651	-1,70733	1,61121	3,95019	0,920
HV2	-3,19122	-1,62521	1,17659	3,76956	0,729
HV3	-3,10828	-1,4227	0,458781	3,44906	0,613
HV4	-3,02841	-1,41885	1,08298	3,51529	0,814
HV5	-3,29142	-1,31121	1,90881	4,02446	0,878
HV6	-3,11495	-1,01696	4,00486	5,17456	0,667
HV7	-3,19648	-0,981568	3,80262	5,06369	0,727
Total⁶⁰	3,15913	1,37895	2,37574	4,18637	0,765
CH1	-3,27577	-1,57082	1,77407	4,04295	0,901
CH2	-3,13117	-1,50856	0,487487	3,50964	0,690
CH3	-3,24636	-1,47077	0,745869	3,6412	0,596
CH4	-3,14521	-1,33053	0,63147	3,47296	0,936
CH5	-3,27557	-1,02596	4,03449	5,29709	0,643
CH6	-3,2026	-0,983995	4,21882	5,38733	0,673

⁶⁰ Total em relação aos pontos de controle.

Total⁶¹	3,21331	1,33526	2,53034	4,30243	0,744
---------------------------	----------------	----------------	----------------	----------------	--------------

Fonte: O autor (2019).

Tabela 43 – RMSE dos pontos de controle no Relatório Pré-Otimização do voo em linha de voo leste-oeste – Sapucaia do Sul

Número	Erro X (m)	Erro Y (m)	Erro Z (m)	Erro XY (m)	Total (m)
7	3,15913	1,37895	2,37574	3,44697	4,18637

Fonte: O autor (2019).

Tabela 44 – Parâmetros de interesse registrados no Relatório Pré-Otimização do voo em linha de voo leste-oeste - Sapucaia do Sul

Ground Resolution (GR)	Número de imagens	Altitude do voo
2,43 cm/pix	367	81,9 metros

Fonte: O autor (2019).

Tabela 45 – Parâmetros de interesse registrados no Relatório Pós-Otimização doo voo em linha de voo leste-oeste (X – Easting, Y – Northing, Z – Altitude) - Sapucaia do Sul

Pontos de Apoio	Erro X (cm)	Erro Y (cm)	Erro Z (cm)	Total (cm)	Imagem (cm/pix)
HV1	-4,10119	-1,22458	0,62495	4,3255	0,513
HV2	2,07271	-1,2695	-0,239902	2,4424	0,457
HV3	1,46266	4,11333	-0,846719	4,447	0,520
HV4	1,76094	0,208615	0,345248	1,80655	0,484
HV5	-0,319779	-1,72143	0,25712	1,76966	0,532
HV6	-0,955619	-2,78671	-0,843644	3,06442	0,290
HV7	0,0425063	2,66959	0,716062	2,76428	0,429
Total⁶²	1,9775	2,32778	0,606493	3,11398	0,448
CH1	9,41974	2,06313	-4,35215	10,5797	0,444
CH2	5,02743	1,87571	-0,856386	5,43385	0,544
CH3	1,065561	-2,84049	1,69733	3,47632	0,370
CH4	5,17697	2,03705	2,28326	6,01363	0,681
CH5	-11,6702	-2,88538	-3,33646	12,476	0,442

⁶¹ Total em relação aos pontos de verificação

⁶² Total em relação aos pontos de controle.

CH6	5,49469	5,5902	3,76474	8,6957	0,329
Total⁶³	7,16855	3,15088	2,97417	8,37626	0,473

Fonte: O autor (2019).

Tabela 46 – RMSE dos pontos de controle no Relatório Pós-Otimização do voo em linha de voo leste-oeste - Sapucaia do Sul

Número	Erro X (cm)	Erro Y (cm)	Erro Z (cm)	Erro XY (cm)	Total (cm)
7	1,9775	2,32778	0,606493	3,05435	3,11398

Fonte: O autor (2019).

Tabela 47 – Parâmetros de interesse registrados no Relatório Pós-Otimização do voo em linha de voo leste-oeste - Sapucaia do Sul

<i>Ground Resolution (GR)</i>	Número de imagens	Altitude do voo
2,39 cm/pix	367	87,7 metros

Fonte: O autor (2019).

Destaca-se que o valor total (0,448 cm/pix) da imagem dos pontos de controle após a otimização está aceitável por estar abaixo do valor de corte que é 1cm/pix. A raiz do erro dos médios quadrados em relação ao parâmetro da planimetria (xy) antes da otimização era de 344,697cm e após a otimização reduziu para 3,05434cm, significando uma redução aproximada de 99%. Em relação à altimetria (z), o valor antes da otimização era de 237,574cm e após a otimização, reduziu para 0,606493cm – redução cerca de 99,7%

Também foi feito o cálculo da acurácia do projeto para os parâmetros planimetria e altimetria segundo as Equações 1 e 2:

$$\bullet AP(xy) = GR * 1,5 = 2,39 * 1,5 = 3,585\text{cm/pix} \quad (1)$$

$$\bullet AP(z) = GR * 3,0 = 2,39 * 3,0 = 7,17\text{cm/pix} \quad (2)$$

Observando os resultados calculados, infere-se que a acurácia do projeto seria aceitável em virtude do valor do RMSE dos parâmetros de interesse estarem abaixo dos valores dos erros aceitáveis (Tabela 48).

Tabela 48 – Comparativo do RMSE com acurácia do projeto do voo em linha de voo leste-oeste - Sapucaia do Sul

Erros	RMSE Pontos de Controle	AP	Observação
XY (cm)	3,05434	3,585	Aceitável

⁶³ Total em relação aos pontos de verificação

Z (cm)	0,606493	7,17	Aceitável
---------------	----------	------	-----------

Fonte: O autor (2019).

A distribuição espacial dos pontos de apoio sobre o terreno do Aterro de Sapucaia do Sul está ilustrada na **Figura 33**.

Os valores dos parâmetros de interesse do processamento das imagens do voo em linha de voo norte-sul, antes da otimização das câmeras, estão destacadas nas Tabelas 49 a 51.

Figura 33 – Distribuição espacial dos pontos de apoio no aterro de Sapucaia do Sul/RS



Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Tabela 49 – Parâmetros de interesse registrados no Relatório Pré-Otimização do voo em linha de voo norte-sul (X – Easting, Y – Northing, Z – Altitude) - Sapucaia do Sul

Pontos de Apoio	Erro X (m)	Erro Y (m)	Erro Z (m)	Total (m)	Imagem (cm/pix)
HV1	-2,75165	-0,909328	-2,48767	3,81929	0,626
HV2	-2,77084	-0,770199	-25,52511	3,82713	0,905
HV3	-2,63396	-0,541233	-2,62836	3,76018	0,774
HV4	-2,51332	-0,539129	-2,60296	3,65826	0,800
HV5	-2,87448	-0,320213	-2,62257	3,90423	0,470
HV6	-2,40469	0,198176	-2,66922	3,59813	0,582
HV7	-2,58334	0,244735	-2,68776	3,73599	1,135
Total⁶⁴	2,65175	0,561297	2,60425	3,75885	0,801
CH1	-2,95237	-0,705674	-2,44647	3,89867	0,630
CH2	-2,69506	-0,633912	-2,62474	3,81503	0,667
CH3	-2,81362	-0,556054	-2,58743	3,86271	0,562
CH4	-2,64965	-0,403885	-2,63523	3,75875	0,643
CH5	-2,62845	0,193826	-2,70527	3,77687	0,713
CH6	-2,69763	0,293481	-2,67398	3,80966	0,614
Total⁶⁵	2,74174	0,499306	2,6135	3,82058	0,646

Fonte: O autor (2019).

Tabela 50 – RMSE dos pontos de controle no Relatório Pré-Otimização do voo em linha de voo norte-sul - Sapucaia do Sul

Número	Erro X (m)	Erro Y (m)	Erro Z (m)	Erro XY (m)	Total (m)
7	2,65175	0,561297	2,60425	2,7105	3,75885

Fonte: O autor (2019).

Tabela 51 – Parâmetros de interesse registrados no Relatório Pré-Otimização do voo em linha de voo norte-sul - Sapucaia do Sul

Ground Resolution (GR)	Número de imagens	Altitude do voo
2,4 cm/pix	368	88,1 metros

Fonte: O autor (2019).

⁶⁴ Total em relação aos pontos de controle.

⁶⁵ Total em relação aos pontos de verificação

Após a otimização das câmeras, os valores dos pontos de apoio em termos de planimetria, altimetria, resolução da imagem e do terreno, número de imagens e altitude do voo estão detalhados nas Tabelas 52 a 54.

Tabela 52 – Parâmetros de interesse registrados no Relatório Pós-Otimização doo voo em linha de voo norte-sul (X – Easting, Y – Northing, Z – Altitude) - Sapucaia do Sul

Pontos de Apoio	Erro X (cm)	Erro Y (cm)	Erro Z (cm)	Total (cm)	Imagem (cm/pix)
HV1	-2,5843	-1,73794	-0,596351	3,17091	0,335
HV2	2,45457	-1,14065	1,41631	3,05482	0,585
HV3	0,483069	4,46607	-1,07337	4,61857	0,616
HV4	1,6001	-0,295236	0,213212	1,64102	0,528
HV5	-1,85677	-0,641693	0,354959	1,99633	0,282
HV6	-1,08123	-2,60078	0,234643	2,82634	0,398
HV7	0,953553	1,94758	-0,570446	2,24226	0,508
Total⁶⁶	1,733	2,24637	0,762103	2,93774	0,470
CH1	6,70447	-0,160749	6,0919	9,06019	0,310
CH2	2,89115	1,65998	-2,34327	4,07494	0,584
CH3	-1,1319	-2,37555	3,31156	4,22975	0,410
CH4	5,9556	2,58815	1,74043	6,72282	0,555
CH5	-13,4262	-6,0501	-4,23014	15,3219	0,514
CH6	7,3864	4,4222	6,05084	10,5227	0,270
Total⁶⁷	7,35844	3,4468	4,30319	9,19481	0,438

Fonte: O autor (2019).

Tabela 53 – RMSE dos pontos de controle no Relatório Pós-Otimização do voo em linha de voo norte-sul - Sapucaia do Sul

Número	Erro X (cm)	Erro Y (cm)	Erro Z (cm)	Erro XY (cm)	Total (cm)
7	1,733	2,24637	0,762103	2,83716	2,93774

Fonte: O autor (2019)

⁶⁶ Total em relação aos pontos de controle.

⁶⁷ Total em relação aos pontos de verificação

Tabela 54 – Parâmetros de interesse registrados no Relatório Pós-Otimização do voo em linha de voo norte-sul - Sapucaia do Sul

Ground Resolution (GR)	Número de imagens	Altitude do voo
2,41 cm/pix	368	88,3 metros

Fonte: O autor (2019).

Observando os valores dos parâmetros de interesse após a otimização das câmeras, constata-se que o valor total da resolução da imagem dos pontos de controle está adequado por estar abaixo do aceitável que é de até 1 cm/pix.

A raiz do erro médio quadrático da planimetria (xy) antes da otimização era de 271,05cm e após a otimização baixou para 2,83716cm, significando a redução de cerca de 98,9%. Em relação ao parâmetro altimétrico (z) a redução foi cerca de 99,7%.

Em relação aos valores da acurácia do projeto para os parâmetros planimetria e altimetria, o cálculo foi feito conforme as Equações 1 e 2:

- $AP(xy) = GR * 1,5 = 2,41 * 1,5 = 3,615\text{cm/pix}$ (1)

- $AP(z) = GR * 3,0 = 2,41 * 3,0 = 7,23\text{cm/pix}$ (2)

Observando os resultados obtidos, infere-se que a acurácia do projeto seria aceitável somente em relação a altimetria pois o valor do RMSE da planimetria está acima do erro aceitável, conforme observado no cálculo efetuado. A Tabela 55 mostra o comparativo dos valores do RMSE da planimetria e altimetria com os valores dos erros aceitáveis.

Tabela 55 – Comparativo do RMSE com acurácia do projeto do voo com linha de voo norte-sul - Sapucaia do Sul

Erros	RMSE Pontos de Controle	AP	Observação
XY (cm)	2,83716	3,615	Aceitável
Z (cm)	1,2038	7,23	Aceitável

Fonte: O autor (2019)

Os valores dos parâmetros de interesse da linha de voo cruzado processados juntos antes e depois da otimização das câmeras realizada em uma das etapas do processamento estão ilustradas nas Tabelas 56 a 61.

Tabela 56 – Parâmetros de interesse registrados no Relatório Pré-Otimização (voo cruzado) (X – Easting, Y – Northing, Z – Altitude) - Sapucaia do Sul

Pontos de Apoio	Erro X (m)	Erro Y (m)	Erro Z (m)	Total (m)	Imagem (cm/pix)
HV1	-2,93392	-1,44206	-3,02289	4,45256	0,929
HV2	-2,97166	-1,3093	-3,03811	4,44693	0,710
HV3	-2,83485	-1,05033	-3,09799	4,32863	0,530
HV4	-2,72034	-1,04287	-3,02894	4,20266	0,778
HV5	-3,10064	-0,866094	-2,91843	4,34526	0,941
HV6	-2,70947	-0,303412	-2,56661	3,74443	0,627
HV7	-2,89088	-0,294356	-2,5519	3,8673	1,027
Total⁶⁸	2,88314	0,993795	2,89721	4,20642	0,823
CH1	-3,13362	-1,25642	-2,96274	4,49177	0,918
CH2	-2,89408	-1,13994	-3,10014	4,39159	0,958
CH3	-3,02049	-1,08274	-3,03249	4,41493	1,114
CH4	-2,88278	-0,923866	-3,02931	4,2826	1,350
CH5	-2,9421	-0,325017	-2,53007	3,89395	0,963
CH6	-3,00542	-0,28125	-2,46131	3,89483	0,880
Total⁶⁹	2,98098	0,920928	2,86416	4,2353	1,021

Fonte: O autor (2019).

Tabela 57 – RMSE dos pontos de controle no Relatório Pré-Otimização (voo cruzado) - Sapucaia do Sul

Número	Erro X (m)	Erro Y (m)	Erro Z (m)	Erro XY (m)	Total (m)
7	2,88314	0,993795	2,89721	3,04961	4,20642

Fonte: O autor (2019).

Tabela 58 – Parâmetros de interesse registrados no Relatório Pré-Otimização (voo cruzado) - Sapucaia do Sul

Ground Resolution (GR)	Número de imagens	Altitude do voo
2,38 cm/pix	735	86,9 metros

Fonte: O autor (2019).

⁶⁸ Total em relação aos pontos de controle.

⁶⁹ Total em relação aos pontos de verificação

Tabela 59 – Parâmetros de interesse registrados no Relatório Pós-Otimização (voo cruzado)
(X – Easting, Y – Northing, Z – Altitude) - Sapucaia do Sul

Pontos de Apoio	Erro X (cm)	Erro Y (cm)	Erro Z (cm)	Total (cm)	Imagem (cm/pix)
HV1	-3,01296	-2,07385	0,113858	3,65947	0,646
HV2	1,44331	-1,63291	0,548979	2,24742	0,536
HV3	1,75122	4,77283	-1,79604	5,39188	0,435
HV4	2,59273	0,480929	1,085515	2,8515	0,580
HV5	-2,28068	0,0216217	0,333818	2,30508	0,578
HV6	-0,683925	-3,28448	-0,899201	3,47335	0,399
HV7	0,12891	1,70427	0,573278	1,80272	0,581
Total⁷⁰	1,95067	2,49775	0,923216	3,30094	0,540
CH1	6,24816	2,45948	0,0822772	6,71531	0,590
CH2	3,60165	3,07487	-1,74092	5,04555	0,722
CH3	-0,713514	-2,11341	1,25251	2,5582	0,842
CH4	5,08664	2,27534	0,796778	5,62903	1,067
CH5	-13,7444	-6,23403	-0,339966	15,0959	0,680
CH6	6,38721	4,74245	6,80978	10,4719	0,391
Total⁷¹	7,16588	3,79696	2,93627	8,62487	0,714

Fonte: O autor (2019).

Tabela 60 – RMSE dos pontos de controle no Relatório Pós-Otimização (voo cruzado) - Sapucaia do Sul

Número	Erro X (cm)	Erro Y (cm)	Erro Z (cm)	Erro XY (cm)	Total (cm)
7	1,95067	2,49775	0,923216	3,16921	3,30094

Fonte: O autor (2019).

Tabela 61 – Parâmetros de interesse registrados no Relatório Pós-Otimização (voo cruzado) - Sapucaia do Sul

Ground Resolution (GR)	Número de imagens	Altitude do voo
2,38 cm/pix	735	87,2 metros

Fonte: O autor (2019).

⁷⁰ Total em relação aos pontos de controle.

⁷¹ Total em relação aos pontos de verificação

O valor total da imagem dos pontos de controle após a otimização foi de 0,540cm/pix e é aceitável por estar abaixo do valor de corte que é 1cm/pix. A raiz do erro dos médios quadrados em relação ao parâmetro da planimetria (xy) antes da otimização era de 304,961cm e após a otimização reduziu para 3,16921cm, ou seja, reduziu aproximadamente 99%. Em relação à altimetria (z), o valor antes da otimização era de 289,721cm e após a otimização, reduziu para 0,923216cm – redução cerca de 99,7%

Também foi feito o cálculo dos valores da acurácia do projeto para os parâmetros planimetria e altimetria de acordo com as Equações 1 e 2:

$$\bullet AP(xy) = GR * 1,5 = 2,38 * 1,5 = 3,57\text{cm/pix} \quad (1)$$

$$\bullet AP(z) = GR * 3,0 = 2,38 * 3,0 = 7,14\text{cm/pix} \quad (2)$$

Observando os resultados calculados, infere-se que a acurácia do projeto seria aceitável em virtude do valor do RMSE dos parâmetros de interesse estarem abaixo dos valores dos erros aceitáveis (Tabela 62).

Tabela 62 – Comparativo RMSE do projeto (voo cruzado) com acurácia do projeto - Sapucaia do Sul

Erros	RMSE Pontos de Controle	AP	Observação
XY (cm)	3,16921	3,57	Aceitável
Z (cm)	0,923216	7,14	Aceitável

Fonte: O autor (2019).

O comparativo dos valores dos erros aceitáveis dos três processamentos distintos – um com voo em linha de voo norte-sul, um em leste-oeste e o outro com voo cruzado juntos está ilustrado na Tabela 63.

No levantamento aéreo no aterro de Sapucaia do Sul, realizado em dois voos distintos (em linhas de voo leste-oeste e norte-sul), constata-se de que não houve diferenças significativas nos valores do RMSE nas comparações dos três processamentos efetuados. Também foi observado que o RMSE do processamento do voo em linha de voo norte-sul apresentou melhor acurácia e precisão para a distribuição espacial dos pontos de apoio.

Tabela 63 – Comparativo dos RMSE/AP dos 3 processamentos – Sapucaia do Sul

Erros	Linha de voo leste-oeste		Linha de voo norte-sul		Voo cruzado	
	RMSE	AP	AP	AP	RMSE	AP
XY (cm)	3,054	3,585	2,83716	3,615	3,16921	3,57
Z (cm)	0,606493	7,17	1,2038	7,23	0,923216	7,14

Fonte: O autor (2019).

Dessa forma, chega-se à conclusão de que as coletas de pontos usando o posicionamento Cinemático em Tempo Real (RTK) se encontra mais adequado para este tipo de projeto se comparado com as coletas de ponto realizadas com posicionamento relativo.

8.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Observando os resultados dos processamentos realizados através de quatro (4) projetos de voo realizados nos aterros de Vacaria, Bom Jesus, São Leopoldo e Sapucaia do Sul, constatou-se claramente a diferença quanto ao método da coleta dos pontos de apoio e principalmente na forma como os pontos foram distribuídos ao longo da área de interesse. A Tabela 64 mostra de maneira resumida os resultados em relação ao RMSE (pontos de controle) após a otimização calculado nos quatro projetos com a finalidade de fazer uma comparação entre eles considerando os métodos de coleta dos pontos e na distribuição dos pontos.

Analisando a referida tabela, observamos que o resultado dos RMSE foi melhor no voo em linha de voo norte-sul para o terreno do aterro de Sapucaia do Sul, enquanto para o aterro de São Leopoldo, o melhor foi o leste-oeste. Talvez esse resultado esteja relacionado ao formato do terreno, uma vez que o terreno do aterro de Sapucaia do Sul era em formato retangular bem vertical, enquanto o de São Leopoldo era retangular verticalizado, mas mais largo, se aproximando do formato quadrado. No entanto, para se chegar a uma conclusão da relação do melhor voo combinado com o formato do terreno, seria necessário realizar mais voos em terrenos de formatos diferentes. Enquanto não se chega a esta conclusão, constatou-se que o melhor levantamento de voo é realizar os dois voos distintos – em linhas de voo leste-

oeste e norte-sul, e depois analisar no processamento para se verificar em qual deles se obteve o menor erro.

O resultado dos RMSE com linha de voo cruzado não teve alteração significativa e deu a entender que apresenta resultado intermediário da média dos RMSE do voo em linhas de voo leste-oeste e norte-sul. Como o processamento em linha de voo cruzado no programa *Agisoft Metashape* é mais demorado em virtude do aumento do número de imagens a serem processadas, não seria adequado realizar este processamento.

Também se observou uma forte influência do número de pontos coletados e a forma como foram distribuídos ao longo do terreno. Por exemplo, o menor erro planimétrico de Sapucaia do Sul foi de 2,83716cm para o voo vertical, enquanto o menor erro planimétrico de São Leopoldo foi de 7,58797cm para o voo horizontal com a mesma metodologia de coleta de pontos. Este resultado discrepante está relacionado à distribuição dos pontos uma vez que os pontos de apoio do terreno de Sapucaia do Sul se encontravam mais bem distribuídos que os pontos de apoio do aterro de São Leopoldo. Essa observação destaca a importância de se fazer um planejamento adequado no escritório antes de se realizar o levantamento dos voos.

Tabela 64 – RMSE dos 4 projetos após a otimização das câmeras

Cidades	RMSE					
	Linha de voo leste-oeste		Linha de voo norte-sul		Voo cruzado	
	XY (cm)	Z (cm)	XY (cm)	Z (cm)	XY (cm)	Z (cm)
Vacaria	_____	_____	26,7786	36,9162	_____	_____
Bom Jesus	15,2696	3,00306	_____	_____	_____	_____
São Leopoldo	7,58797	0,215552	7,94094	0,683465	10,3049	0,886255
Sapucaia do Sul	3,054	0,606493	2,83716	1,2038	3,16921	0,923216

Fonte: O autor (2019).

9 PRODUTOS GERADOS

Conforme citado, o *Software Agisoft Metashape* permite a geração de produtos de interesse para os trabalhos, tais como: os Modelos Digitais de Superfície (MDS) e de terreno (MDT) em 3D ou 2D em formato raster, o modelo digital de elevação, o qual pode ser gerado a partir de uma representação em 2D em formato raster (imagem) do MDS e do MDT. Além desses, podemos gerar também as curvas de nível a partir do MDT gerado e o mosaico de ortofotos através do processo de ortorretificação das imagens produzidas durante o voo.

9.1 VACARIA

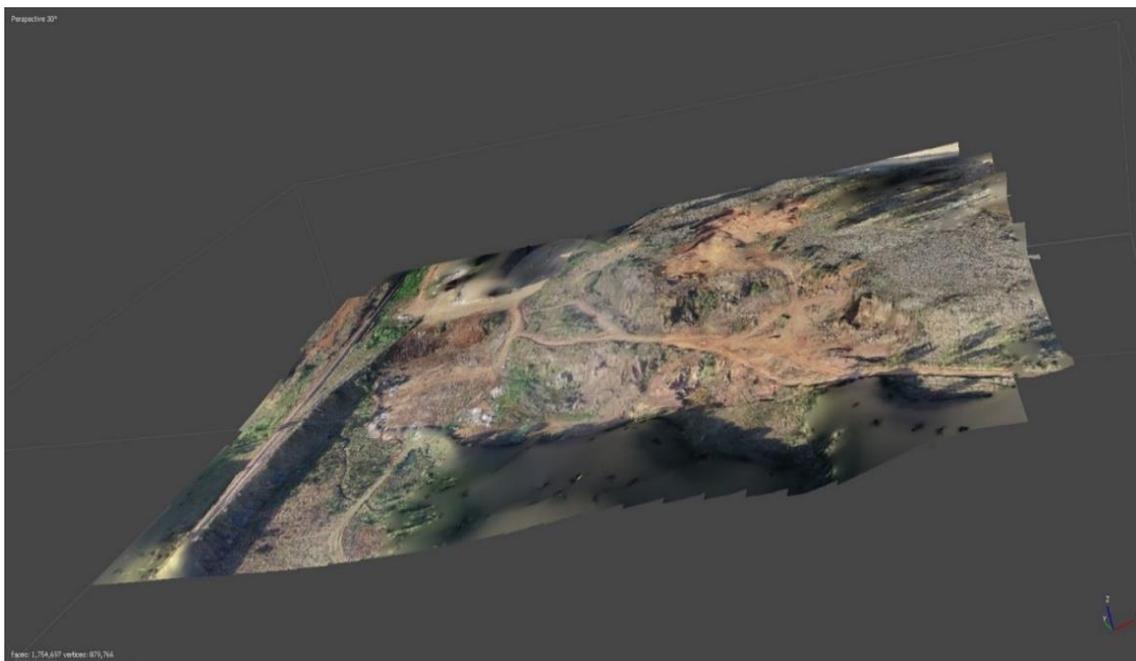
As **Figuras 34 e 35** se trata da representação 3D dos modelos digitais – de superfície e de terreno, enquanto as **Figuras 36 e 37** são os modelos digitais de elevação, gerados a partir do MDS e do MDT para o aterro de Vacaria. As **Figuras 38 e 39** são os produtos da curva de nível e mosaico de ortofotos, respectivamente.

Figura 34 – Representação 3D do Modelo Digital de Superfície (MDS) - Vacaria



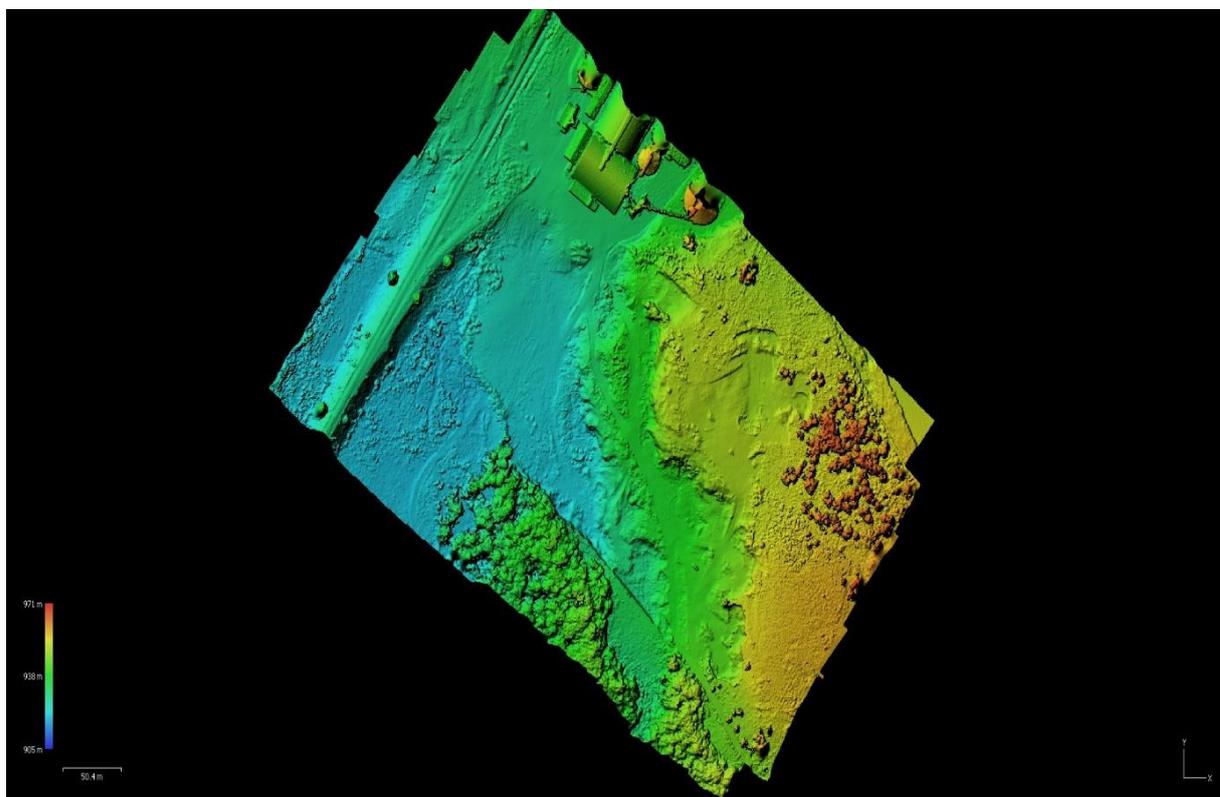
Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Figura 35 – Representação 3D do Modelo Digital de Terreno (MDT) - Vacaria

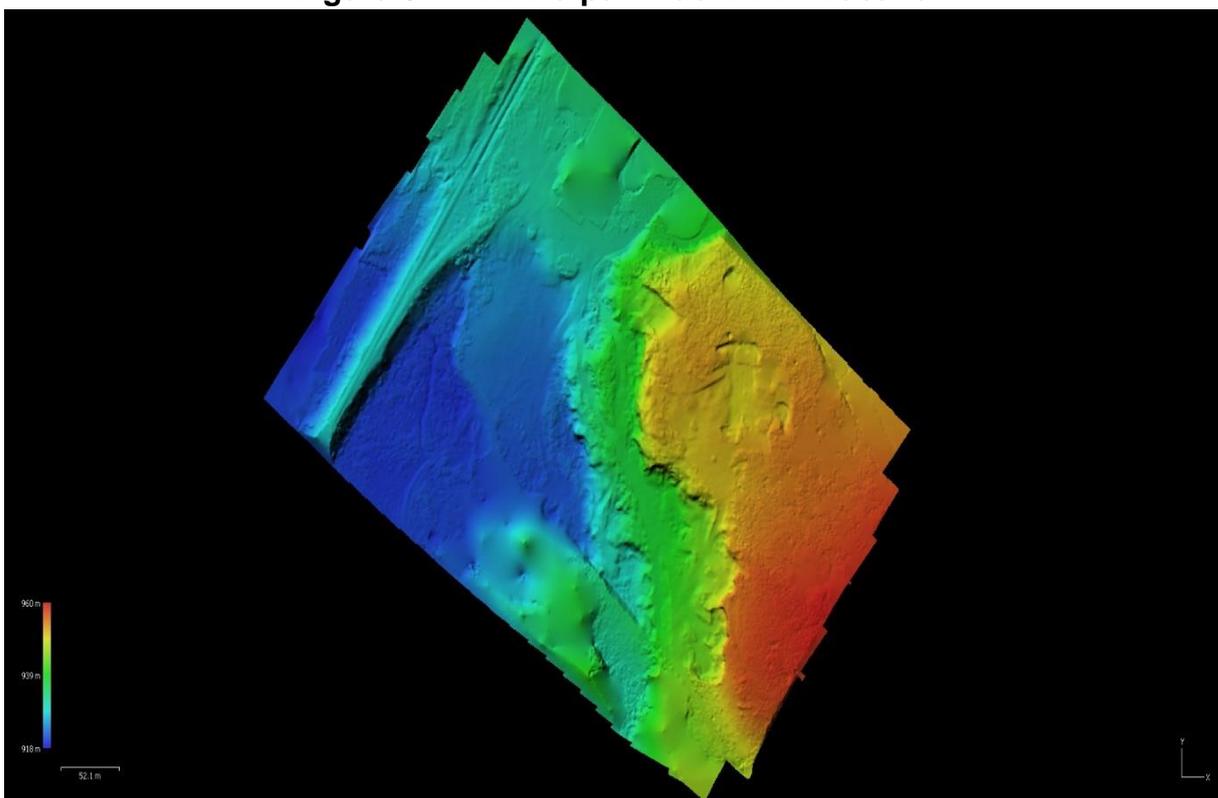


Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

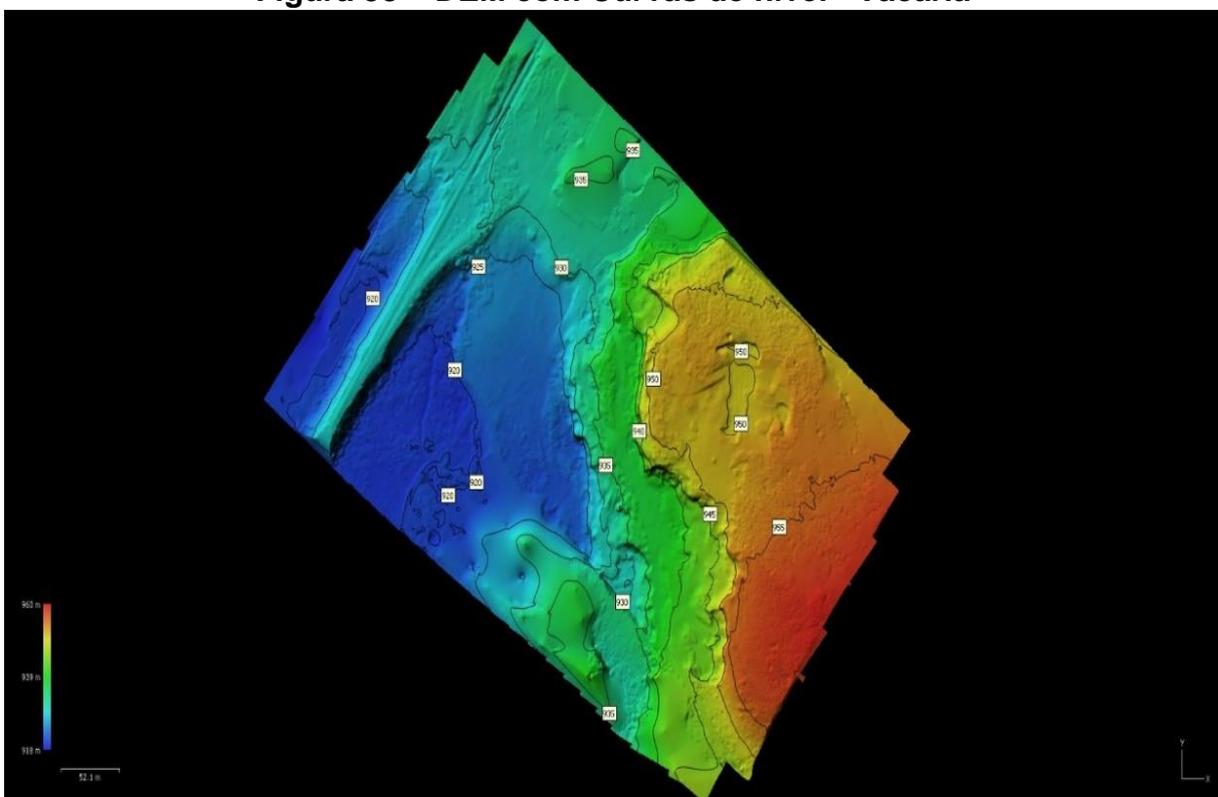
Figura 36 - Modelo Digital de Elevação (DEM) a partir do MDS - Vacaria



Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Figura 37 – DEM a partir do MDT - Vacaria

Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Figura 38 – DEM com Curvas de nível - Vacaria

Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Figura 39 – Mosaico de Ortofotos - Vacaria



Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

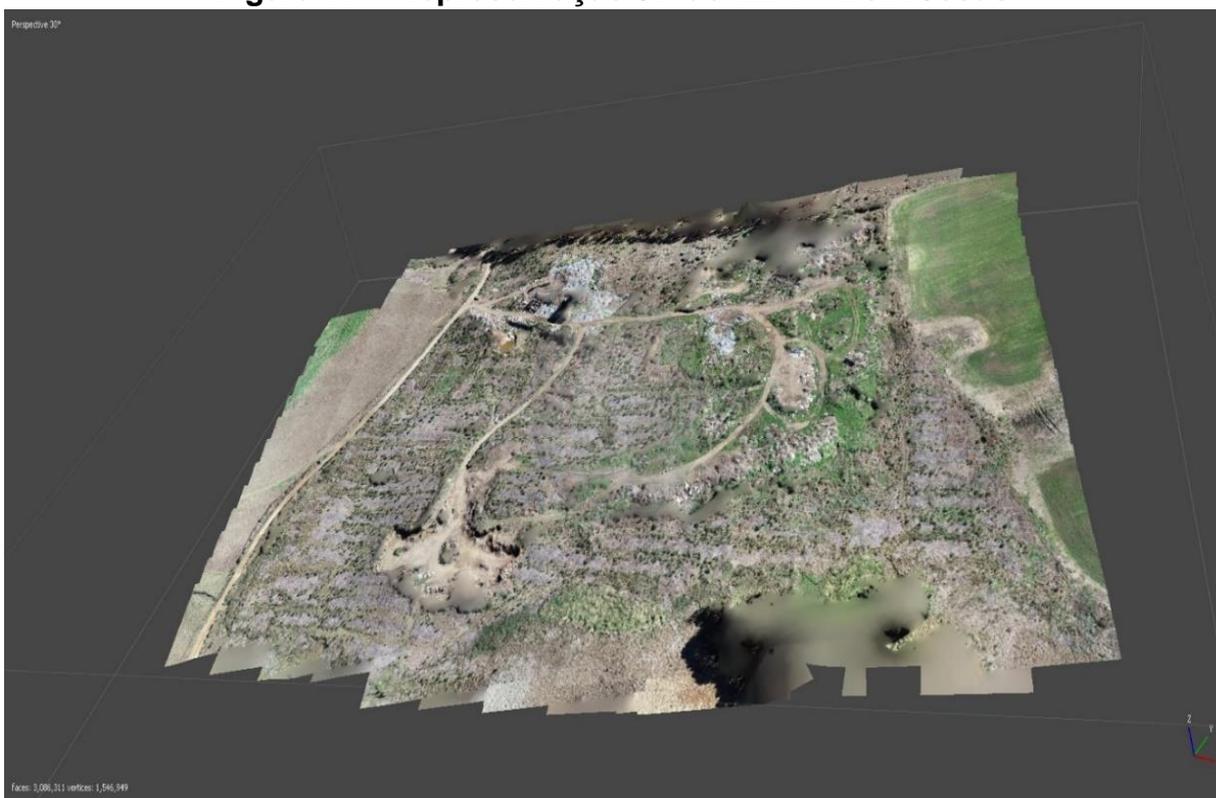
9.2 BOM JESUS

As **Figuras 40 e 41** se trata da representação 3D dos modelos digitais – de superfície e de terreno, enquanto as **Figuras 42 e 43** são os modelos digitais de elevação, gerados a partir do MDS e do MDT para o aterro de Bom Jesus. As **Figuras 44 e 45** são os produtos da curva de nível e mosaico de ortofotos, respectivamente.

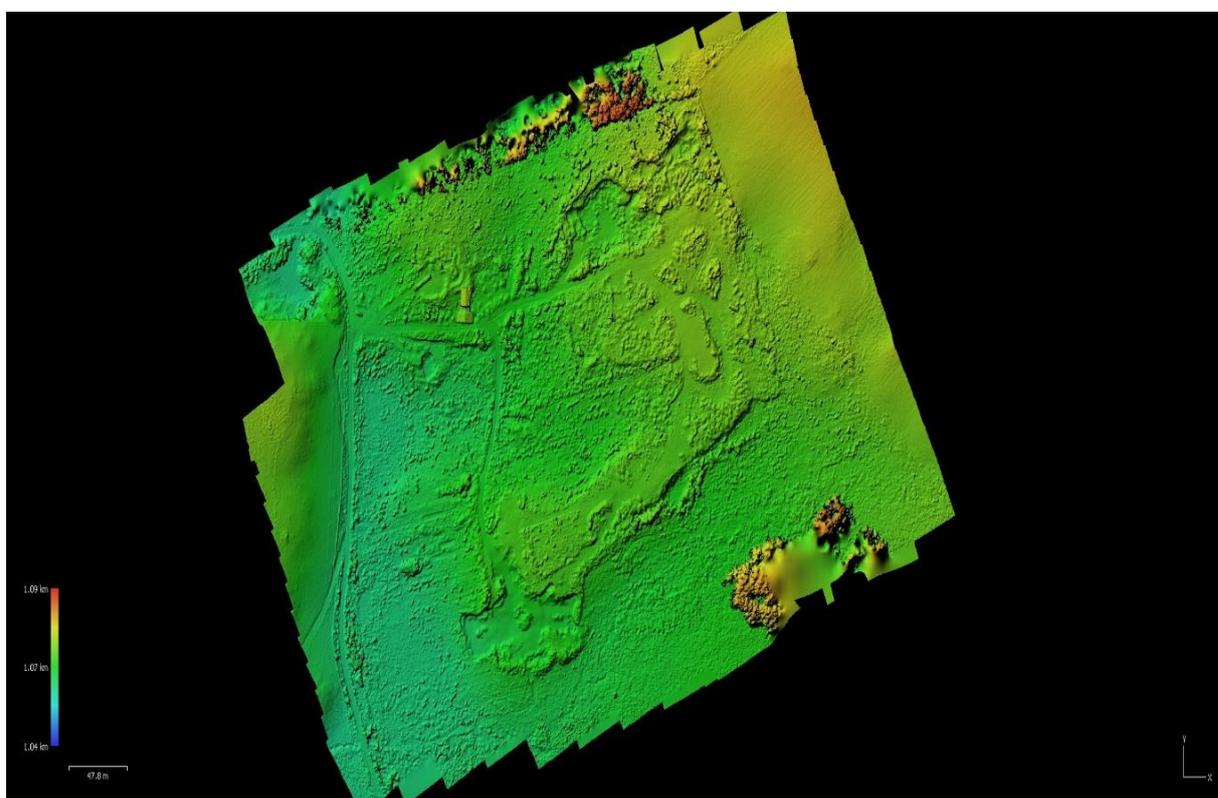
Figura 40 – Representação 3D do MDS – Bom Jesus



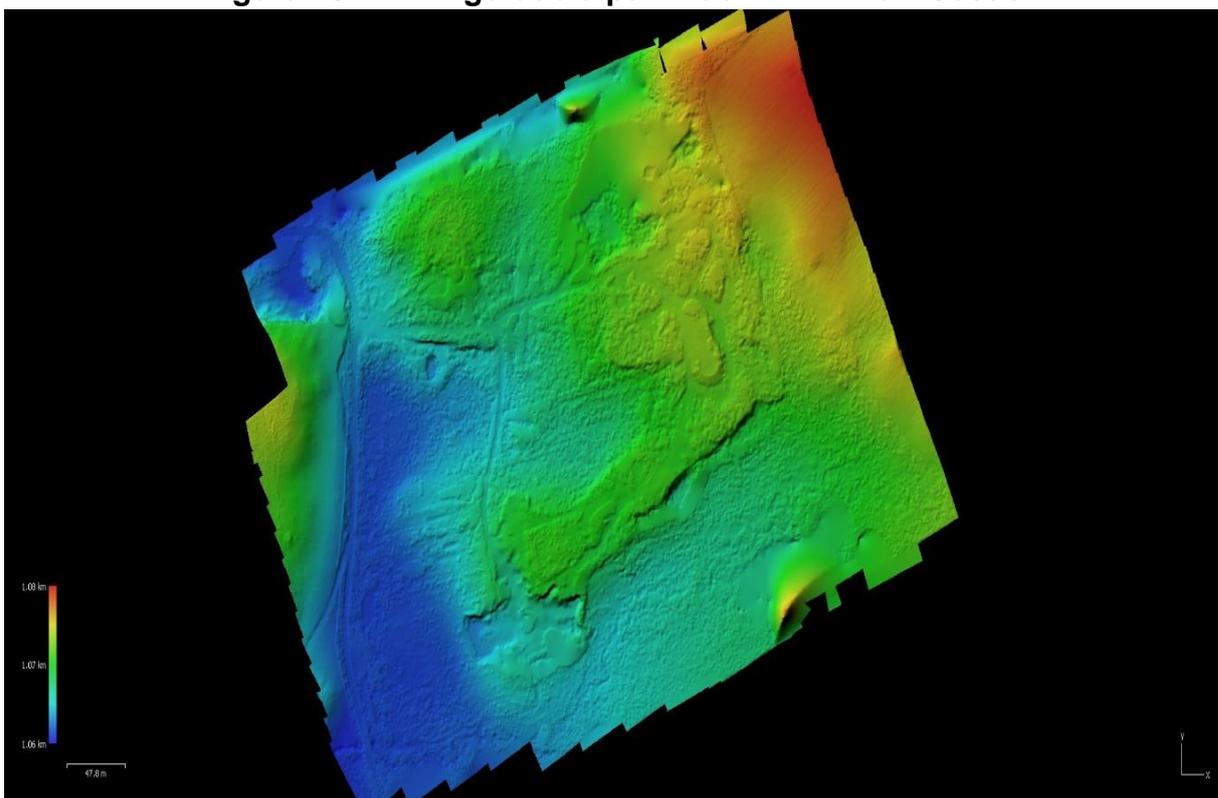
Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Figura 41 – Representação 3D do MDT – Bom Jesus

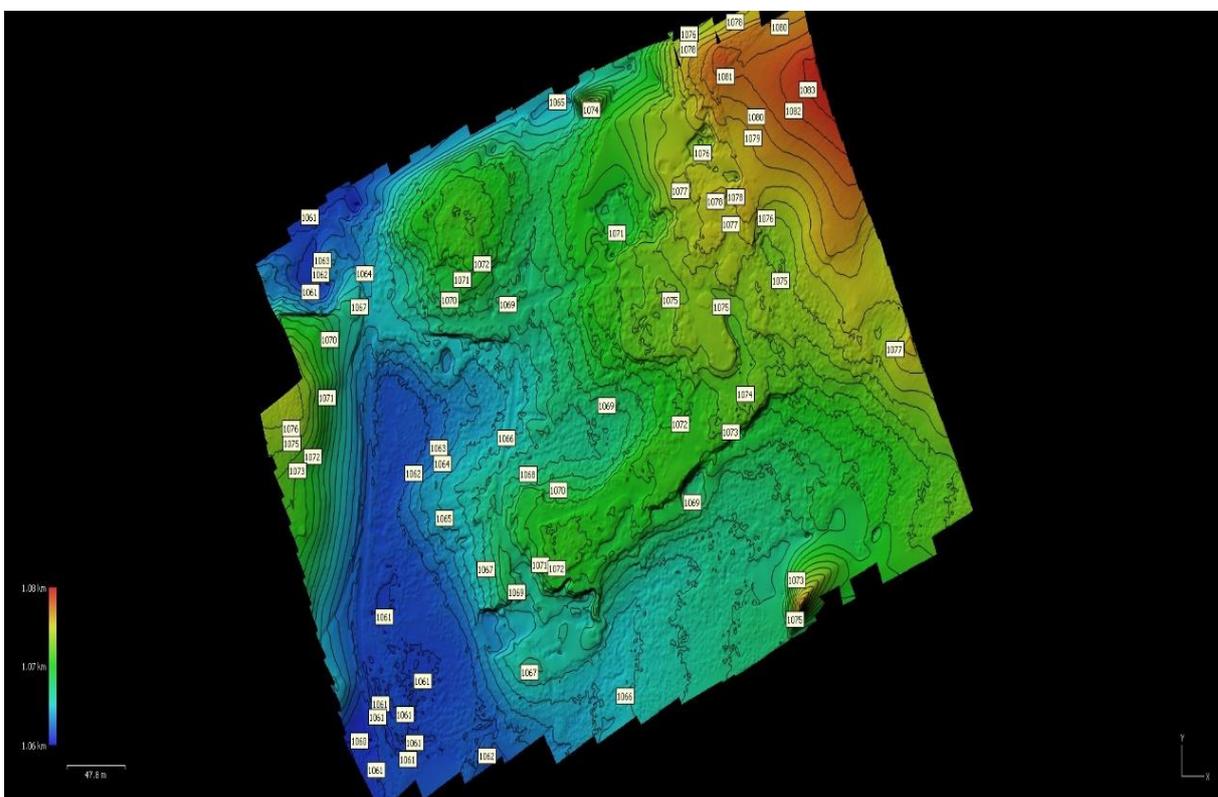
Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Figura 42 – DEM a partir do MDS – Bom Jesus

Fonte: Elaborado pelo autor (2019)

Figura 43 – DEM gerado a partir do MDT – Bom Jesus

Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Figura 44 – DEM com Curvas de nível – Bom Jesus

Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Figura 45 – Mosaico de Ortofotos – Bom Jesus

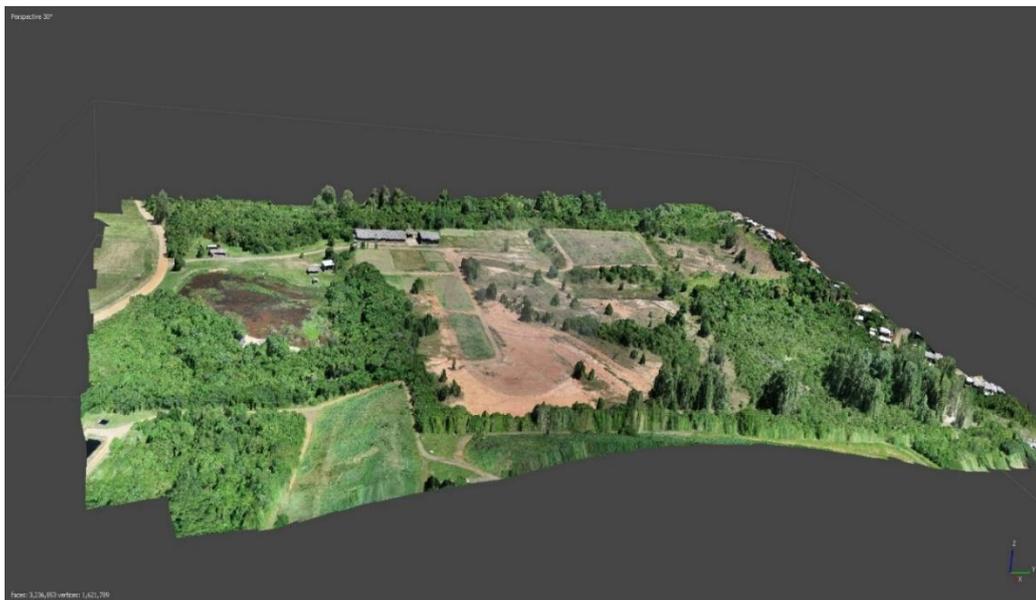


Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

9.3 SÃO LEOPOLDO

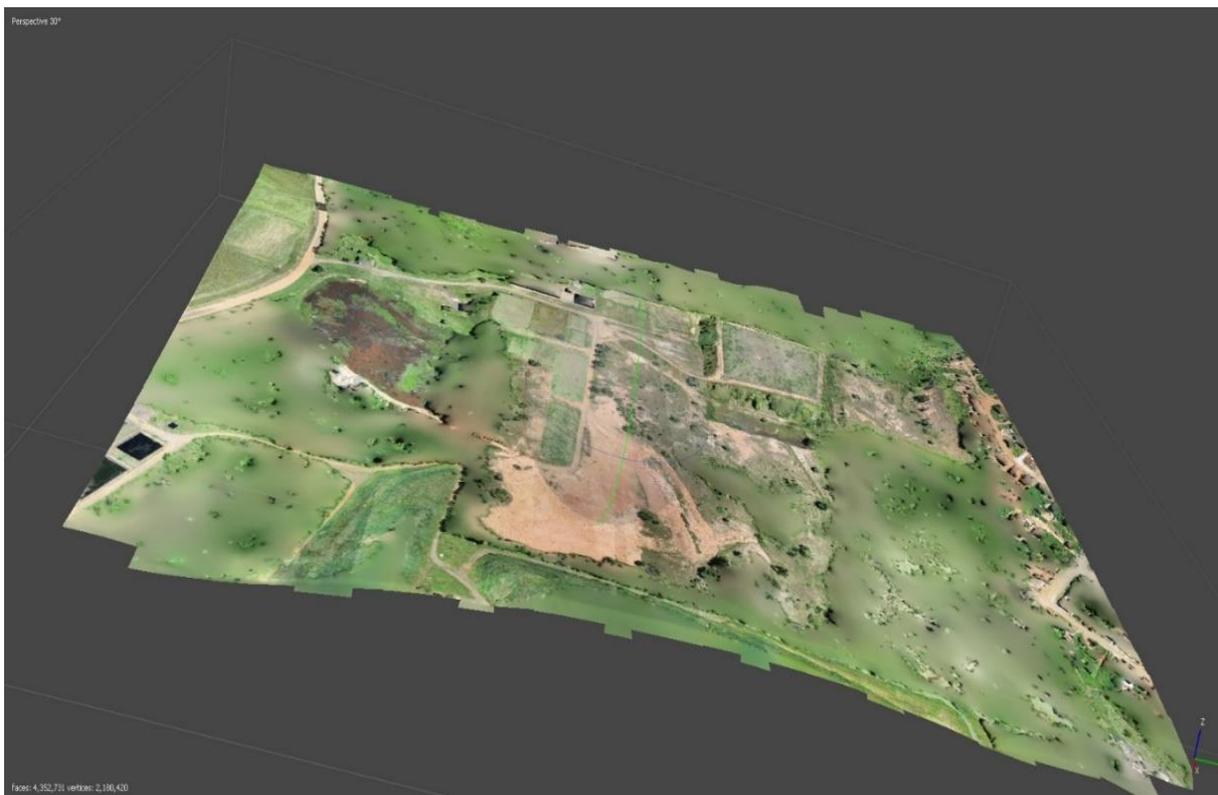
As **Figuras 46 e 47** se trata da representação 3D dos modelos digitais – de superfície e de terreno, enquanto as **Figuras 48 e 49** são os modelos digitais de elevação, gerados a partir do MDS e do MDT para o aterro de São Leopoldo. As **Figuras 50 e 51** são produtos do mosaico de ortofotos e da curva de nível, respectivamente.

Figura 46 – Representação 3D do MDS – São Leopoldo



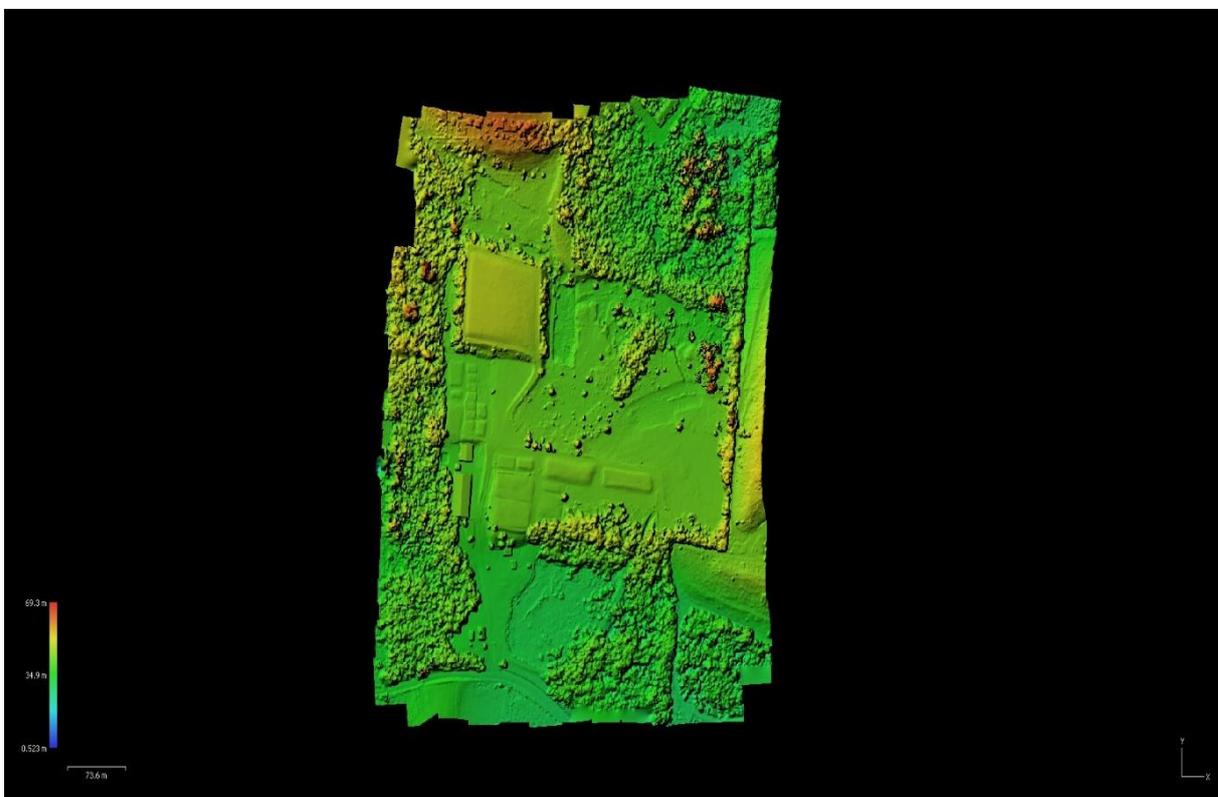
Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Figura 47 – Representação 3D do MDT – São Leopoldo



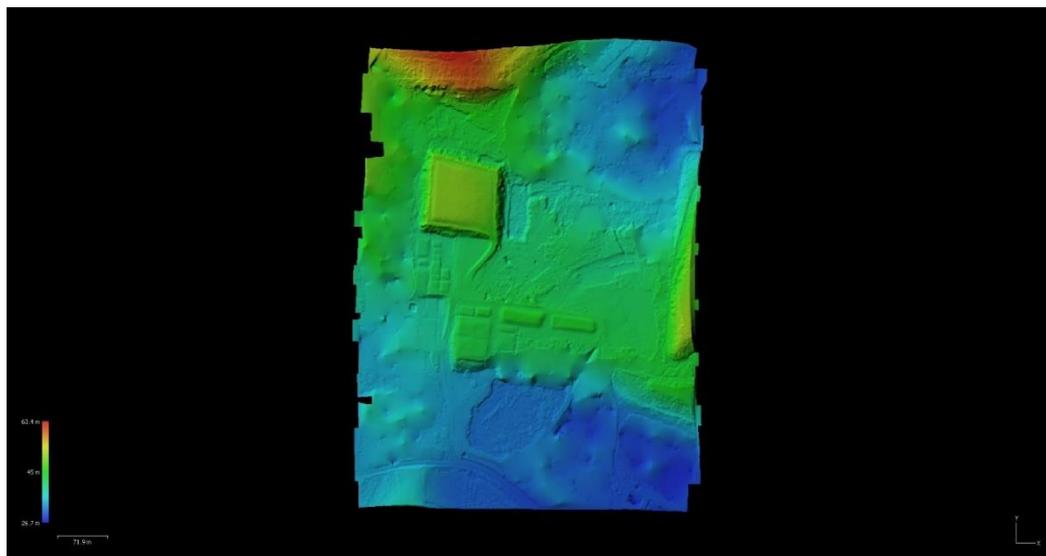
Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Figura 48 – DEM a partir do MDS – São Leopoldo



Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Figura 49 – DEM a partir do MDT – São Leopoldo



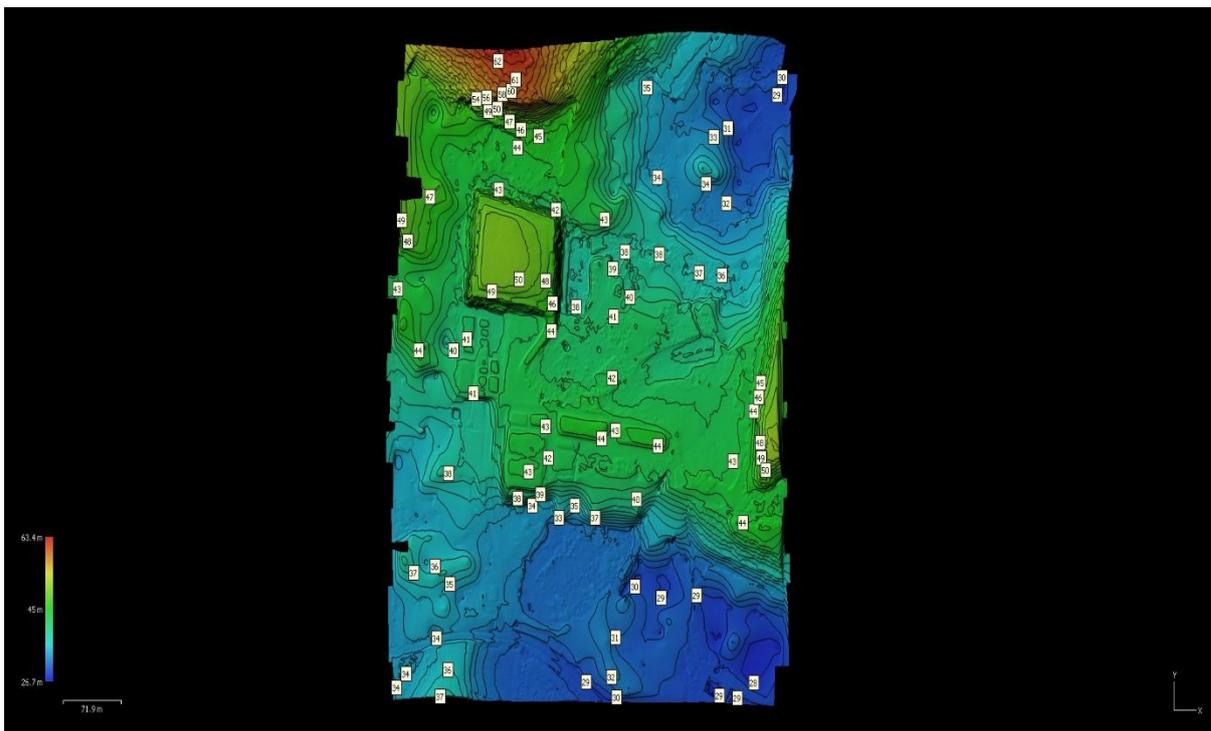
Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Figura 50 – Mosaico de Ortofotos – São Leopoldo



Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Figura 51 – DEM com as curvas de nível – São Leopoldo



Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

9.4 SAPUCAIA DO SUL

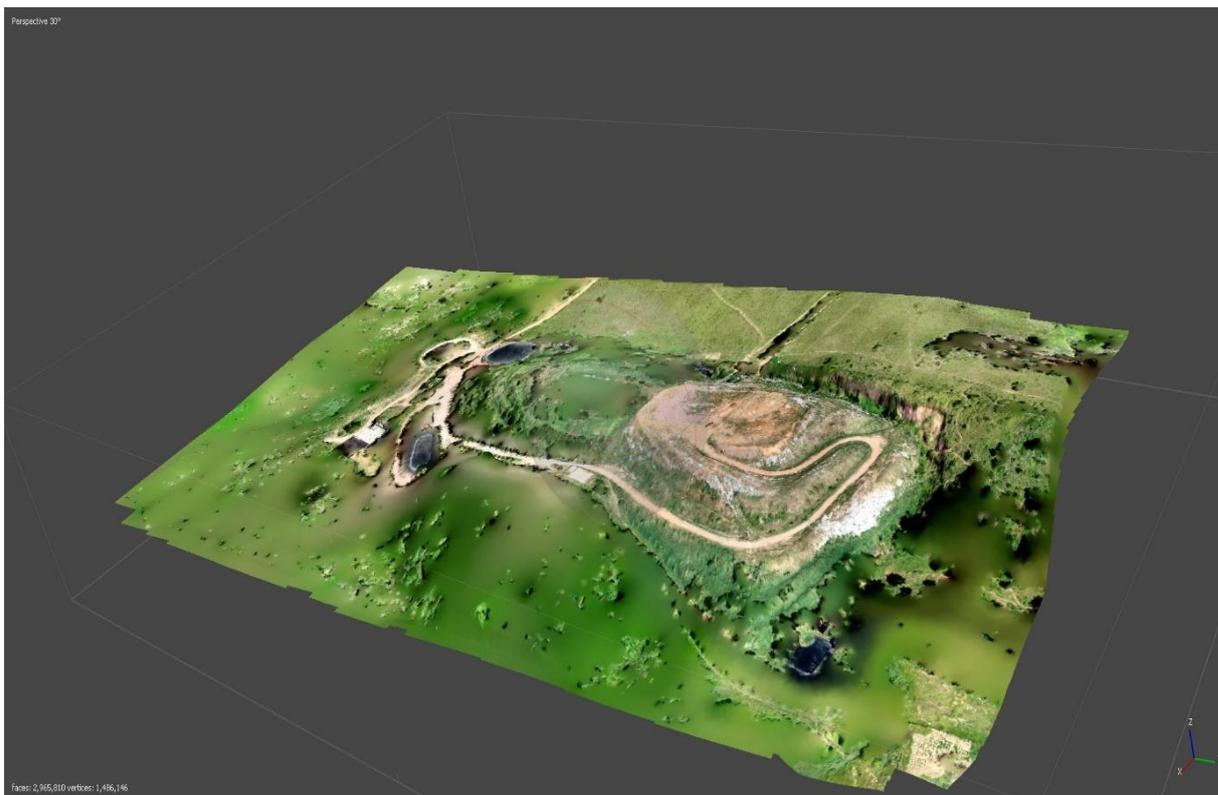
As **Figuras 52 e 53** se trata da representação 3D dos modelos digitais – de superfície e de terreno, enquanto as **Figuras 54 e 55** são os modelos digitais de elevação, gerados a partir do MDS e do MDT para o aterro de Bom Jesus. As **Figuras 56 e 57** são os produtos da curva de nível e mosaico de ortofotos, respectivamente.

Figura 52 – Representação 3D MDS – Sapucaia do Sul



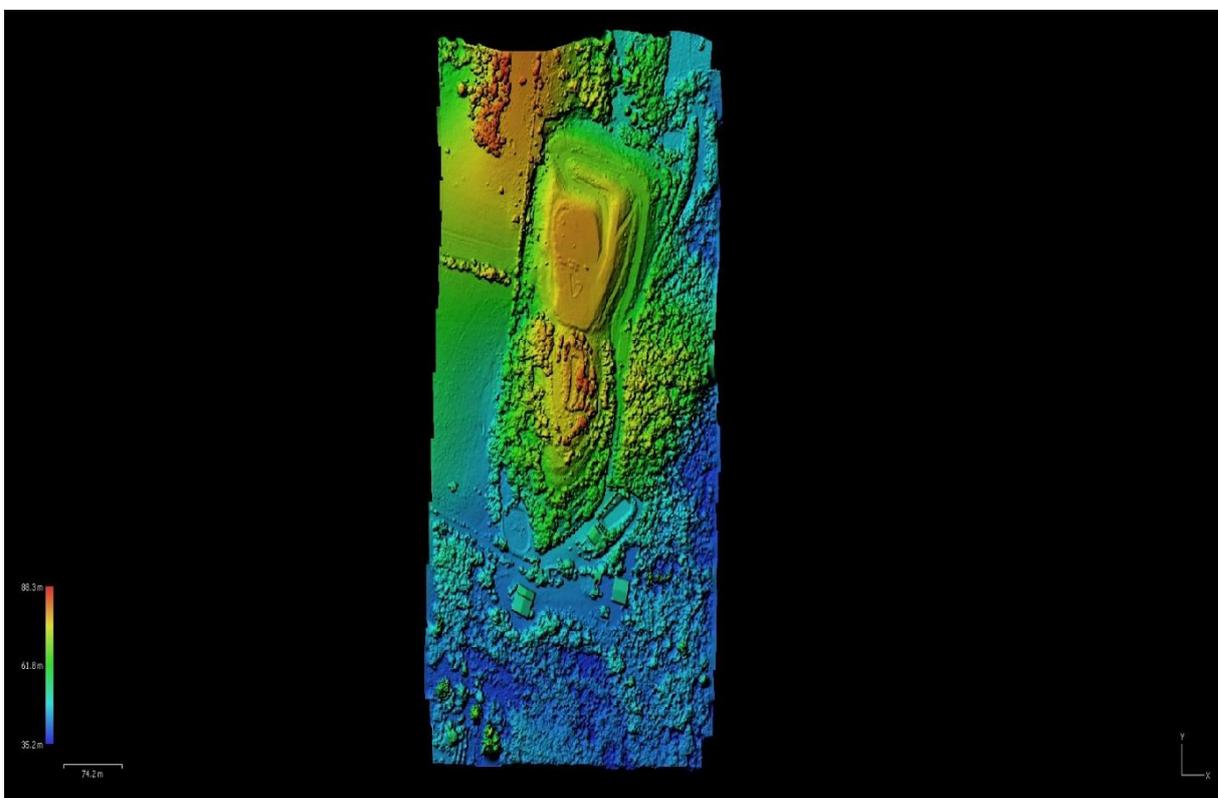
Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Figura 53 – Representação 3D do MDT – Sapucaia do Sul



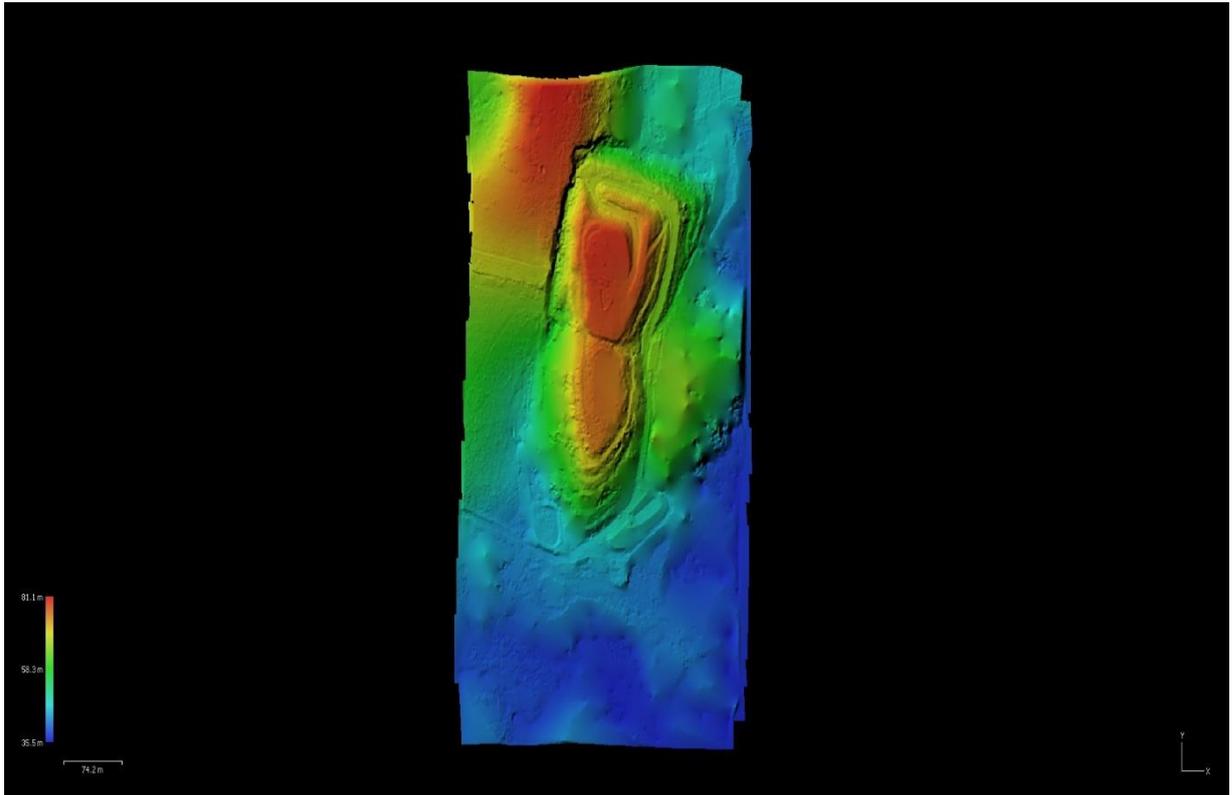
Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Figura 54 – DEM a partir do MDS – Sapucaia do Sul



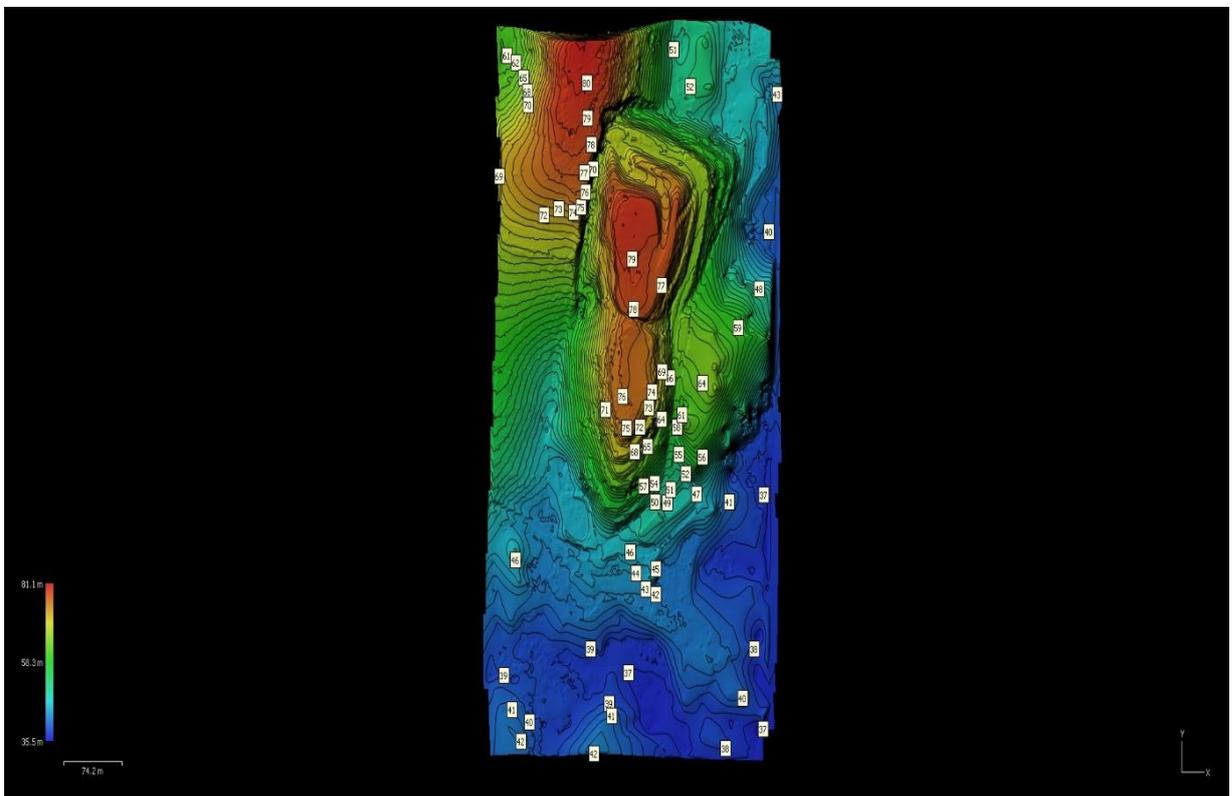
Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Figura 55 – DEM a partir do MDT – Sapucaia do Sul



Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Figura 56 – DEM com as curvas de nível – Sapucaia do Sul



Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Figura 57 – Mosaico de Ortofotos – Sapucaia do Sul



Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

9.5 FOTOINTERPRETAÇÃO DOS PRODUTOS GERADOS

Conforme relatado, a fotointerpretação é considerada uma fotogrametria interpretativa que tem a finalidade de identificar os objetos de interesse e deduzir seus significados e dessa forma se chegar a uma conclusão correta. Apesar da fotointerpretação estar mais associada ao contexto qualitativo, ela também se aplica aos conceitos quantitativos, por isso a denominação de fotogrametria interpretativa.

Destaca-se que esses elementos de interesse não seriam visualizados de forma precisa nas imagens de satélite de alta resolução disponíveis em virtude da resolução espacial.

9.5.1 Fotointerpretação Qualitativa

Sabe-se que a fotointerpretação fornece informações qualitativas, permitindo a discriminação de elementos de interesse criminalístico nas fotografias aéreas nos aterros de Vacaria, Bom Jesus, São Leopoldo e Sapucaia do Sul.

9.5.1.1 Vacaria

Observando o mosaico de ortofoto (**Figura 58**) do aterro do município de Vacaria, podemos visualizar alguns elementos de interesse para o exame pericial, tais como área de banhado na porção oeste da área questionada, disposição de resíduos sólidos diversos sobre o solo a céu aberto e a identificação do tipo de resíduos, movimentação de terra e traçados de veículos pesados, indicando a continuidade da disposição dos resíduos.

Destaca-se que a presença da área de banhado é um grande fator de preocupação em virtude da possibilidade do escoamento de chorume em direção a ele, em caso de haver um aterro de resíduos sólidos urbanos.

Através da representação tridimensional do modelo digital de superfície (MDS) e do modelo digital de elevação (DEM) com as curvas de nível podemos visualizar claramente a topografia da região, sendo que a altitude decresce no sentido leste-oeste, ou seja, essa observação potencializa a preocupação do sentido do escoamento do percolado (**Figuras 34 e 38**).

Figura 58 – Elementos de interesse em um mosaico de Ortofotos – Vacaria



Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

9.5.1.2 Bom Jesus

Através do ortomosaico de imagens aéreas feitas com RPAS observa-se concentrações de resíduos sólidos urbanos em determinados lugares e alguns bem espalhados ao longo do terreno. A maior concentração de resíduos está na porção noroeste do terreno e é possível também observar os tipos de resíduos (**Figuras 59 e 60**).

Deslocamento dos caminhões e posteriormente deposição dos resíduos por parte deles em lugares diversos da área.

Próximo a este grande volume de depósito de resíduos, constata-se uma grande concentração de chorume sobre o solo, formando uma poça de chorume, indicando a desproteção dos lençóis freáticos (**Figura 60**).

Na parte sul do terreno, se observou uma movimentação de terra, sugerindo servir de local de disposição de resíduos sólidos urbanos em um momento posterior (**Figura 59**).

Figura 59 – Elementos de interesse em um mosaico de Ortofotos – Bom Jesus



Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Figura 60 – Elementos de interesse em um mosaico de Ortofotos – Bom Jesus



Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

A topografia do terreno é perfeitamente analisada no modelo digital de elevação com as curvas de nível e dessa forma se constata a elevação do terreno no sentido sudoeste-nordeste (**Figura 44**).

9.5.1.3 São Leopoldo

No caso do aterro de São Leopoldo, o mosaico de ortofotos também nos permite identificar alguns detalhes importantes para o exame pericial, tais como: a existência de um açude, terrenos cobertos com vegetação e demarcados, drenos para saída de gases (um dos dispositivos de controle de poluição) sobre esses terrenos e a quantificação desses dispositivos (**Figuras 61 e 62**).

Figura 61 – Elementos de interesse em um mosaico de Ortofotos – São Leopoldo



Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

No modelo digital de elevação gerado a partir do modelo digital de superfície constata-se, pelo menos, vinte (20) valas de recebimento de resíduos já encerradas, sendo possível quantificar a área de cada uma delas (**Figura 49**). E através das curvas de nível, se constata que a elevação do terreno é no sentido sul-norte, ou seja, o sentido do escoamento do chorume será em direção ao açude.

Figura 62 – Elementos de interesse em um mosaico de Ortofotos – São Leopoldo



Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Pelo ortomosaico não é possível constatar se há algum tratamento tal como a remoção do chorume para posterior tratamento, no entanto, nos exames *in loco* foi observada uma estação coletora de chorume, justamente na parte mais baixa do terreno, ou seja, foi instalada de forma adequada (**Figura 61**).

9.5.1.4 Sapucaia do Sul

No caso deste aterro, foi possível constatar muitos elementos de interesse criminalístico com a análise dos produtos gerados através do *software Agisoft Metashape*, sem a necessidade de se fazer as observações *in loco*.

Os elementos de interesse observados através do mosaico de ortofotos foram: três lagoas de contenção de chorume contendo lonas Polietileno de Alta Densidade (PEAD), as quais têm a finalidade de conferir proteção aos mananciais subterrâneos

quanto à contaminação dos efluentes presentes nas lagoas de contenção; uma vala encerrada, localizada na porção norte da área; diversos lugares com deposição de resíduos a céu aberto, identificação dos tipos de resíduos e vazamento de chorume provenientes dos taludes da vala encerrada e dos resíduos dispostos sobre o solo; diversas tubulações de concreto servindo como drenos para saída de gases provenientes da vala encerrada. Alguns dos elementos criminalísticos encontrados podem também ser quantificados/mensurados, principalmente o número de lagoas de contenção de chorume e respectivas áreas e, o número de vazamentos de chorume encontrados no mosaico de ortofotos (Figuras 63 a 66).

Figura 63 – Elementos de interesse em um mosaico de Ortofotos – Sapucaia do Sul



Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Figura 64 – Drenos de gases em um mosaico de Ortofotos – Sapucaia do Sul



Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Figura 65 – Vazamento de choro em um mosaico de Ortofotos – Sapucaia do Sul



Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Figura 66 – Vazamento de chorume em um mosaico de Ortofotos – Sapucaia do Sul



Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Se constatou que a vala encerrada se encontra na porção mais alta do terreno através do Modelo Digital de Elevação (DEM), desta forma, haverá escoamento de chorume para as laterais da vala e as lagoas de contenção se encontravam posicionadas de forma adequada e estratégica, porém, se observou vazamento de chorume nos taludes da referida vala (**Figura 56**). Essa observação está associada, provavelmente, ao desgaste das mantas PEAD no interior dessa vala, o que permite o extravasamento dos percolados. O extravasamento também está relacionado à disposição inadequada dos resíduos sólidos urbanos.

9.5.2 Fotointerpretação Quantitativa

Conforme dito anteriormente, a fotointerpretação quantitativa está relacionada à fotogrametria métrica, ou seja, envolvem medidas precisas e computacionais para se determinar a forma e as dimensões dos objetos de interesse. Dessa forma, ela é aplicada na preparação dos mapas planimétricos e altimétricos.

9.5.2.1 Vacaria

No caso do terreno do aterro de Vacaria não houve a existência de elementos de interesse que pudessem ser quantificados, com a exceção da superfície de banhado que apresentava uma área aproximada de 11.024m² (1,1ha), no entanto, não foi possível calcular essa área *in loco*.

9.5.2.2 Bom Jesus

Foi feita a mensuração em alguns pontos de interesse, no entanto, não foi possível averiguar a acurácia dessa medição a campo. A área da maior concentração de resíduos sólidos urbanos dispostos sobre o solo a céu aberto foi estimada em 2.095m², enquanto a área de movimentação de terra foi calculada em cerca de 2.679m².

A poça de chorume encontrada junto à grande concentração dos resíduos foi estimada em 16m².

9.5.2.3 São Leopoldo

Foram calculadas as áreas das valas já encerradas no Modelo de Elevação de Superfície por estar bem visível a demarcação e os taludes das referidas valas. Os valores estimados estão visualizados na Tabela 65 e a disposição espacial das valas está ilustrada na **Figura 67**.

Salienta-se que também não foi possível realizar o processo de mensuração das referidas valas no momento dos exames *in loco*.

Tabela 65 – Área das valas encerradas no aterro de São Leopoldo/RS

Vala	Área (m ²)	Vala	Área (m ²)
1	6.732	11	40
2	403	12	166
3	161	13	186
4	106	14	332
5	85	15	311
6	91	16	1.163
7	50	17	1.229
8	82	18	1.548
9	65	19	877

10	59	20	1.362
----	----	----	-------

Fonte: O autor (2019).

Figura 67 – Localização das valas encerradas – São Leopoldo



Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

9.5.2.4 Sapucaia do Sul

Neste aterro, foram calculadas as áreas das três lagoas de contenção de chorume observadas por ortomosaico de fotos aéreas. Os valores aproximados estão visualizados na Tabela 66 e a disposição espacial das referidas lagoas está ilustrada na **Figura 68**. Também não foram realizadas medidas no exame *in loco*.

Tabela 66 – Área das Lagoas de Contenção de Chorume observadas no aterro de Sapucaia do Sul/RS

Lagoa de Contenção de Chorume	Área (m ²)
1	428
2	1.030

3

464

Fonte: O autor (2019).

Figura 68 – Localização das Lagoas de Contenção de Chorume – Sapucaia do Sul/RS



Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

10 CONCLUSÕES

O presente trabalho mostrou os benefícios da utilização do drone com a qualidade dos produtos gerados através do *Software Agisoft Metashape*, possibilitando a avaliação precisa e identificação dos objetos de interesse e ofereceu maior qualidade aos Laudos Periciais do Instituto-Geral de Perícias/RS, tornando-se uma ferramenta em potencial para a realização dos exames periciais na esfera criminal ambiental. Salienta-se que houve uma melhora no tempo dos exames feitos com RPAS em comparação com exames *in loco*, mas não interferiu no tempo da elaboração dos Laudos Periciais, uma vez que a ferramenta RPAS não substitui a interpretação e o laudo a ser realizado por profissionais do IGP/RS.

Além disso, o referido trabalho mostrou a diferença quanto ao método da coleta dos pontos de apoio. Os valores de RMSE da coleta dos pontos tanto por Posicionamento Por Ponto Absoluto (PPP) quanto por Posicionamento Cinemático Pós Processado (PPK) estiveram na casa dos centímetros, porém somente o PPK se mostrou mais preciso e aceitável em termos de acurácia do projeto efetuado. Destaca-se que a forma como os pontos de apoio foram distribuídos ao longo da área de interesse também influenciou na acurácia do projeto. Os pontos de apoio no aterro de Sapucaia do Sul estavam mais bem distribuídos do que o aterro de São Leopoldo, influenciando nos resultados, de tal forma que somente o voo de Sapucaia do Sul tornou-se aceitável seguindo os preceitos de Graham (2002) em que o valor RMSE dos pontos de controle deve estar abaixo dos valores da acurácia do projeto para os parâmetros de planimetria (xy) e altimetria (z).

Apesar de somente um voo ter se tornado aceitável quanto a acurácia do projeto, todas as imagens/ortomosaicos poderiam ser utilizadas nos Laudos Periciais por parte dos peritos criminais da Seção de Perícias Ambientais do Instituto-Geral de Perícias/RS (IGP/RS) dependendo do objetivo do trabalho. Se o objetivo do trabalho é apenas a fotogrametria interpretativa, todos os ortomosaicos gerados poderiam ser utilizados, por exemplo.

Também se observou a possível relação da forma do voo com o formato da área. Os valores do RMSE dos pontos de controle foram melhores no voo em linha de voo norte-sul para o aterro de Sapucaia do Sul enquanto para o aterro de São Leopoldo foram melhores em linha de voo leste-oeste. O formato da área do aterro de Sapucaia do Sul era retangular enquanto o de São Leopoldo era mais quadrangular.

No entanto, para uma conclusão mais precisa, seria necessário realizar mais voos em áreas de formatos diferentes e as respectivas coletas dos pontos de apoio por PPK, podendo ser efetuado em pesquisas futuras junto com a distribuição espacial da coleta de pontos de forma adequada.

Através do trabalho se constatou que o uso de RPAS fornece subsídios da visão aérea da área periciada, permitindo uma maior qualidade nos levantamentos e tomada de decisões de forma dinâmica durante os levantamentos e o enriquecimento dos Laudos Periciais através das imagens comprobatórias de danos ao meio ambiente.

REFERÊNCIAS

ABNT. **NBR 10.157**: aterros de resíduos perigosos: critérios para projeto, construção e operação: procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 1987.

ABNT. **NBR 8419**: apresentação de projetos de aterros de resíduos sólidos urbanos. Rio de Janeiro: ABNT, 1992.

ABNT. **NBR 8849**: apresentação de projetos de aterros controlados de resíduos sólidos urbanos. Rio de Janeiro: ABNT, 1985.

ABNT. **NBR 11.174**: armazenamento de resíduos classes II - não inertes e III - inertes. Rio de Janeiro: ABNT, 1990.

ABNT. **NBR 10.004**: resíduos sólidos: classificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

ABNT. **NBR 15.113**: resíduos sólidos da construção civil e resíduos inertes – aterros – diretrizes para projeto, implantação e operação. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

Action Drone. **TRAINING UAS: AD1-V2**. Chula Vista, California – EUA, Action Drone, c2020. Disponível em: <https://actiondroneusa.com/systems/> Acesso em: 12 jul. 2020

Agisoft LLC. **Agisoft Metashape Professional**. 2018. Versão 1.5.0 *build 7492 (64 bit)*. Disponível em: <http://agisoft.com>. Acesso em: 22 de julho de 2020.

AMORIM, J.V. **A Autonomia da Perícia Criminal Oficial no Âmbito da Polícia Federal**: percepções e reflexões dos profissionais do sistema de justiça criminal. Orientador: Prof. Dr. Ricardo Lopes Cardoso. 2012. 169 f. Dissertação (Mestrado em Administração Pública) - Escola Brasileira de Administração Pública e de Empresas, FGV, Rio de Janeiro, 2012. Disponível em: <http://bibliotecadigital.fgv.br/dspace/handle/10438/9987>. Acesso em: mar. 2020.

APROMAC. **Gerenciamento de óleos lubrificantes usados ou contaminados**: guia básico. São Paulo: APROMAC: SENAI, [2008?]. 60 p. Disponível em: https://www.mprs.mp.br/media/areas/ambiente/arquivos/oleos_lubrificantes/manuais/gestao_oleos_lubrificantes.pdf. Acesso em: mar. 2020.

ARIAS, Anderson. **VANT de Asa Fixa: Você conhece os componentes?** 2016 DronEng - Drones e Engenharia. Disponível em: <http://blog.droneng.com.br/vant-de-asa-fixa-componentes>. Acesso em: 12 jul. 2020.

BAIRD, C. Resíduos, solos e sedimentos. *In*: BAIRD, Colin. **Química ambiental**. Tradução Maria Angeles Lobo Recio, Luiz Carlos Marques Carrera. 2.ed. Porto Alegre: Bookman, 2002. Cap. 10, p. 534-536. Título original: Environmental chemistry.

BARBIERI, C.B; GEISER, G. C. Perícia Ambiental. *In*: VELHO, J.A; GEISER, G. C; ESPÍNDULA, A. (org.). **Ciências forenses**: uma introdução às principais áreas da criminalística moderna. 3. ed. rev., atual. e ampl. Campinas: Millennium, 2017. Cap. 14, p. 291-295. (Criminalística Premium).

BARBOSA, G.G.; ARRUDA, I.M.; MENDONÇA, L.R.; PEREIRA, M.D. Efeito diário da refração ionosférica no posicionamento por ponto da estação da rede brasileira de monitoramento contínuo do município de Monte Carmelo – MG. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA*, 27.; EXPOSICARTA, 26., 2017, Rio de Janeiro. **Anais** [...]. Rio de Janeiro: SBC, 2017. p. 130-134. Disponível em: <http://www.cartografia.org.br/cbc/2017/trabalhos/2/569.html>. Acesso em: mar. 2020.

BARBOSA, H.A.; ROANHORSE, A.S. Mapeamento de cobertura vegetal por meio de aeronave não tripulada na estação experimental de Santa Rita em Arizona: estudo de caso. *In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO*, 13. 2007, Florianópolis. **Anais** [...]. São José dos Campos, SP: INPE, 2007. Parte 18: Radiometria, Calibração e Qualidade de Imagens, p. 6323-6328. Disponível em: <http://marte.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2006/11.17.22.31/doc/6323-6328.pdf>. Acesso em: mar. 2020.

BARCELOS, A.C. **O uso de veículo aéreo não tripulado (VANT) em monitoramento de campo: aplicabilidades e viabilidades**. Orientador: Prof. Dr. Silvio Carlos Rodrigues. 2017. 58 f. Monografia (Graduação Bacharel em Geografia) – Instituto de Geografia, Universidade Federal de Uberlândia (UFU), Uberlândia, 2017. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/20639>. Acesso em: mar. 2020.

BARRIOS, Rolando. O Lixo Domiciliar e seu destino na cidade de Rio Claro - SP. *In: I ENCONTRO DE GEÓGRAFOS DA AMÉRICA LATINA*. 1986-1987. Disponível em: <http://observatoriogeograficoamericalatina.org.mx/tegal1/Procesosambientales/Usoderecursos/OLIXODOMICILIARESEUDESTINONACIDADEDERIOCLARO.pdf>. Acesso em: 12 jul. 2020.

BARROS, J. C. R. Lixo: descaso de um aterro urbano, parte 1. **Caderno Brasileiro de Avaliações e Perícias**, abr. 1994.

BENEMANN, A. **Estação de controle para veículos aéreos não tripulados**. Orientador: Prof. Dr. Carlos Eduardo Pereira. 2013. 60 f. Projeto de Diplomação [Trabalho de Conclusão de Curso] (Graduação em Engenharia Elétrica) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre, 2013. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/96216>. Acesso em: mar. 2020.

BICHO, C. P. et al. **Projeto μ VANT – uma parceria DNPM/UNB para desenvolvimento e uso de μ VANTs na fiscalização de atividades minerais não tituladas**. *In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR)*, 16, 2013, Foz do Iguaçu. *Anais...* São José dos Campos: INPE, 2013. Artigos, p. 9316-9323. CD-ROM, On-line. Disponível em: <http://marte2.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/marte2/2013/05.29.00.07.13/doc/p0890.pdf>. Acesso em: 12 jul. 2020.

BOROTTO, Graciano Luiz. **Uso de Drone de Baixo Custo Para O Cadastramento Urbano na Cidade de Caturaí-GO**. Goiânia, 2019. 31p. TCC (Graduação) – Curso de Engenharia Civil, Centro Universitário de Goiás – Uni Anhanguera, Goiânia, 2019.

Disponível em:
http://repositorio.anhanguera.edu.br:8080/bitstream/123456789/331/1/TFC2_GRACIANO%20LUIZ%20BOROTTO_COM%20ASSINATURA.pdf. Acesso em: 12 jul. 2020

BRASIL. **Lei nº 4771, de 15 de setembro de 1965**. Institui o Novo Código Florestal. Revogada. Brasília, DF: Presidência da República, 1965. Com revogação posterior. Publicada originalmente no Diário Oficial da União: República Federativa do Brasil: Atos do Poder Legislativo, Brasília, DF, 16 set. 1965, retificado em 28 set. 1965. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l4771.htm. Acesso em: mar. 2020.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981**. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. Brasília, DF: Presidência da República, 1981. Com alterações posteriores. Publicada originalmente no Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil: seção 1: Poder Executivo, Brasília, DF, 2 set. 1981. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L6938compilada.htm. Acesso em: mar. 2020.

BRASIL. **Decreto nº 89.817, de 20 de junho de 1984**. Estabelece as instruções reguladoras das normas técnicas da cartografia nacional. Brasília, DF: Presidência da República, 1984. Com alterações posteriores. Publicado originalmente no Diário Oficial da União: República Federativa do Brasil: seção 1: Poder Executivo, Brasília, DF, p. 8884, 22 jun. 1984. Disponível em: <https://www2.camara.leg.br/legin/fed/decret/1980-1987/decreto-89817-20-junho-1984-439814-norma-pe.html>. Acesso em: mar. 2020.

BRASIL. **Lei nº 9605, de 12 de fevereiro de 1998**. Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências. Brasília, DF: Presidência da República, 1998. Com alterações posteriores. Publicada originalmente no Diário Oficial da União: República Federativa do Brasil: seção 1: Poder Executivo, Brasília, DF, 13 fev. 1998, retificada em 17 fev. 1998. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9605.htm. Acesso em: mar. 2020.

BRASIL. CONAMA. **Resolução nº 307, de 17 de julho de 2002**. Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. Brasília, DF: MMA, 2002. Com alterações posteriores. Publicada originalmente no Diário Oficial da União: República Federativa do Brasil: seção 1: Poder Executivo, Brasília, DF, n. 136, p. 95-96, 17 jul. 2002. Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=307>. Acesso em: mar. 2020.

BRASIL. Ministério da Defesa. **ICA 100-40**: aeronaves não tripuladas e o acesso ao espaço aéreo brasileiro. Brasília, DF: Ministério da Defesa/DECEA, 2020. 57 p. Aprovada através da Portaria DECEA n. 112/DGCEA, 22 mai. 2020. Disponível em: <https://publicacoes.decea.gov.br/?i=publicacao&id=5250>. Acesso em: jul. 2020.

BRASIL. Ministério da Defesa. Exército Brasileiro. **EB80-N-72.001**: norma para especificação técnica para produtos de conjunto de dados geoespaciais (ET-PCDG).

2.ed. Brasília, DF: Exército Brasileiro, 2016. 195 p. Aprovada através da Portaria n. 008 - DCT, 10 fev. 2016. Disponível em: <http://www.geoportal.eb.mil.br/portal/inde2?id=134>. Acesso em: mar. 2020.

BRASIL. Ministério da Defesa. **MCA 56-1**: aeronaves tripuladas para uso exclusivo em apoio às situações emergenciais. Brasília, DF: Ministério da Defesa/DECEA, 2020. 30 p. Aprovada através da Portaria n. 110/DGCEA, 22 mai, 2020. Disponível em: <https://publicacoes.decea.gov.br/?i=publicacao&id=5249>. Acesso em: jul. 2020.

BRASIL. Ministério da Defesa. **MCA 56-2**: aeronaves tripuladas para uso recreativo - aeromodelos. Brasília, DF: Ministério da Defesa/DECEA, 2020. 32 p. Aprovada através da Portaria n. 113/DGCEA, 22 mai, 2020. Disponível em: <https://publicacoes.decea.gov.br/?i=publicacao&id=5248>. Acesso em: jul. 2020.

BRASIL. Ministério da Defesa. **MCA 56-3**: aeronaves tripuladas para uso em proveito dos órgãos ligados aos governos federal, estadual ou municipal. Brasília, DF: Ministério da Defesa/DECEA, 2020. 31 p. Aprovada através da Portaria n. 109/DGCEA, 22 mai, 2020. Disponível em: <https://publicacoes.decea.gov.br/?i=publicacao&id=5247>. Acesso em: jul. 2020.

BRASIL. Ministério da Defesa. DECEA. **DRONE/RPAS SARPAS**. Brasília, DF: Ministério da Defesa/DECEA, [2019?]. 1 portal. Disponível em: <https://servicos.decea.gov.br/sarpas>. Acesso em: mar. 2020.

BRASIL. [Constituição (1988)]. **Constituição da República Federativa do Brasil de 1988**. Brasília, DF: Presidência da República, 1988. Com alterações posteriores. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm. Acesso em: mar. 2020.

BRASIL. **Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010**. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, altera a Lei nº 9.605, de 12 fevereiro de 1998; e dá outras Providências. Brasília, DF: Presidência da República, 2010. Com alterações posteriores. Publicada originalmente no Diário Oficial da União: República Federativa do Brasil: seção 1: Poder Executivo, Brasília, DF, p. 2, 3 ago. 2010. Disponível em: http://legislacao.planalto.gov.br/legisla/legislacao.nsf/Viv_Identificacao/lei%2012.305-2010?OpenDocument. Acesso em: mar. 2020.

CÂMARA, G. et al. **Anatomia de sistemas de informação geográfica**. [São José dos Campos]: INPE, 1996. 205 p. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/anatomia.pdf>. Acesso em: mar. 2020.

CAMPITELI, M. **Aprenda a gerar a curva de nível perfeita**. DronEng - Drones e Engenharia. 2016. Disponível em: <https://blog.droneng.com.br/geracao-das-curvas-de-nivel-atraves-da-malha-de-triangulos/>. Acesso em: 12 Jul. 2020.

CARVALHO, E. A; ARAÚJO, P.C. Forma e dimensões da terra. *In*: CARVALHO, E.A; ARAÚJO, P.C. **Leituras cartográficas e interpretações estatísticas I**: geografia. Natal, RN: EDUFRN, c2008. 20 p. Disciplina: Leituras cartográficas e interpretações estatísticas I, Aula 6. Programa Universidade à Distância (UNIDIS Grad). Disponível em:

http://www.ead.uepb.edu.br/ava/arquivos/cursos/geografia/leituras_cartograficas/Le_Ca_A06_J_GR_260508.pdf. Acesso em: mar. 2020.

CASSEMIRO, Guilherme Henrique Medeiros; PINTO, Hugo Borges. **Composição e Processamento de Imagens Aéreas em Alta Resolução obtidas com Drone**. Brasília, 2014. 81 p. Monografia (Especialização) – Curso de Engenharia Eletrônica, Universidade de Brasília - UNB, Brasília, 2014. Disponível em: http://fga.unb.br/articles/0000/7527/TCC2_GuilhermeCassemiro_090115465_e_HugoBorges_090116461.pdf. Acesso em: 12 jul. 2020.

DE OLIVEIRA, Roberto Neres Quirino; DA SILVA, Daniel Carneiro. **Sistemas de Projeção Transversa de Mercator no Georreferenciamento de Imóveis Rurais**. Recife, p. 002-007, Maio 2012. Trabalho apresentado no IV Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Informação. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Daniel-Silva-66/publication/266280713_SISTEMAS_DE_PROJECAO_TRANSVERSA_DE_MERCATOR_NO_GEOREFERENCIAMENTO_DE_IMOVEIS_RURALS/links/5565c34608ae06101abea7e6/SISTEMAS-DE-PROJECAO-TRANSVERSA-DE-MERCATOR-NO-GEOREFERENCIAMENTO-DE-IMOVEIS-RURALS.pdf Acesso em: dez. 2021.

DJI. **Phantom 4 Pro**. Shenzhen: DJI, c2020. 1 catálogo online. Disponível em: <https://www.dji.com/br/phantom-4-pro/info#specs>. Acesso em: mar. 2020.

DOS SANTOS, Daniel Rodrigues. **Fotogrametria I** (1ª Edição). Capítulo 3. Curso de Engenharia Cartográfica. (Apostila de Sala de Aula). 2013. Universidade Federal do Paraná (UFPR). Disponível em: https://docs.ufpr.br/~danielsantos/FS-capIII_A5.pdf. Acesso em dez. 2021.

Dronedeploy. **Drone Mapping Software** Versão 3.0, 2018. Disponível em <http://www.dronedeploy.com> Acesso em: 22 jul. de 2020.

EISENBEISS, Henri. VANT Photogrammetry. Zurich, University of Technology Dresden. Doctor of Sciences, 2009. 237 p.

EIProcus. **Light Detection and Ranging System**. Hyderabad, India, EIProcus, c2020. Disponível em: <https://www.elprocus.com/lidar-light-detection-and-ranging-working-application/>. Acesso em: 12 jul. 2020.

ESPÍNDULA, A. **Perícia criminal e cível**: uma visão geral para peritos e usuários da perícia. 3. ed. Campinas, SP: Millennium, 2009. 446 p. ISBN 85-762-5188-0.

FITZ, P.R. **Cartografia básica**. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2008. 144 p. ISBN 978-85-86238-76-5

FLORENZANO, T.G. **Iniciação em sensoriamento remoto**. 3. ed. ampl e atual. São Paulo: Oficina de Textos, 2011. 123 p. ISBN 978-85-7975-016-8

FRANCO, T.P.L. **Uso do sistema LiDAR na geração de MDT e sua exatidão cartográfica**. Orientador: Prof. Dr. Marcos Antônio Timbó Elmiro. 2006. 48 f. Monografia (Especialização em Geoprocessamento) - Departamento de Cartografia,

Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Belo Horizonte, 2006. Disponível em: <http://www.csr.ufmg.br/geoprocessamento/publicacoes/TarcisioPeter.pdf>. Acesso em: mar. 2020.

GALVÃO, G.M. **Acurácia da mosaicação gerada por veículo aéreo não tripulado utilizado na agricultura de precisão**. Orientador: Prof. Dr. David Luciano Rosalen. 2014. 39 p. Trabalho [de Conclusão de Curso] (Graduação [Bacharelado] em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista (UNESP), Jaboticabal, 2014. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/handle/11449/119194>. Acesso em: mar. 2020.

Georeference. **Diferenças entre GPS de Navegação e Geodésico**. Disponível em: <http://georeference.blogspot.com/2010/05/diferencas-entre-gps-de-navegacao-e.html>. Acesso em: 12 jul. 2020.

GRAHAM, R.; KOH, A. **Digital aerial survey: theory and practice**. Latheronwheel, UK: Whittles Publishing, 2002. 352 p. ISBN 978-0849316012

HARDIN, P.J.; JACKSON, M.W. An unmanned aerial vehicle for rangeland photography. **Rangeland Ecology and Management: Journal of Range Management Archives**, Wheat Ridge, CO, v. 58, n. 4, p. 439-442, July 2005. Disponível em: <https://journals.uair.arizona.edu/index.php/jrm/article/view/19100>. Acesso em: mar. 2020.

IBRAHIN, F.I.D. **Introdução ao geoprocessamento ambiental**. 1.ed. São Paulo: Érica: Saraiva, 2014. 128 p. (Série Eixos: Recursos Naturais). ISBN 978-85-36508-36-8

IBGE. **Noções básicas de cartografia**. Rio de Janeiro: IBGE, 1999. 2 v. (Manuais Técnicos em Geociências, n. 8). Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/index.php/biblioteca-catalogo?view=detalhes&id=281661>. Acesso em: mar. 2020.

Instituto-Geral de Perícias. **Estrutura Organizacional do Instituto-Geral Perícias**. 2020. Disponível em: <https://igp.rs.gov.br/estrutura-organizacional>. Acesso em: 12 jul. 2020.

PGP. **Procedimento Geral de Perícias Desktop – Instituto-Geral de Perícias (2020)**. Versão 15.00.01 Copyright 1997-2014 - PROCERGS

JENSEN, J. R. **Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. Tradução da 2. ed. [por] José Carlos Neves Epiphanyo *et al.* São José dos Campos, SP: Parêntese, 2009. 598 p. Título original: Remote sensing of the environment: an earth resource perspective. 2nd. ed. ISBN 978-85-60507-06-1.

KRAEMER, Maria Elisabeth Pereira. **A questão ambiental e os resíduos industriais**. In: XXV ENEGEP, 2005, Porto Alegre/RS. Disponível em <<http://www.artigocientifico.com.br>> Acesso em: 05 maio de 2019.

LIMA, A. F. D. O.; SABIÁ, R.J.; TEIXEIRA, R.N.P.; JÚNIOR, F.A.V. Gestão de resíduos eletroeletrônicos e seus impactos na poluição ambiental. **Latin American of Business Management (LAJBM)**, Taubate, SP, v, 6, n. 2, p. 109-126, jan./jun. 2015. Disponível em: <https://www.lajbm.com.br/index.php/journal/article/view/256/0>. Acesso em: mar. 2020.

MELLO, C.C.S; SALIM, D.H.C; TEIXEIRA, L.P.T. Uso de VANT como ferramenta auxiliar na gestão integrada de aterros sanitários. **Brucher Engineering Proceedings**, São Paulo, v. 4, n. 2, p. 2292-2302, July 2017. Trabalho apresentado no 9º Simpósio Brasileiro de Engenharia Ambiental (SBEA), 15º Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Ambiental (ENEEAmb); 3º Fórum Latino Americano de Engenharia e Sustentabilidade (FLES), Belo Horizonte, 2017. Disponível em: <https://www.proceedings.blucher.com.br/article-details/uso-de-vant-como-ferramenta-auxiliar-na-gesto-integrada-de-aterros-sanitrios-27459>. Acesso em: mar. 2020.

MITISHITA, E.; EDUARDO, J.; GRAÇA, N.; CENTENO, J.; MACHADO, A. O uso de veículos aéreos não tripulados (VANTs) em aplicações de mapeamento aerofotogramétrico. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA, 26.; CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOPROCESSAMENTO, 5., 2014, Gramado. **Anais** [...]. Disponível em: <https://docplayer.com.br/10616752-O-uso-de-veiculos-aereos-nao-tripulados-vants-em-aplicacoes-de-mapeamento-aerofotogrametrico.html>. Acesso em: mar. 2020.

MONICO, J.F.G. **Posicionamento pelo NAVSTAR-GPS**: descrição, fundamentos e aplicações. 1.ed. São Paulo: Ed. UNESP, 2000. 287 p. ISBN 85-7139-328-1

MOUTINHO, O.; RODRIGUES, A.; GONÇALVES, J.A.; SOUSA, J.J.; BENTO, R. Estudo comparativo de software fotogramétrico em diferentes ambientes com RPAS: comercial vs. open source. *In*: CONFERÊNCIA NACIONAL DE CARTOGRAFIA E GEODESIA (CCNG), 8., 2015, Porto, PT. **Comunicações** [...]. Lisboa, PT: Ordem dos Engenheiros, 2015. Seção técnica 7.1: Fotogrametria: técnicas e processos. 8 p. Tema: Informação geoespacial para as gerações futuras: oportunidades e desafios. ISBN: 978-989-8152-10-7. Disponível em: https://viiicncg.ordemengenheiros.pt/fotos/editor2/VIIICNCG/cncg2015_comunicao_43.pdf. Acesso em: mar. 2020.

MULLER, M. **Avaliação da Influência da configuração de voo para aquisição de dados LIDAR na qualidade das variáveis florestais extraídas em florestas plantadas**. Orientador: Prof. Dr. Nelson Y. Nakajima. 2013. 179 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná (UFPR), Curitiba, 2013. Área de concentração: manejo florestal. Disponível em: <https://acervodigital.ufpr.br/handle/1884/34631>. Acesso em: mar. 2020.

NAVARRO, J. D. et al. **Índices de vegetação para imagens capturadas por veículos aéreos não tripulados**. *In*: XSBIAGRO, 10., 2015. Universidade Estadual de Ponta Grossa. Anais... Ponta Grossa, 2015. Disponível em: http://eventos.uepg.br/sbiagro/2015/anais/SBIAGro2015/pdf_resumos/6/6_jorge_davi_navarro_235.pdf. Data de acesso: jul. 2020.

PEGORARO, A.J.; GUBIANI, J.S.; PHILIPS, J.W. **Veículo aéreo não tripulado: uma ferramenta de auxílio na gestão pública**. In: SID: SIMPÓSIO ARGENTINO DE INFORMATICA Y DERECHO, 11.; JAIIO: JORNADA ARGENTINA DE INFORMÁTICA, 42., 2013, Córdoba. **Anales del [...]**.

Buenos Aires: SADIO, 2013. Contribuciones, p. 176-187. Disponível em: http://42jaiio.sadio.org.ar/proceedings/simposios/SID_Contribuciones.htm. Acesso em: mar. 2020.

PHILIPPI JR., A.; ROMÉRO, M. A.; BRUNA, G. C. (ed.). **Curso de gestão ambiental**. 2.ed. atual. ampl. Barueri, SP: Manole, 2014. (Coleção Ambiental, v.13) ISBN 978-85-204-4320-0

Renderarquitectura.mx. **¿Que es fotogrametria?**, 2020. Disponível em: <https://www.renderarquitectura.mx/post/que-es-fotogrametr%C3%ADa>. Acesso em: 12 jul. 2020.

RIO GRANDE DO SUL. Instituto-Geral de Perícias. **Laudo Pericial nº 113600/2018**. Registro em: 3 set. 2018.

RIO GRANDE DO SUL. [Constituição (1989)]. **Constituição do Estado do Rio Grande [1989]**: texto constitucional de 3 de outubro de 1989 com as alterações adotadas pelas Emendas Constitucionais de n.º 1, de 1991, a 78, de 2020. Porto Alegre: Assembleia Legislativa do Estado, 2020. Com alterações publicadas no DOE e DOAL, 1989-2020. Disponível em:

<http://www2.al.rs.gov.br/dal/LinkClick.aspx?fileticket=AixRs5bbgtw%3d&tabid=3683&mid=5359>. Acesso em: mar. 2020.

RIO GRANDE DO SUL. Emenda Constitucional n. 19 [16 de julho de 1997]. Introduz alterações no inciso III do artigo 124, no título da seção IV e na redação do artigo 136 da Constituição do Estado do Rio Grande do Sul. **Diário Oficial [do] Estado**, Porto Alegre, n. 134, p. 38, 17 jul. 1997. Disponível em: http://www.al.rs.gov.br/legis/M010/M0100018.asp?Hid_IdNorma=8306. Acesso em: mar. 2020.

ROCHA, R. S. **Exatidão cartográfica para cartas digitais urbanas**. Orientador: Prof. Dr. Ing. Jurgen W. Philips. 2002. 127 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Florianópolis, 2002. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/82527>. Acesso em: mar. 2020.

RODRIGUES, Ângela Cássia. **Resíduos de Equipamentos Elétricos e Eletrônicos: Alternativas de Política e Gestão**. 2003. Biblioteca da Escola de Sociologia e Política de SP.

SANTOS, S. D. R. et al. **Considerações sobre a utilização do PEC (Padrão de Exatidão Cartográfica) nos dias atuais**. In: SIMGEO: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS GEODÉSICAS E TECNOLOGIAS DA GEOINFORMAÇÃO, 3., 2010, Recife. **Anais [...]**. Recife: UFPE, 2010, p. 1-5. Disponível em: http://www.rc.unesp.br/igce/planejamento/download/isabel/sist_inf_geografica2013/Aula3/pec_nos_dias_atuais.pdf. Acesso em: mar. 2020.

SEBER, G. **Satellite geodesy: foundations, methods and applications**. 2.nd compl. rev. ext. ed. Berlin: Walter de Gruyter, 2003. 589 p. Disponível em: <http://www.geokniga.org/bookfiles/geokniga-seeber-g-satellite-geodesy-2003.pdf>. Acesso em: mar. 2020.

SILVA, Alessandra Cristina. **Tratamento do percolado de aterro sanitário e avaliação da toxicidade do efluente bruto e tratado**. 2002. 111 f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Engenharia Civil, COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, Rio de Janeiro, 2002. Disponível em: http://www.snatural.com.br/PDF_arquivos/Efluente-Tratamento-Chorume.pdf. Acesso em: 12 jul. 2020

SILVA, P.T. Copernicanismo, autonomia científica e autoridade religiosa em Marin Mersenne. **Scientiae Studia**, São Paulo, v.2, n.2, p. 239-50, Apr./June 2004. Seção Documentos Científicos. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1678-31662004000200005. Acesso em: mar. 2020.

SILVA, E.S.C. A autonomia funcional, técnica e científica dos peritos oficiais de natureza criminal após o advento da Lei nº12.030/2009. **Revista Jus Navigandi**, Teresina, ano 14, n. 2323, 10 nov. 2009. ISSN 1518-4862. Disponível em: <https://jus.com.br/artigos/13826/a-autonomia-funcional-tecnica-e-cientifica-dos-peritos-oficiais-de-natureza-criminal-apos-o-advento-da-lei-n-12-030-2009>. Acesso em: mar. 2020.

SILVA, Eristelma Teixeira de Jesus Barbosa. Veículos aéreos não tripulados: panorama atual e perspectivas para o monitoramento de atividades ilícitas na Amazônia. In: **Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR)**, 16, 2013, Foz do Iguaçu. Anais... São José dos Campos: INPE, 2013. Artigos, p. 9324-9331. CD-ROM, On-line. Disponível em: <http://marte2.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/marte2/2013/05.29.00.53.37/doc/p1457.pdf>. Acesso em: 12 jul. 2020.

SILVA, J.E.C.F; BOTELHO, M.F. Cadastro ambiental rural utilizando imagem de drone aerofotogramétrico. **Revista Agrogeoambiental**, Porto Alegre, v. 9, n. 2, p. 73-83, abr./jun. 2017. Disponível em: <https://agrogeoambiental.ifsuldeminas.edu.br/index.php/Agrogeoambiental/article/view/963>. Acesso em: mar. 2020.

SILVA, W. F.; SILVA, L.S.; MALTA, E.A.; GONDIM, R.O; WARREN, M.S. Avaliação de uso de veículo aéreo não tripulado (VANT) em atividades de fiscalização da Agência Nacional de Águas. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO (SBSR), 17., 2015, João Pessoa. **Anais online** [...]. São José dos Campos: INPE, 2015. p. 1791-1798. Disponível em: <http://marte2.sid.inpe.br/rep/sid.inpe.br/marte2/2015/06.15.14.58.12>. Acesso em: mar. 2020.

SIQUEIRA, R. M. **Estudo sobre a exatidão de bases cartográficas digitais**. Orientadora: Prof. Dra. Maria Teresa Françoso. 2003. 149 f. Dissertação (Mestrado

em Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), Campinas, 2003. Disponível em: <http://www.repositorio.unicamp.br/handle/REPOSIP/258616>. Acesso em: mar. 2020.

SISSINO, C. L. S. Disposição em aterros controlados de resíduos sólidos industriais não inertes: avaliação dos componentes tóxicos e implicações para o ambiente e para a saúde humana. **Cadernos de Saúde Pública**, Rio de Janeiro, v. 19, n 2, p. 369-374, mar./apr. 2003. Disponível em: <http://www6.ensp.fiocruz.br/repositorio/resource/352433>. Acesso em: mar. 2020.

TOMMASELLI, A. M. G. Introdução. In: TOMMASELLI, A. M. G. **Fotogrametria básica**. Santa Catarina: UDESC, 2009. Cap. 1, p. 1-14. Disponível em: faed.udesc.br/arquivos/id_submenu/891/introducao_a_fotogrametria.pdf Acesso em: jul. 2020.

VELHO, J.A; GEISER, G.C; ESPÍNDULA, A. Introdução às ciências forenses. *In*: VELHO, J.C; GEISER, G.C; ESPÍNDULA, A. (org.). **Ciências forenses**: uma introdução às principais áreas da criminalística moderna. 3. ed. rev., atual. e ampl. Campinas: Millennium, 2017. Cap. 1, p. 8-17. (Criminalística Premium).

Vertente Engenharia – Agrimensura, Topografia, Geodésia e Avaliações. **Georreferenciamento de Imóvel Rural**. Manhuaçu/MG, Vertente Engenharia, c2020. Disponível em: <http://vertenteengenharia.com.br/#servico>. Acesso em: 12 jul. 2020.

APÊNDICE A – Relatório Final Processamento – Vacaria

RelatorioOtimização

**Processing Report
14 May 2019**



Survey Data

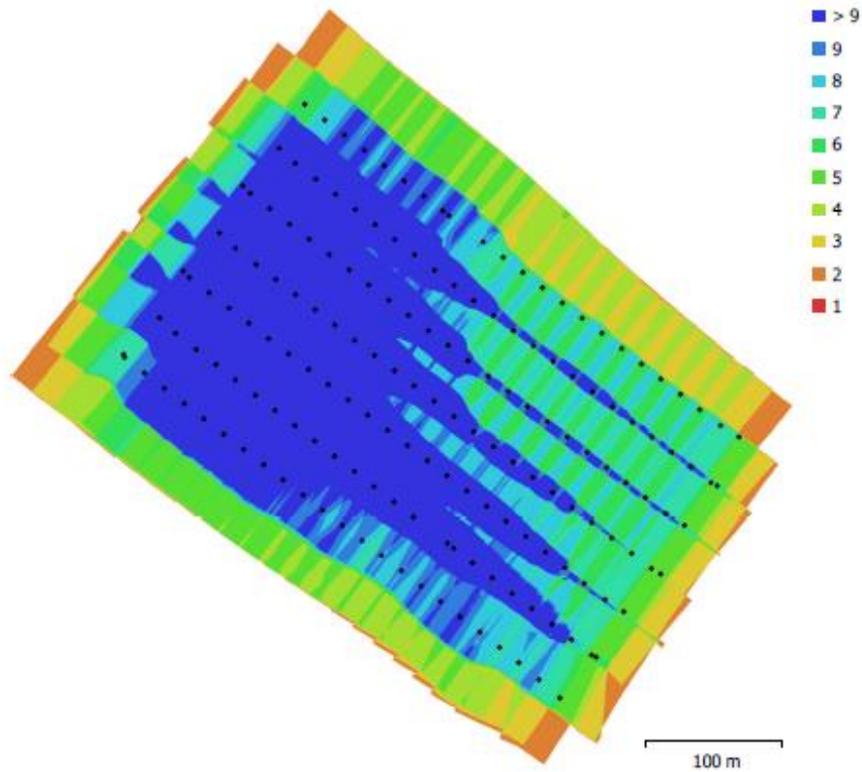


Fig. 1. Camera locations and image overlap.

Number of images:	168	Camera stations:	167
Flying altitude:	80.6 m	Tie points:	358,129
Ground resolution:	2.16 cm/pix	Projections:	1,104,922
Coverage area:	0.163 km ²	Reprojection error:	0.537 pix

Camera Model	Resolution	Focal Length	Pixel Size	Precalibrated
FC6310 (8.8mm)	4864 x 3648	8.8 mm	2.61 x 2.61 um	Não

Table 1. Cameras.

Calibração da Câmera

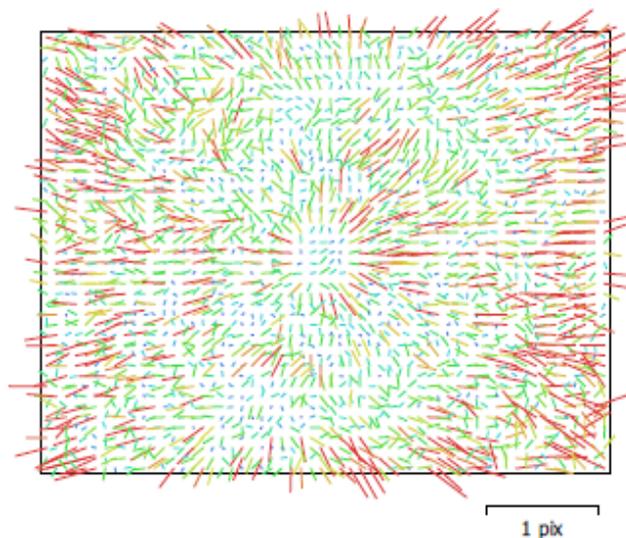


Fig. 2. Image residuals for FC6310 (8.8mm).

FC6310 (8.8mm)

168 images

Type Resolution Focal Length Pixel Size
Frame 4864 x 3648 8.8 mm 2.61 x 2.61 um

	Valor	Error	Cx	Cy	B1	B2	K1	K2	K3	K4	P1	P2
F	3372.58											
Cx	-0.312032	0.048	1.00	-0.13	-0.04	0.04	0.01	-0.00	0.00	0.00	0.41	-0.02
Cy	9.13407	0.042		1.00	-0.00	-0.01	-0.01	0.00	-0.01	0.01	-0.03	0.52
B1	14.3712	0.058			1.00	-0.01	0.01	-0.00	0.01	-0.01	-0.03	-0.00
B2	-7.95235	0.059				1.00	0.02	0.00	-0.00	0.00	0.02	-0.02
K1	0.0083867	7.9e-005					1.00	-0.97	0.92	-0.88	0.01	-0.01
K2	-0.0543568	0.00037						1.00	-0.99	0.96	0.01	0.00
K3	0.0883602	0.00071							1.00	-0.99	-0.01	-0.00
K4	-0.0492977	0.00046								1.00	0.01	0.00
P1	0.000745034	2.7e-006									1.00	-0.02
P2	-0.000177601	2.9e-006										1.00

Table 2. Calibration coefficients and correlation matrix.

Camera Locations

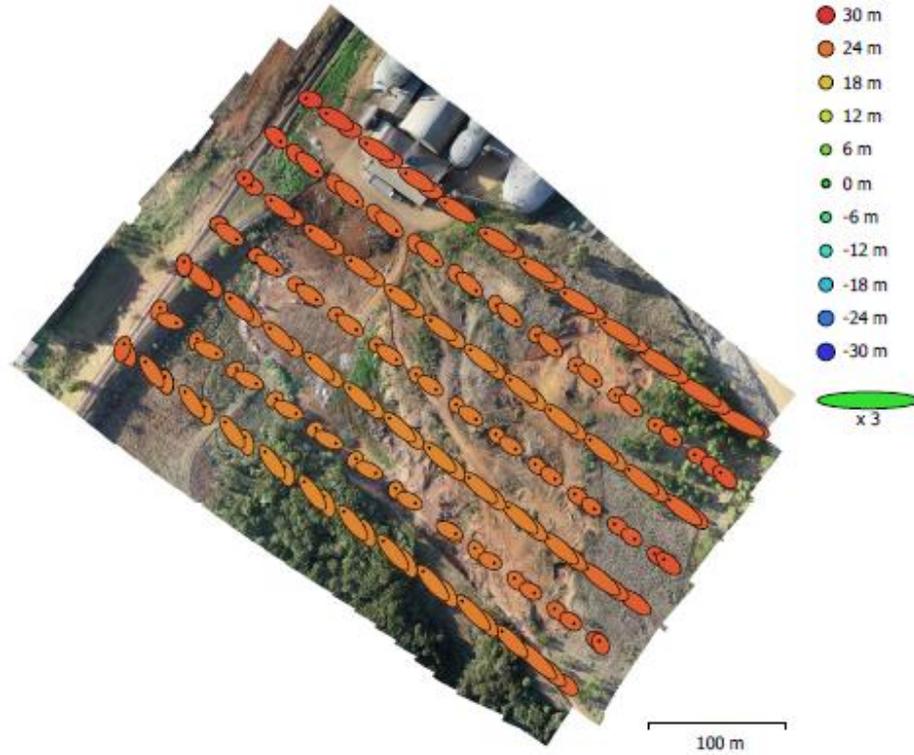


Fig. 3. Camera locations and error estimates.
 Z error is represented by ellipse color. X,Y errors are represented by ellipse shape.
 Estimated camera locations are marked with a black dot.

X error (m)	Y error (m)	Z error (m)	XY error (m)	Total error (m)
3.26953	2.79178	24.5364	4.29929	24.9102

Table 3. Average camera location error.
 X - Easting, Y - Northing, Z - Altitude.

Ground Control Points



Fig. 4. GCP locations and error estimates.

Z error is represented by ellipse color. X,Y errors are represented by ellipse shape.
 Estimated GCP locations are marked with a dot or crossing.

Número	X error (m)	Y error (m)	Z error (m)	XY error (m)	Total (m)
6	0.240446	0.117881	0.369144	0.267787	0.456045

Table 4. Control points RMSE.
 X - Easting, Y - Northing, Z - Altitude.

Número	X error (m)	Y error (m)	Z error (m)	XY error (m)	Total (m)
3	0.562575	0.601145	1.3407	0.823326	1.57332

Table 5. Check points RMSE.
 X - Easting, Y - Northing, Z - Altitude.

Rótulo	X error (m)	Y error (m)	Z error (m)	Total (m)	Imagem (pix)
HV1	-0.0119031	0.103212	-0.460299	0.471878	0.298 (13)
HV2	0.164798	-0.101013	0.401639	0.445731	0.580 (7)
HV3	-0.382913	0.19554	-0.508327	0.665774	0.776 (6)
HV4	-0.0373729	0.000174303	0.0722691	0.0813608	0.277 (6)
HV5	-0.122999	-0.03575	0.419022	0.438162	0.448 (15)
HV6	0.39552	-0.151673	0.0722228	0.429717	0.679 (12)
Total	0.240446	0.117881	0.369144	0.456045	0.523

Table 6. Control points.

X - Easting, Y - Northing, Z - Altitude.

Rótulo	X error (m)	Y error (m)	Z error (m)	Total (m)	Imagem (pix)
CH1	0.192782	0.313937	1.06446	1.12641	0.340 (20)
CH2	-0.93349	-0.762545	1.6753	2.06386	0.498 (12)
CH3	-0.202246	0.635684	-1.20529	1.37758	0.706 (8)
Total	0.562575	0.601145	1.3407	1.57332	0.482

Table 7. Check points.

X - Easting, Y - Northing, Z - Altitude.

Digital Elevation Model

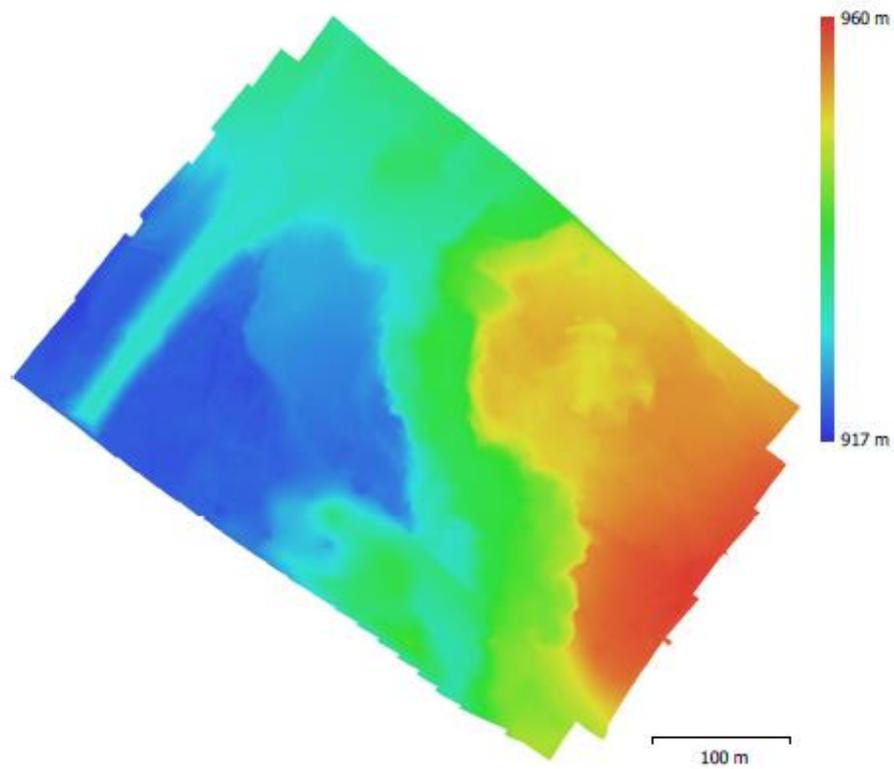


Fig. 5. Reconstructed digital elevation model.

Resolution: 8.66 cm/pix
Point density: 133 points/m²

Processing Parameters

Geral	
Câmaras	168
Aligned cameras	167
Marcadores	10
Shapes	
Polylines	58
Polygons	87
Coordinate system	SIRGAS 2000 / UTM zone 22S (EPSG::31982)
Rotation angles	Yaw, Pitch, Roll
Nuvem de Pontos	
Pontos	358,129 of 401,597
RMS reprojection error	0.191247 (0.537097 pix)
Max reprojection error	5.38539 (12.2915 pix)
Mean key point size	3.05011 pix
Cores dos pontos	3 bands, uint8
Key points	Não
Average tie point multiplicity	3.40109
Parâmetros de alinhamento	
Precisão	Elevada
Generic preselection	Sim
Reference preselection	Sim
Key point limit	40,000
Tie point limit	10,000
Filter points by mask	Sim
Mask tie points	Não
Adaptive camera model fitting	Sim
Matching time	13 minutes 54 seconds
Alignment time	2 minutes 54 seconds
Optimization parameters	
Parâmetros	b1, b2, cx, cy, k1-k4, p1, p2
Adaptive camera model fitting	Não
Optimization time	17 seconds
Mapas de Profundidade	
Número	167
Parâmetros de reconstrução	
Qualidade	Média
Filtering mode	Aggressive
Tempo de processamento	1 hours 34 minutes
Dense Point Cloud	
Pontos	26,737,776
Cores dos pontos	3 bands, uint8
Parâmetros de reconstrução	
Qualidade	Média
Depth filtering	Aggressive
Depth maps generation time	1 hours 34 minutes
Dense cloud generation time	8 minutes 58 seconds
Modelo	
Faces	1,754,697
Vértices	879,766
Cores dos vértices	3 bands, uint8

Geral**Parâmetros de reconstrução**

Surface type	Mapa de alturas / Terreno
Source data	Dense
Interpolation	Enabled
Qualidade	Média
Depth filtering	Aggressive
Número de faces	1,782,518
Tempo de processamento	1 minutes 12 seconds

DEM

Tamanho	8,417 x 8,191
Coordinate system	SIRGAS 2000 / UTM zone 22S (EPSG::31982)

Parâmetros de reconstrução

Source data	Mesh
Interpolation	Enabled
Tempo de processamento	1 minutes 36 seconds

Orthomosaic

Tamanho	26,512 x 25,252
Coordinate system	SIRGAS 2000 / UTM zone 22S (EPSG::31982)
Colors	3 bands, uint8

Parâmetros de reconstrução

Modo de combinação	Mosaico
Surface	DEM
Enable hole filling	Sim
Tempo de processamento	12 minutes 15 seconds

Software

Version	1.5.0 build 7492
Platform	Windows 64

APÊNDICE B – Relatório Final Processamento – Bom Jesus

RelatorioFinal

Processing Report

14 May 2019



Survey Data

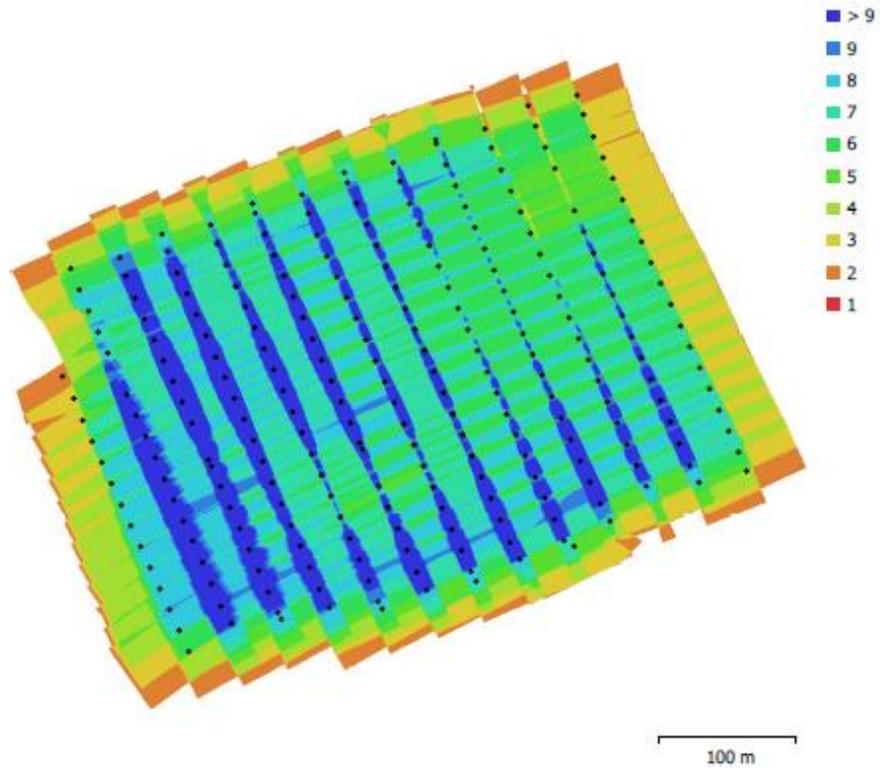


Fig. 1. Camera locations and image overlap.

Number of images:	246	Camera stations:	244
Flying altitude:	61.9 m	Tie points:	503,121
Ground resolution:	1.65 cm/pix	Projections:	1,189,872
Coverage area:	0.18 km ²	Reprojection error:	0.481 pix

Camera Model	Resolution	Focal Length	Pixel Size	Precalibrated
FC6310 (8.8mm)	4864 x 3648	8.8 mm	2.61 x 2.61 um	Não

Table 1. Cameras.

Calibração da Câmera

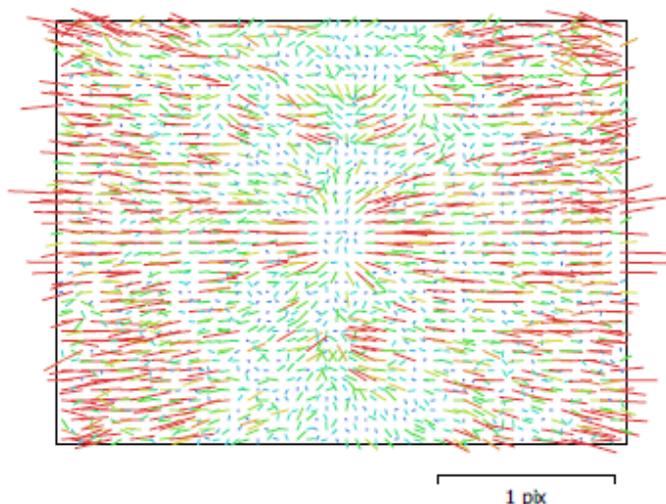


Fig. 2. Image residuals for FC6310 (8.8mm).

FC6310 (8.8mm)

246 images

Type	Resolution	Focal Length	Pixel Size
Frame	4864 x 3648	8.8 mm	2.61 x 2.61 um

	Valor	Error	F	Cx	Cy	B2	K1	K2	K3	K4	P1	P2
F	3426.2	3.4	1.00	0.75	0.27	0.07	0.36	-0.65	0.74	-0.78	0.28	-0.01
Cx	0.306089	0.14		1.00	0.22	0.06	0.27	-0.49	0.55	-0.59	0.31	0.02
Cy	5.42884	0.072			1.00	0.03	0.10	-0.17	0.20	-0.21	0.08	0.42
B2	5.22522	0.024				1.00	0.02	-0.04	0.05	-0.05	0.01	0.04
K1	0.0122897	5.8e-005					1.00	-0.92	0.84	-0.79	0.11	-0.00
K2	-0.0580513	0.00034						1.00	-0.98	0.96	-0.18	0.00
K3	0.0966481	0.00076							1.00	-0.99	0.21	-0.01
K4	-0.0547553	0.00054								1.00	-0.22	0.01
P1	0.000700835	2e-006									1.00	0.03
P2	-0.00027758	3.2e-006										1.00

Table 2. Calibration coefficients and correlation matrix.

Camera Locations

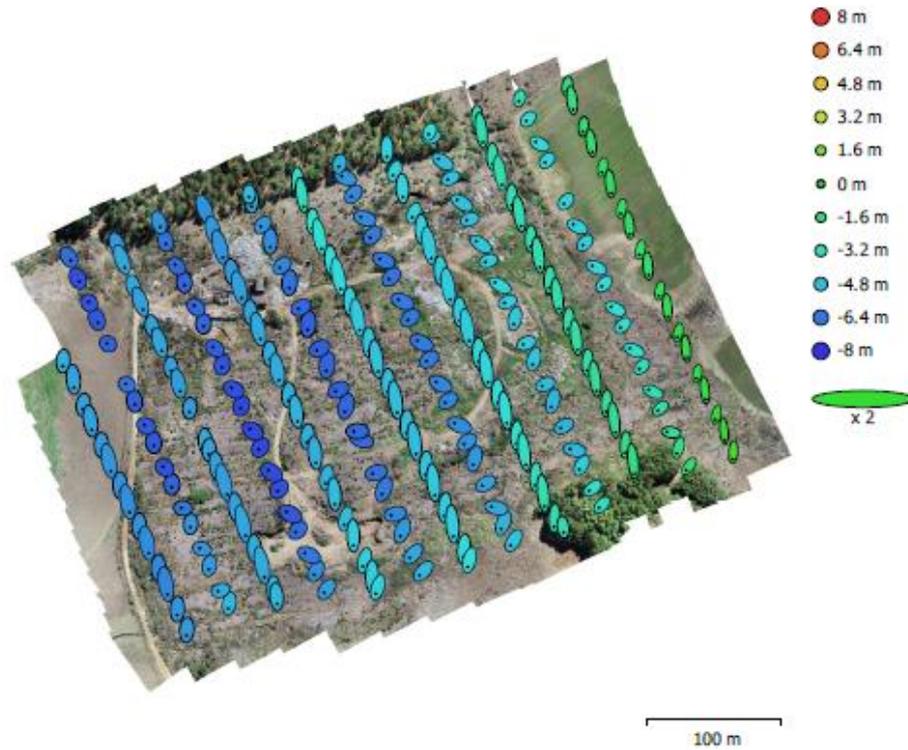


Fig. 3. Camera locations and error estimates.
 Z error is represented by ellipse color. X,Y errors are represented by ellipse shape.
 Estimated camera locations are marked with a black dot.

X error (m)	Y error (m)	Z error (m)	XY error (m)	Total error (m)
1.583	5.14911	4.96213	5.38695	7.32407

Table 3. Average camera location error.
 X - Easting, Y - Northing, Z - Altitude.

Ground Control Points

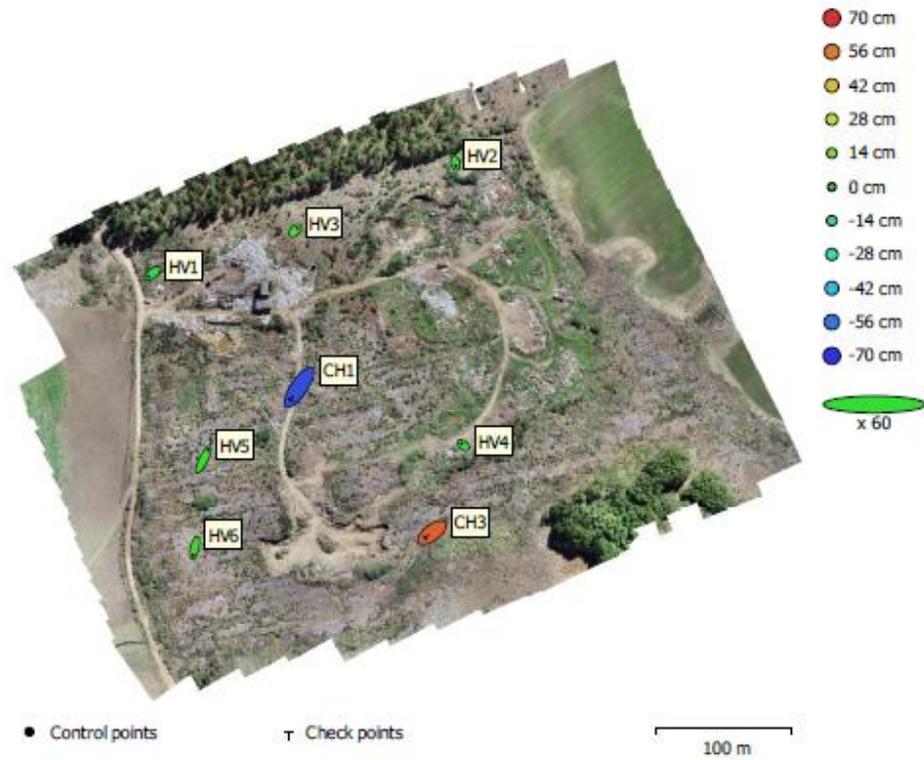


Fig. 4. GCP locations and error estimates.

Z error is represented by ellipse color. X,Y errors are represented by ellipse shape.
 Estimated GCP locations are marked with a dot or crossing.

Número	X error (cm)	Y error (cm)	Z error (cm)	XY error (cm)	Total (cm)
6	7.30333	13.4092	3.00334	15.2691	15.5617

Table 4. Control points RMSE.
 X - Easting, Y - Northing, Z - Altitude.

Número	X error (cm)	Y error (cm)	Z error (cm)	XY error (cm)	Total (cm)
2	19.3966	24.4689	62.4597	31.2242	69.8295

Table 5. Check points RMSE.
 X - Easting, Y - Northing, Z - Altitude.

Rótulo	X error (cm)	Y error (cm)	Z error (cm)	Total (cm)	Imagem (pix)
HV1	-9.93642	-7.94547	-4.63743	13.5414	0.227 (8)
HV2	1.65208	-7.52657	-0.927337	7.76135	0.120 (7)
HV3	5.54894	5.42608	5.15158	9.31515	0.354 (8)
HV4	-4.81306	4.23101	-1.8096	6.65896	0.284 (7)
HV5	12.0012	24.0293	1.14984	26.8841	0.279 (11)
HV6	-4.53711	-18.2841	0.786669	18.8551	0.279 (12)
Total	7.30333	13.4092	3.00334	15.5617	0.270

Table 6. Control points.
X - Easting, Y - Northing, Z - Altitude.

Rótulo	X error (cm)	Y error (cm)	Z error (cm)	Total (cm)	Imagem (pix)
CH1	-20.9303	-31.9939	-64.1207	74.6536	0.225 (12)
CH3	-17.7306	-13.1848	60.7532	64.6464	0.162 (7)
Total	19.3966	24.4689	62.4597	69.8295	0.204

Table 7. Check points.
X - Easting, Y - Northing, Z - Altitude.

Digital Elevation Model

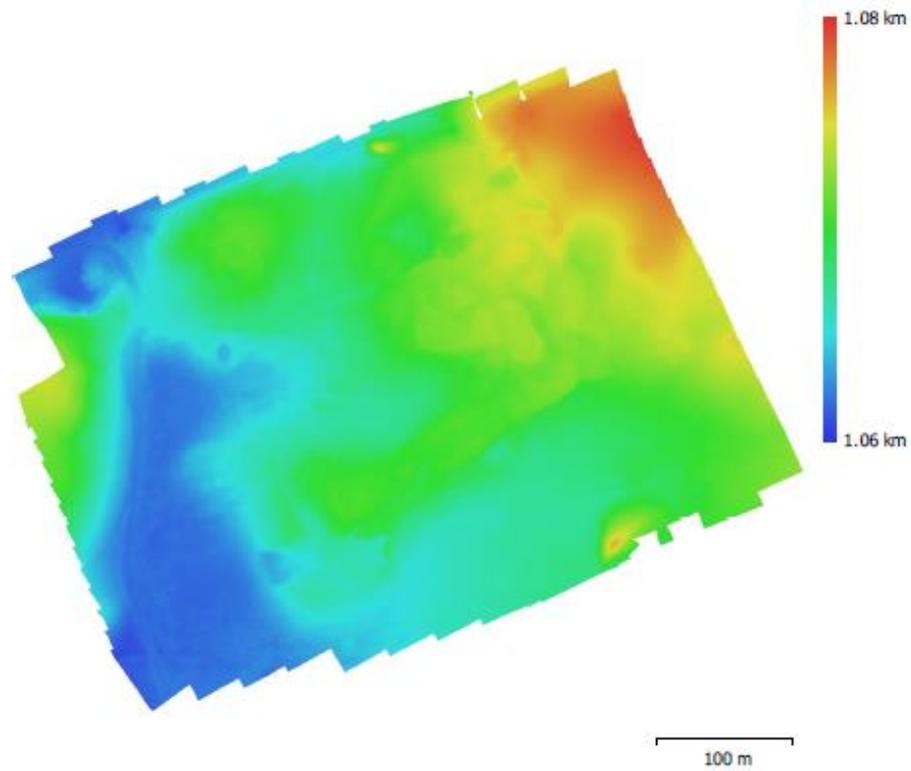


Fig. 5. Reconstructed digital elevation model.

Resolution: 6.59 cm/pix
Point density: 230 points/m²

Processing Parameters

Geral	
Câmaras	246
Aligned cameras	244
Marcadores	9
Coordinate system	SIRGAS 2000 / UTM zone 22S (EPSG::31982)
Rotation angles	Yaw, Pitch, Roll
Nuvem de Pontos	
Pontos	503,121 of 557,128
RMS reprojection error	0.126657 (0.48135 pix)
Max reprojection error	2.3978 (19.1831 pix)
Mean key point size	3.35504 pix
Cores dos pontos	3 bands, uint8
Key points	Não
Average tie point multiplicity	2.43805
Parâmetros de alinhamento	
Precisão	Elevada
Generic preselection	Sim
Reference preselection	Sim
Key point limit	40,000
Tie point limit	10,000
Filter points by mask	Sim
Mask tie points	Não
Adaptive camera model fitting	Sim
Matching time	19 minutes 29 seconds
Alignment time	3 minutes 27 seconds
Optimization parameters	
Parâmetros	f, b2, cx, cy, k1-k4, p1, p2
Adaptive camera model fitting	Não
Optimization time	44 seconds
Mapas de Profundidade	
Número	244
Parâmetros de reconstrução	
Qualidade	Média
Filtering mode	Aggressive
Tempo de processamento	51 minutes 5 seconds
Dense Point Cloud	
Pontos	46,883,148
Cores dos pontos	3 bands, uint8
Parâmetros de reconstrução	
Qualidade	Média
Depth filtering	Aggressive
Depth maps generation time	51 minutes 5 seconds
Dense cloud generation time	10 minutes 14 seconds
Modelo	
Faces	3,086,311
Vértices	1,546,949
Cores dos vértices	3 bands, uint8
Parâmetros de reconstrução	
Surface type	Mapa de alturas / Terreno
Source data	Dense

Geral	
Interpolation	Enabled
Qualidade	Média
Depth filtering	Aggressive
Número de faces	3,125,543
Tempo de processamento	2 minutes 32 seconds
DEM	
Tamanho	11,694 x 9,881
Coordinate system	SIRGAS 2000 / UTM zone 22S (EPSG::31982)
Parâmetros de reconstrução	
Source data	Mesh
Interpolation	Enabled
Tempo de processamento	2 minutes 50 seconds
Orthomosaic	
Tamanho	35,423 x 29,175
Coordinate system	SIRGAS 2000 / UTM zone 22S (EPSG::31982)
Colors	3 bands, uint8
Parâmetros de reconstrução	
Modo de combinação	Mosaico
Surface	DEM
Enable hole filling	Sim
Tempo de processamento	15 minutes 24 seconds
Software	
Version	1.5.0 build 7492
Platform	Windows 64