UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
FACULDADE DE SAÚDE PÚBLICA

TITO SOUZA FILIPPO LOPES

***Análise da aplicabilidade de sistema mini-VANT comercial no diagnóstico
da geração de resíduos de desastres no Brasil***

VERSÃO CORRIGIDA

SÃO PAULO

2018

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
FACULDADE DE SAÚDE PÚBLICA

TITO SOUZA FILIPPO LOPES

**Análise da aplicabilidade de sistema mini-VANT comercial no
diagnóstico da geração de resíduos de desastres no Brasil**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação Ambiente, Saúde e Sustentabilidade, da Faculdade de Saúde Pública, da Universidade de São Paulo, para obtenção do título de Mestre.

Orientadora:

Dra. Wanda Maria Risso Gunther

Co-orientador:

Dr. Pablo Luiz Maia Nepomuceno

VERSÃO CORRIGIDA

SÃO PAULO

2018

É expressamente proibida a comercialização desse documento, tanto na sua forma impressa quanto eletrônica. Sua reprodução, total ou parcial, é permitida exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, desde que na reprodução figure a identificação do autor, título, instituição e ano da dissertação.

Catálogo da Publicação

Serviço de documentação

LOPES, Tito

Análise da aplicabilidade de sistema mini-VANT comercial no diagnóstico da geração de resíduos de desastres no Brasil. Orientadora: Prof. Dr. Wanda Maria Risso Gunther.

Co-orientador: Dr. Pablo Luiz Maia Nepomuceno - São Paulo - 2018

104f.: il

Dissertação (Mestrado) - Universidade de São Paulo - 2018

FOLHA DE APROVAÇÃO

LOPES, Tito

Análise da aplicabilidade de sistema mini-VANT comercial no diagnóstico da geração de resíduos de desastres no Brasil.

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ambiente, Saúde e Sustentabilidade, da Faculdade de Saúde Pública, da Universidade de São Paulo, para a obtenção do título de Mestre em Ciências.

Aprovado em 30 /07 /2018

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dra. Wanda Maria Risso Gunther - FSP - USP (Presidente)

Profa.Dra. Cláudia Aparecida Soares Machado - SEMVINCULO (EP)

Profa. Dra. Jacqueline Rogeria Bringhenti - Externo

Prof. Dr. Fernando Shinji Kawakubo - FFLCH - USP

LOPES Tito, Análise da aplicabilidade de sistema mini-VANT comercial no diagnóstico da geração de resíduos de desastres no Brasil - Faculdade de Saúde Pública da Universidade de São Paulo

*Dedico esse trabalho aos meus inúmeros
financiadores, e espero poder lhes retribuir com
mais do que uma simples dedicatória.*

Agradecimentos

Agradeço a todos que participaram da minha vida paulistana dos últimos quatro anos, período de vivências e aprendizados tão valiosos!

Agradeço a minha família da Espanha e do Brasil (de Silveiras a Itu), mãe e irmãos, amigos do "altos", da "Efei", da ACCV, colegas de trabalho da A2J e do Desordem, colegas de mestrado, George e G-Drones, Ângela e Cláudia, professores e funcionários da POLI, FFLCH, da UNESP, da FSP e a minha orientadora Wanda e co-orientador Pablo. Agradeço, finalmente, a minha querida companheira Julia.

Resumo

LOPES, T.S.F. **Análise da aplicabilidade de sistema mini-VANT comercial no diagnóstico da geração de resíduos de desastres no Brasil.** 2018. 104 f. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Saúde Pública, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2018.

A necessidade de minimizar os impactos causados por desastres, e pelos resíduos sólidos neles gerados, motivaram o desenvolvimento da gestão de resíduos de desastres em todo o mundo. Plataformas de sensoriamento remoto orbital e aeronaves tripuladas vêm sendo empregadas no auxílio à gestão de desastres e de seus resíduos, ainda que de forma restrita a casos mais extremos. O desenvolvimento tecnológico dos veículos aéreos não tripulados (VANTs), em especial os modelos civis comerciais de baixo custo, e a formulação da legislação que trata do seu uso, tem viabilizado sua aplicação em distintas áreas, dentre elas o mapeamento de precisão. A fim de analisar a aplicabilidade dessas plataformas de auxílio ao diagnóstico da geração de resíduos de desastres, foram selecionados dois conjuntos fotografias previamente obtidos com um VANT comercial quadricóptero. Em seguida, foi realizado o processamento desses dados no PhotoScan, visando a geração de mapas informativos. Buscou-se analisar a capacidade de identificação, quantificação e caracterização dos resíduos sólidos dispostos nas áreas mapeadas. Aspectos legais, econômicos e técnicos associados ao uso da ferramenta foram contemplados, a fim de melhor fundamentar a aplicabilidade em questão. Os resultados indicaram relevante potencial de identificação e quantificação dos resíduos encontrados, e algumas limitações na capacidade de caracterizá-los. A atual legislação, e os aspectos econômicos e técnicos levantados favorecem a utilização de mini-VANT comercial para o uso proposto, ainda que de forma limitada à desastres onde a extensão afetada não seja demasiadamente extensa. A observância às boas práticas na escolha do equipamento, no planejamento e execução de voo são fundamentais para a geração de mapas informativos contendo o posicionamento, o volume estimado e a composição estimada dos montes de resíduos encontrados.

Palavras-chave: *Desastres, resíduos sólidos, resíduos de desastres, sensoriamento remoto, processamento de imagens, VANT.*

Abstract

LOPES, T.S.F. **Analysis of the applicability of commercial mini-VANT system in the diagnosis of disaster waste generation in Brazil.** 2018. 104 f. Dissertation (Master degree) - Faculdade de Saúde Pública, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2018.

The need to minimize the impacts caused by disasters, and the solid waste generated, motivated the development of methods and practices for the management of disaster residues all over the world. Orbital remote sensing platforms and manned aircraft have been used in the management of disasters and their residues, even though it restricts them to the most extreme cases. The technological development of unmanned aerial vehicles (UAVs), especially low-cost commercial civil models, and the formulation of legislation that deals with their use, has made their application viable in different areas, including precision mapping. In order to analyze the applicability of these platforms in aid of the diagnosis of disaster waste generation, two sets of photographs previously obtained with an "off the shelf" UAV were selected. Then, the processing of these data in PhotoScan was carried out, aiming at the generation of informative maps. It was sought to analyze the capacity of identification, quantification and characterization of the solid residues disposed in the mapped areas. Legal, economic and technical aspects associated to the use of the tool were contemplated, in order to better base the applicability on the question. The results indicated relevant potential of identification and quantification of the residues found, and some limitations in their capacity of characterization. The current legislation, and the economic and technical aspects raised favor the use of commercial mini-VANT for the proposed use, even though in a limited way to disasters where the affected extension is not too extensive. The observance of good practices in the choice of equipment, in the planning and execution of its execution are fundamental for the generation of informative maps containing the positioning, the estimated volume and the estimated composition of the amounts of residues found.

Keywords: *Disasters, solid waste, disaster residues, remote sensing, image processing, VANT.*

Lista de Siglas e Abreviaturas

AIC - Circular de Informações Aeronáuticas
ANAC - Agencia Nacional de Aviação Civil
ANATEL - Agencia Nacional de Telecomunicações
CEPED - Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres
COBRADE - Codificação Brasileira de Desastres
COTS - *Commercial Off-the-Shelf*
CRED - *Centre of Research on the Epidemiology of Disasters*
DAC - Departamento de Aviação Civil
DECEA - Departamento de Controle do Espaço Aéreo
DJI - *Da-Jiang Innovations*
DMATE - Declaração Municipal de Atuação Emergencial
DoD - *Department of Defense*
DP - Desvio Padrão
ECP - Estado de Calamidade Pública
EM-DAT - *The International Disasters Database*
EMQ - Erro Médio Quadrático
EP - Erro Padrão
ET-PCDG - Especificações Técnicas dos Produtos dos Conjuntos de Dados Geoespaciais
EUA - Estados Unidos da América
FAA - *Federal Aviation Administration*
FIDE - Formulário de Informações dos Desastres
GEE - Google Earth Engine
GPS - *Global Positioning System*
GSD - *Ground Sampling Distance*
HTOL - *Horizontal Take-off and Landing*
INDE - Infraestrutura Nacional de Dados espaciais
IR - *Infra-Red*
ISPRS - *International Society for Photogrammetry and Remote Sensing*
LIDAR - *Light Detection And Ranging*
MDE - Modelo Digital de Elevação
MDS - Modelo Digital de Superfície
MDT - Modelo Digital de Terreno
MIN - Ministério da Integração Nacional

MODIS - *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*

MP - *Mission Planner*

MRR - *Munich Reinsurance Research*

NIR - *Near Infra Red*

ODM - Objetivos de Desenvolvimento do Milênio

PEC - Padrão de Exatidão Cartográfica

PEC-PCD - Padrão de Exatidão Cartográfica para Produtos Cartográficos Digitais

PMGRS - Plano Municipal de Gerenciamento de Resíduos Sólidos

PNDC - Política Nacional de Defesa Civil

PNPDEC - Política Nacional de Proteção e Defesa Civil

PNRS - Política Nacional de Resíduos Sólidos

PSPE - Photo Scan Professional Edition

RBAC - Regulamento Brasileiro de Aviação Civil

RCC - Resíduos da Construção Civil

RGB - *Red, Green and Blue*

RMS - *Root Mean Square*

RPA - *Remotely Piloted Aerial Vehicle*

S2ID - Sistema Integrado de Informações sobre Desastres

SARPAS - Sistema de Acesso ao Espaço Aéreo Brasileiro

SCN - Sistema Cartográfico Nacional

SE - Situação de Emergência

SEDEC - Secretaria Nacional de Defesa Civil

SfM - *Structure from Motion*

SINDEC - Sistema Nacional de Defesa Civil

SIRGAS - Sistema de Referência Geocêntrico para as Americas

SISANT - Sistema de Aeronaves Não Tripuladas

UAS – *Unmanned Aerial Systems*

UAV - *Unmanned Aerial Vehicle*

UAVS – *Unmanned Aerial Vehicles Systems*

UFSC - Universidade Federal de Santa Catarina

UNICEF - Fundo das Nações Unidas para a Infância

UNISDR - *United Nations International Strategy for Disaster Reduction*

USP - Universidade de São Paulo

VANT - Veículo Aéreo Não Tripulado

VTOL - *Vertical Take-off and Landing*

WGS - *World Geodetic System*

Lista de Figuras

FIGURA 1 - Etapas da gestão de resíduos de desastres.....	20
FIGURA 2 - Mini VANT de asa fixa, modelo Zangão 5.....	32
FIGURA 3 - Mini VANT quadrirotor, modelo Phantom IV Pro	34
FIGURA 4 - VANT hibrido modelo Tron	35
FIGURA 5 - Esquema das etapas metodológicas	49
FIGURA 6 - Primeira área de estudo: Jd. Gloria	51
FIGURA 7 - Segunda área de estudo: Sonora.....	52
FIGURA 8 - Sistema mini-VANT empregado	53
FIGURA 9 - Posicionamento da câmera durante fotografias no Jd.Gloria.....	56
FIGURA 10 - Posicionamento da câmera durante fotografias em Sonora	57
FIGURA 11 - Mapa do Jd.Gloria, com indicações dos resíduos a serem quantificados.....	60
FIGURA 12 - Resíduos selecionados na porção leste (E) do mosaico no Jd.Gloria.....	61
FIGURA 13 - Resíduos selecionados na porção noroeste (NO) do mosaico no Jd.Gloria	61
FIGURA 14 - Mapa de Sonora, com indicações dos resíduos a serem quantificados	62
FIGURA 15 - Resíduos selecionados na porção central do mosaico em Sonora.....	63
FIGURA 16 -Localização da câmera e erros estimados, para o caso Jd.Gloria.....	67
FIGURA 17 - Localização da câmera e erros estimados para o caso Sonora	68
FIGURA 18 - Modelo digital de elevação para o caso Jd. Gloria.....	70
FIGURA 19 - Modelo digital de elevação para o caso Sonora.....	71
FIGURA 20 - Mosaico ortorretificado - Jd.Gloria.....	72
FIGURA 21 - Detalhes das falhas e distorções na "Área 1" (Jd.Glória).....	73
FIGURA 22 - Detalhes das falhas e distorções na "Área 2" (Jd.Glória).....	73
FIGURA 23 - Detalhes da boa resolução obtida na "Área 3" (Jd.Glória).....	74
FIGURA 24 - Mosaico ortorretificado - Sonora	75
FIGURA 25 - Detalhes das falhas e distorções na "Área 1" (Sonora)	76
FIGURA 26 - Detalhes das falhas na "Área 2" (Sonora)	76
FIGURA 27 - Detalhes dos resíduos na "Área 3" (Sonora).....	77
FIGURA 28 - Delimitação de resíduos sólidos e ponto geograficamente orientado (Jd.Gloria)...	79
FIGURA 29 - Delimitação de resíduos sólidos e ponto geograficamente orientado (Sonora)	80
FIGURA 30 - Mensuração de área e volume da porção leste no caso Jd.Gloria	81
FIGURA 31 - Mensuração de área e volume da porção noroeste no caso Jd.Gloria	81

FIGURA 32 - Mensuração de área e volume no caso Sonora.....	82
FIGURA 33 - Detalhe dos resíduos no caso Jd.Gloria.....	83
FIGURA 34 - Detalhe dos resíduos no caso Sonora.....	84
FIGURA 35 - Detalhe da imagem tomada por aeronave tripulada em 2018	87
FIGURA 36 - Detalhe da imagem gerada com fotos aéreas de 2015, coletadas por mini-VANT.	87

Lista de Tabelas

TABELA 1 - Classificação de Resíduos - EM-DAT	16
TABELA 2 - Desastres naturais no mundo e respectiva geração de resíduos sólidos	18
TABELA 3 - Classificação dos VANTs segundo a EUROUVS	30
TABELA 4 - Classificação dos VANTs segundo a ANAC	31
TABELA 5 - Aspectos técnicos de mini-VANTs comerciais.....	36
TABELA 6 - Valores do PEC digital para planimetria.....	47
TABELA 7 - Valores do PEC digital altimétrico para Pontos Cotados, MDT, MDS e MDE.....	47
TABELA 8 - Resultados das coletas de dados para os casos estudados	66
TABELA 9 - Resultados dos processamentos de dados realizados	78
TABELA 10 - Parâmetros técnicos associados às plataformas de sensoriamento remoto	90

Sumário

Resumo	1
Abstract	2
Lista de Siglas e Abreviaturas	3
Lista de Figuras	5
Lista de Tabelas	7
Sumário	8
1.Introdução	10
2.Objetivo.....	13
3.Referencial Teórico	14
3.1 Desastres: introdução e conceituação	14
3.1.1 Classificação dos desastres	15
3.1.2 A geração de resíduos em desastres	17
3.1.3 Gestão de resíduos sólidos de desastres	19
3.2 Veículos aéreos não tripulados	28
3.2.1 Tipos de VANTs.....	30
3.2.2 Legislação e regras para o uso de VANTs no Brasil	36
3.2.3 Aplicações dos mini-VANTs comerciais	37
3.3 Fotogrametria.....	38
3.3.1 A modelagem digital	39
3.3.2 A ortorretificação.....	40
3.3.3 Softwares de processamento de imagens de VANTs	41
3.3.4 Pontos de controle e pontos de verificação	43
3.3.5 Análise das imagens	44
3.3.6 Padrão de Exatidão Cartográfica	45
4. Materiais e Métodos	48
4.1 Seleção das fotografias aéreas	49
4.1.1 Áreas de estudo.....	50
4.1.2 Materiais utilizados	52
4.1.3 Planejamento e execução do sobrevôo	54
4.2 O Processamento dos dados.....	57
4.2.1 Etapas do processamento de dados com o PSPE.....	57

4.2.2 Identificação, quantificação e caracterização dos resíduos sólidos	59
4.3 Análises comparativas entre os sistemas	63
4.4 Elaboração da cartilha orientadora.....	64
5- Resultados.....	65
5.1 Qualidade dos dados coletados	65
5.2 Qualidade dos produtos gerados	66
5.2.1 Erro geográfico e erro médio de reprojeção	67
5.2.2 Nuvem esparsa de pontos	69
5.2.3 Nuvem densa de pontos.....	69
5.2.4 O modelo digital de elevação	69
5.2.5 O mosaico ortorretificado.....	71
5.2.6 Identificação, quantificação e caracterização dos resíduos sólidos	78
5.3 Análises comparativa entre os sistemas.....	84
5.3.1 Aspectos econômicos	84
5.3.2 Aspectos técnicos	86
5.4 Cartilha orientadora	91
6- Conclusões e Recomendações	93
7- Referências Bibliográficas.....	99
Anexo I - Classificação e Codificação Brasileira de Desastres (COBRADE)	
Apêndice I - Cartilha Orientadora	

1.Introdução

O aumento da frequência e da gravidade dos desastres ocorridos no mundo indica a necessidade crescente de planejar o processo de reabilitação das áreas e comunidades atingidas. O retorno às condições de vida anteriores ao desastre é fator importante no enfrentamento do mesmo, e é um dos temas principais do Marco de Sendai para a Redução de Riscos de Desastres 2015-2030 (BOSCOV *et al.*, 2017), instrumento sucessor do Marco de Ação de Hyogo.

Segundo a UNISDR, o Marco de Hyogo se desenhou o modelo global para os esforços de redução de risco de desastres entre 2005 e 2015. Seu objetivo era reduzir substancialmente os danos causados por desastres até 2015 - em vidas e nos ativos sociais, econômicos e ambientais de comunidades e países. O Marco de Sendai para a Redução do Risco de Desastres 2015-2030 foi o primeiro grande acordo da agenda de desenvolvimento pós-2015, com determinadas metas e prioridades de ação. De modo geral, o Marco de Ação de Hyogo forneceu importantes orientações para os esforços de redução do risco de desastres, contribuindo para o progresso no alcance dos Objetivos de Desenvolvimento do Milênio (ODM). Sua aplicação, entretanto, evidenciou algumas lacunas na abordagem dos fatores subjacentes de risco de desastres, na adequada formulação de metas e prioridades de ação e na promoção da resiliência a desastres em todos os níveis. Essas lacunas indicaram a necessidade de desenvolver o Marco de Sendai, voltado para as ações que os Governos e as partes interessadas possam implementar de forma apoiada e complementar, ajudando a identificar os riscos de desastres passíveis de gerenciamento, e a orientar os investimentos para a melhoria da resiliência (UNISDR, 2015).

Tratando da incidência de desastres naturais no contexto nacional, o Atlas Brasileiro de Desastres Naturais – 1991 a 2012, elaborado pelo Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres da Universidade Federal de Santa Catarina (CEPED/UFSC), indicou que, entre os anos de 2000 a 2012, houve registro da ocorrência de 23.238 desastres naturais no país. Esse banco de dados do histórico dos desastres brasileiros associados a fenômenos naturais indicou que os eventos de estiagem, seca, inundação brusca e alagamento são os mais recorrentes no país. Nessa mesma pesquisa, reforça-se que inundações, enxurradas e deslizamentos são os eventos que provocam mais impactos diretos na população, a partir do número de pessoas afetadas e de óbitos (CEPED UFSC, 2012). Segundo Marcelino *et al.* (2006) o aumento deste número se deve a causas variadas, tais como: o crescimento populacional, a segregação sócio

espacial, o avanço das comunicações e das mudanças climáticas globais.

Ocorrido um desastre, o restabelecimento das condições mínimas de funcionalidade da área impactada, entre as quais a desobstrução das vias, a reintegração dos sistemas e a remoção dos resíduos sólidos, depende de algumas ações específicas a serem tomadas. A mitigação e a recuperação dos impactos causados por desastres naturais envolvem necessariamente a realização de diagnóstico quantitativo e qualitativo dos resíduos por eles gerados, ou seja: a caracterização e estimativa volumétrica destes resíduos (BOSCOV *et al.*, 2017; BROWN *et al.*, 2011). Importantes ações de reparação podem ser dificultadas ou inviabilizadas antes da remoção total dos resíduos, e a exposição prolongada aos mesmos é potencialmente danosa para a saúde pública e ambiental. Não obstante, a recuperação psicossocial das vítimas pode ser afetada pela presença prolongada desses resíduos sólidos. Em contrapartida, se geridos de forma eficaz, os detritos podem se tornar um recurso valioso no processo de recuperação e reconstrução, e podem ter efeito positivo na recuperação social e econômica local (BROWN, 2012).

Boscov *et al.* (2017) também ressaltam que a caracterização dos tipos e quantidades de resíduos e o respectivo gerenciamento por fluxos específicos são fundamentais como estratégia de gestão que promove a valorização dos resíduos, a redução da disposição em aterros, a minimização de custos totais, a alocação dos custos aos respectivos responsáveis e a gestão compartilhada. Portanto, o primeiro passo para o gerenciamento sustentável dos resíduos de desastres seria a estimativa da geração e de sua composição.

Denot (2016) observa que para se garantir transparência no gerenciamento dos resíduos e aprimorar as práticas existentes, um relato conciso desse gerenciamento deve ser realizado. Para tal, sabe-se que os processos e práticas associados ao gerenciamento de resíduos podem contar com apoio de tecnologias em sua concepção, execução e avaliação. Segundo Sausen e Lacruz (2015), o sensoriamento remoto aliado às análises espaciais tem se destacado como ferramenta importante para gestão de desastres naturais e de seus riscos.

No mesmo sentido, diversos autores têm apontado o recente avanço do uso de Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTs) para obtenção de dados de alta resolução espacial, indicando também diversas vantagens em relação às fotografias obtidas a partir de plataformas aéreas tripuladas (aviões e helicópteros) e imagens obtidas de plataformas orbitais (AMBROSIA *et al.*,

2005; KOLDAEV, 2009; LONGHITANO, 2010; WATTS *et al.*, 2012). Algumas dessas vantagens, apontadas por Nepomuceno (2016), estão relacionadas ao relativo baixo custo de aquisição e fácil manuseio do equipamento, à possibilidade de obtenção de dados de alta resolução espacial e à ausência do risco de vida para o piloto/operador, quando comparados aos veículos aéreos tripulados convencionais.

Equipamentos eletrônicos cada vez menores, mais leves, com mais capacidade de armazenamento e processamento vêm sendo amplamente desenvolvidos, sendo que essas inovações se estenderam também à óptica, possibilitando a construção de câmeras digitais compactas, leves e com programação automática para o controle focal, do tempo de exposição e da quantidade de luz (RODRIGUES, 2016). O autor aponta que a integração entre aeromodelo, câmera digital, sistema de posicionamento global e sistema inercial propiciou o desenvolvimento dos modelos mini-VANT comerciais, capazes de realizar, por exemplo, o recobrimento aerofotogramétrico de áreas previamente delimitadas de forma automática, sendo necessária apenas a definição de: área a ser mapeada, recobrimentos longitudinal e lateral, velocidade e altura do sobrevôo, que por sua vez indicarão a quantidade de imagens a serem capturadas, o *Ground Sampling Distance* (GSD), ou seja, a representação do pixel da imagem no terreno em unidades de medida geralmente representada em centímetros, e o tempo estimado do sobrevôo. Em alguns modelos, como no caso do multirrotor, tanto o pouso quanto a decolagem podem ser realizados de forma autônoma, possibilitando a imediata utilização do VANT por pessoa possuidora de pouco conhecimento e destreza no manuseio de aeromodelos.

Além disso, esse mesmo autor afirma que o emprego da ciência computacional na fotogrametria digital e a determinação direta dos parâmetros de orientação exterior permitiram a simplificação de todo o processo de produção do mosaico ortorretificado. Desde a calibração da câmera à geração do Modelo Digital de Superfície (MDS), processos passaram a ser realizados de forma automática, com interface amigável aos usuários.

Diante das informações apresentadas, a presente pesquisa se propõe a analisar a aplicabilidade de sistemas VANTs comerciais no diagnóstico da geração de resíduos de desastres, com o intuito de fornecer indicações técnicas, cientificamente fundamentadas, relacionadas às principais vantagens, desvantagens e limitações de sua utilização.

2.Objetivo

Objetivo Geral

Analisar a aplicabilidade de sistema mini-VANT comercial no auxílio ao diagnóstico da geração de resíduos de desastres no Brasil, e elaborar uma cartilha apontando o potencial de aplicação dessas ferramentas diante dos desastres incidentes no Brasil, e relevantes do aspecto da geração de resíduos.

Objetivos Específicos

Analisar o desempenho de sistema mini-VANT comercial na coleta de dados geoespaciais de alta resolução espacial e temporal, de forma segura e econômica.

Processar dados obtidos de dois sobrevôos previamente realizados, e avaliar a capacidade de identificação, quantificação e caracterização dos resíduos sólidos dispostos no ortomosaico gerado.

Levantar os aspectos econômicos e técnicos associados ao uso de mini-VANT comercial, estabelecendo um comparativo com uso de aeronaves tripuladas e de plataformas orbitais.

Analisar o potencial de mapeamento da ferramenta estudada diante dos tipos de desastres incidentes no Brasil, e suas respectivas dinâmicas de geração de resíduos, apontando os casos onde há maiores chances de obtenção de bons resultados.

3.Referencial Teórico

3.1 Desastres: introdução e conceituação

Em todo o mundo, desastres naturais e tecnológicos, cada vez mais frequentes e intensos, vêm causando diversos danos materiais, ambientais e humanos. A estimativa do Escritório das Nações Unidas para a Redução de Riscos e Desastres (UNISDR), em 2014, foi de que mais de 200 milhões de pessoas são afetadas por desastres naturais como: ciclones, tsunamis, secas, incêndios florestais, inundações, alagamentos, deslizamentos de terra, entre outros. Além disso, fatores de vulnerabilidade social como a pobreza e a crescente densidade populacional, somados à intensificação da ação humana na sociedade industrial, à degradação do meio ambiente e ao consequente aquecimento global fazem com que os riscos e os impactos desses eventos sejam cada vez maiores. Tsunamis no Oceano Índico e no Pacífico Sul, terremotos no sul da Ásia, no Paquistão, no Haiti, furacões e ciclones nos Estados Unidos, no Caribe e no Pacífico, fortes inundações na Europa e na Ásia, alagamentos e deslizamentos de terra no Brasil provocaram devastações profundas, resultando na morte de milhares de pessoas e em perdas e danos incalculáveis nos anos recentes (FREITAS, 2014).

Um dos desafios na área de estudos dos desastres, de forma geral, relaciona-se à sua própria conceituação, caracterizada pela grande diversidade e pela inexistência de consenso (VALÊNCIO, 2010).

Tomando por referência a Política Nacional de Defesa Civil (PNDC), editada em 2012, o termo desastre refere-se ao:

"Resultado de eventos adversos, naturais ou provocados pelo homem, sobre um ecossistema vulnerável, causando danos humanos, materiais e/ou ambientais e consequentes prejuízos econômicos e sociais" (BRASIL, 2012)."

Na perspectiva das ciências ambientais e da saúde pública, a ocorrência de fenômenos da natureza ou de acidentes devido a falhas humanas na utilização de tecnologias somente se configura como desastre caso haja a exposição de populações humanas (FREITAS *et al.*, 2012; RODRIGUES *et al.*, 2015).

Alguns termos são recorrentes nas definições relacionadas a desastres: efeitos, impactos, danos, prejuízos, que por sua vez conduzem a temas mais complexos, como risco, perigo, vulnerabilidade e resiliência (SAUSEN e LACRUZ, 2015).

Nas primeiras publicações brasileiras sobre o tema dos desastres, o termo inglês *hazard* foi traduzido como "perigo" e, por outros, como "ameaça". Apesar das divergências conceituais acerca da tradução mais adequada para o termo, observa-se que, no Brasil, o meio técnico, em especial a defesa civil, adota a segunda tradução do termo, “ameaça”, conforme se verifica em CEPED UFSC (2012), que o relaciona ao agente detonante e à probabilidade de algo danoso incidir sobre a sociedade.

Afirmam SAUSEN e LACRUZ (2015) que os elementos em risco podem estar expostos de diferentes maneiras a uma mesma ameaça e, ainda, que essa realidade não está relacionada exclusivamente a condições econômicas, mas também a fatores culturais, sociais e ambientais próprios desses elementos. Deriva desse entendimento outro conceito importante: a vulnerabilidade. A UNISDR (2009) define a mesma como sendo o conjunto de processos e condições resultantes de fatores físicos, sociais, econômicos e ambientais que aumenta a probabilidade de um determinado grupo populacional sofrer os impactos associados às ameaças.

A vulnerabilidade remete a uma qualidade momentânea, ou seja, uma condição atual e dinâmica. Tornar as populações menos vulneráveis não é apenas prover infraestrutura física, mas também aumentar sua percepção de risco e resiliência para o enfrentamento de desastres. Agrupamentos coletivos menos vulneráveis são mais resilientes aos desastres. De acordo com a UNISDR (2009), a resiliência é um conceito mais amplo que a capacidade de resposta e envolve não apenas a resposta imediata pós-desastre, mas também a capacidade das comunidades de resistir, absorver, acomodar e recuperar-se.

3.1.1 Classificação dos desastres

Os eventos desastrosos, que podem diferir enormemente em forma e intensidade, vêm sendo alvo de muitos estudos por todo o mundo. Ao longo do ano de 2006, pesquisadores do *Munich Reinsurance Research (MRR)* e do *Centre of Research on the Epidemiology of Disasters*

(CRED) estudaram a melhor maneira de padronizar a classificação dos desastres entre os mais importantes bancos de dados internacionais. Como consequência desses estudos, a classificação atualmente utilizada pelo "*The International Disasters Database*" (EM-DAT), um dos principais bancos de dados de desastres que foi criado e é administrado pelo CRED, distingue dois grupos genéricos: desastres naturais e desastres tecnológicos. O primeiro grupo está dividido em seis subgrupos: biológicos, geofísicos, hidrológicos, meteorológicos, climatológicos e extraterrestres. Os desastres tecnológicos, divididos em três subgrupos, são classificados como: desastres relacionados a acidentes industriais, de transporte ou de natureza diversa. Essa classificação se baseia na origem ou causa do evento (EM-DAT, 2017). A Tabela 1 ilustra esse tipo de classificação.

TABELA 1 - Classificação de Resíduos - EM-DAT

Grupos	Subgrupos
DESASTRES NATURAIS	Biológicos
	Geofísico
	Hidrológicos
	Meteorológicos
	Climatológicos
	Extraterrestres
DESASTRES TECNOLÓGICOS	Desastres relacionados a acidentes industriais
	Desastres relacionados a acidentes de transporte
	Desastres relacionados a acidentes de natureza diversa

FONTE: EM-DAT

Para que um desastre passe a compor o EM-DAT, ao menos um dos seguintes critérios deve ser atendido: i) 10 ou mais pessoas mortas; ii) 100 ou mais pessoas afetadas; iii) declaração de estado de calamidade; ou iv) pedido de assistência internacional.

No Brasil, a Instrução Normativa Nº 01, de 24 de Agosto de 2012 do Ministério da Integração Nacional (MIN) estabelece procedimentos e critérios para a decretação de situação de emergência ou estado de calamidade pública pelos Municípios, Estados e pelo Distrito Federal, assim como para o reconhecimento federal das situações de anormalidade decretadas pelos entes

federativos.

Em um determinado Município, Estado ou Região é decretado Estado de Calamidade Pública (ou desastre de nível II) nos casos em que há alteração intensa e grave das condições de normalidade decorrente de desastre, comprometendo substancialmente sua capacidade de resposta, enquanto que a Situação de Emergência (ou desastre de nível I) refere-se a casos de alteração intensa e grave das condições de normalidade, comprometendo parcialmente sua capacidade de resposta.

Em 2012, para atender à classificação dos desastres do EM-DAT, a Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil (SEDEC), apoiada na Instrução Normativa mencionada, passou a adotar a Codificação Brasileira de Desastres (COBRADE) (MIN, 2012). Portanto, ao longo do presente trabalho, a classificação e respectiva codificação dos eventos serão referenciadas conforme a tabela da COBRADE, apresentada de forma integral no **Anexo I**.

Além da origem ou causa do evento, a SEDEC adota como critérios de classificação de desastres as variáveis: intensidade, evolução e periodicidade. Não obstante, o presente estudo adotou o critério de classificação da COBRADE.

3.1.2 A geração de resíduos em desastres

De acordo com a Lei Federal 12.305 de 2012, que instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), resíduo sólido é definido como:

"Material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, cuja destinação procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, nos estados sólido ou semi-sólido, bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d'água, ou exijam para isso soluções técnica ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível." (BRASIL, 2012)

Dependendo da sua natureza e gravidade, desastres podem gerar enormes quantidades de resíduos sólidos. O volume desse material gerado em um único evento pode ser o equivalente a muitas vezes o volume anual de geração de resíduos sólidos urbanos da comunidade afetada,

sendo possível que haja sobrecarga das instalações e do pessoal responsável pelo gerenciamento de resíduos sólidos locais (BROWN, 2012).

Alguns exemplos acerca da quantidade de resíduos sólidos gerados em determinados tipos de desastres são encontrados na **Tabela 2**, ressaltando-se que são estimativas realizadas em sua maioria por gestores públicos. De modo geral, a quantificação de resíduos de desastres é rara e pouco fundamentada tecnicamente, resultando em valores aproximados. Brown e Milke (2016) afirmam que apenas o Japão e os Estados Unidos da América (EUA) realizam quantificação sistemática de resíduos de desastres.

TABELA 2 - Desastres naturais no mundo e respectiva geração de resíduos sólidos

Ano	Desastre	Local	Quantidade
2008	Terremoto	China	20 milhões de ton.
2005	Furacão Katrina	EUA	73 milhões de m ³
2004	Tsunami	Indonésia	10 milhões de m ³
1999	Terremoto	Turquia	13 milhões de ton.

FONTE: Brown *et al.*(2011)

A má gestão de resíduos de desastres pode afetar tanto a resposta como a recuperação de longo prazo da área afetada por um desastre (BROWN, 2012). Segundo Milke (2011) os resíduos de desastres causam efeitos econômicos, ambientais e sociais ainda muito subestimados e mal compreendidos.

Além da grande variação e da quantidade gerada, os resíduos de desastres podem apresentar distintas características, desde reciclabilidade até periculosidade, a depender do tipo de evento e respectivo local de ocorrência. Terremotos, furacões, tsunamis e deslizamentos, por exemplo, quando ocorrem em áreas construídas, levam à destruição de edificações, de obras de grande porte como: rodovias, pontes, viadutos e barragens, gerando, principalmente, resíduos classificados como resíduos da construção civil (RCC). Os RCC vêm sendo reciclados e utilizados principalmente como agregados na pavimentação viária e na construção civil. (BOSCOV *et al.*, 2017).

Os autores ainda afirmam que casos de incêndios de grandes proporções podem gerar, além dos RCC, resíduos perigosos associados ao processo de combustão dos materiais sintéticos e produtos químicos. Inundações e enchentes, por sua vez, não geram quantidade significativa de RCC, mas resultam em diferentes tipos de resíduos de composição variada em função da área atingida.

Considerando o tipo de desastre e o respectivo tempo de resposta, há também grande diversidade de bens materiais e alimentos que perdem seu valor de uso e de consumo em decorrência de eventos adversos, aumentando a quantidade de resíduos gerados. Em qualquer emergência, é importante a caracterização dos resíduos no que diz respeito à quantidade, variedade e periculosidade, assim como a identificação dos diferentes fluxos a serem gerenciados. Boscov *et al.*, (2017) ainda dizem que para cada fluxo há um potencial de valorização e uma destinação adequada, sendo de grande importância identificar os responsáveis e promover a gestão específica por fluxo.

Conforme mencionado, a presença de resíduos de desastres afeta severamente as ações de resposta emergencial, como atividades de busca e salvamento e acessos de emergência, suporte às populações afetadas, entre outros, além de conferir potenciais riscos à saúde pública (BROWN, 2012), tornando imperativos a implantação e o aprimoramento constante de práticas de gestão de resíduos de desastres.

3.1.3 Gestão de resíduos sólidos de desastres

O conceito de gestão de resíduos sólidos, segundo Schalch *et al.* (2002), abrange atividades referentes à tomada de decisões estratégicas e à organização do setor para esse fim, envolvendo instituições, políticas, instrumentos e meios. Segundo Brown *et al.* (2011), a literatura tem tratado da gestão de resíduos de desastres numa perspectiva temporal, focada nas três fases pós-desastre: Resposta, Recuperação e Reconstrução.

3.1.3.1 Etapas da gestão de resíduos sólidos de desastres

Tanto no livro intitulado "Desastres: múltipla abordagens e desafios" do Centro de Estudos e Pesquisas sobre Desastres da Universidade de São Paulo (CEPED/USP, 2014), quanto no Manual de Capacitação básica em Defesa Civil do CEPED/UFSC, os autores propõem que a

gestão dos resíduos de desastres abranja também fases anteriores aos desastres, como as fases de Prevenção/Mitigação e de Preparação. Portanto, é adequado que sua gestão seja analisada à luz das fases de todo o ciclo de gestão de desastres, contemplando: **Prevenção/Mitigação, Preparação, Resposta, Recuperação e Reconstrução** (BOSCOV *et al.*, 2017, CEPED/UFSC, 2014), conforme representado na **Figura 1**.

FIGURA 1 - Etapas da gestão de resíduos de desastres.

FONTE: Boscov *et al.*, 2017

Na fase denominada **Prevenção/Mitigação**, que corresponde às ações que visam reduzir a ocorrência e intensidade de desastres, a atenção volta-se para ações que mitiguem a deposição de resíduos no solo, seja de forma irregular ou adequada. Atualmente, há dois tipos de instrumentos de planejamento, instituídos em nível municipal, que auxiliam a gestão dos resíduos sólidos: i) os planos municipais de gestão integrada de resíduos sólidos – exigidos pela PNRS - que devem incluir os resíduos de desastres, mesmo de ocorrência imprevista e sazonal; e ii) os planos diretores para municípios que constem no Cadastro Nacional de Municípios com Áreas de Risco – exigidos pela Política Nacional de Proteção e Defesa Civil (PNPDEC) – visando ao mapeamento dos riscos geofísicos no território (BOSCOV *et al.*, 2017).

A **Preparação**, fase imediatamente anterior ao evento, relaciona-se às ações que visam assegurar resposta mais rápida e eficaz à comunidade em caso de ocorrência de desastre (UNISDR, 2009). São estocados alguns itens que servirão aos afetados, caso o desastre venha a ocorrer. Nessa etapa, no que diz respeito aos resíduos gerados, destacam-se os planos de gestão de resíduos de desastres, já existentes em alguns países, no qual devem estar previstas ações e

medidas a serem tomadas no gerenciamento dos resíduos gerados em decorrência do evento. Os planos de resíduos de desastres podem existir como um documento único ou estar inseridos nos planos de resíduos sólidos (BOSCOV *et al.*, 2017).

Na fase denominada **Resposta**, as ações visam remover os riscos imediatos à saúde pública e à segurança da comunidade, além de possibilitar a prestação de serviços de emergência e a preservação das vidas humanas. Os resíduos gerados no evento podem dificultar ou inviabilizar as operações de busca e resgate de sobreviventes, o acesso das equipes de serviços emergenciais e a logística de distribuição de mantimentos, maquinários e demais agentes de apoio aos afetados (BROWN *et al.*, 2011). Nessa fase, a gestão de resíduos visa priorizar a liberação das vias de acesso às equipes de socorro, e a remoção e tratamento de resíduos perigosos eventualmente gerados durante o evento. A remoção desses resíduos se associa ainda a questões sociais, como os direitos das vítimas, à proteção da propriedade privada e à preservação das memórias pessoais.

As ações de resposta devem ser rápidas, podendo ou não estar em conformidade com as políticas ambientais de longo prazo vigentes ou não atender à hierarquia dos resíduos preconizada nas diretrizes internacionais para a gestão de resíduos sólidos, que são: prevenção e redução; reutilização; reciclagem; valorização de resíduos e disposição no solo dos rejeitos resultantes (LAURITZEN, 1998).

O gerenciamento da maior parte dos resíduos gerados em desastres ocorre na fase chamada de **Recuperação**, que visa a remoção dos resíduos gerados na demolição de edificações e demais estruturas que não foram priorizados nas ações emergenciais de resposta.

A recuperação das condições de normalidade da comunidade afetada por meio do reestabelecimento da regularidade dos serviços essenciais de limpeza pública, como a coleta, o tratamento e a disposição final dos resíduos sólidos também se inclui nessa etapa. Conforme o tipo e a magnitude do desastre, esta fase pode ser onerosa e se prolongar por anos, em virtude de fatores como ausência de planejamento e investigações de companhias de seguros e agentes públicos, como ocorrido em New Orleans, Estados Unidos, após o furacão Katrina em 2005, e na Península de Tiburon, no Haiti, após o terremoto de 2010 (BOSCOV *et al.*, 2017; LUTHER, 2008).

Por fim, os resíduos gerados no processo de reforma e construção de novas edificações são tratados na fase de **Reconstrução**. Segundo Haas *et al.* (1977), esta fase corresponde, geralmente, a um processo longo, que pode durar anos e cujo término é de difícil definição. A geração de resíduos nessa fase dependerá da quantidade e tipos de obras efetuadas.

Em desastres, conforme já mencionado, podem ser geradas grandes quantidades de determinados tipos de resíduos (RCC, medicamentos, químicos perigosos, infectantes e embalagens de alimentos e água fornecidos pelas equipes de socorro) produzidos simultaneamente e cuja segregação é dificultada, quando não impossibilitada, em decorrência da situação emergencial. A caracterização dos resíduos poderá determinar os diferentes fluxos e, conseqüentemente, a atribuição da responsabilidade pelo seu gerenciamento.

No entanto, nota-se que, em geral, os resíduos gerados em desastres são deixados a cargo da gestão pública, com atribuições operacionais, responsabilidade e custos assumidos pelo poder municipal local. Isso é particularmente verdade para o Brasil, onde ainda não há preocupação com a caracterização de resíduos de desastres e nem mesmo com uma gestão específica desse tipo de resíduo, pois são absorvidos pelo sistema de gerenciamento de resíduos da limpeza urbana. De forma geral, não há segregação por tipo, logo não se distinguem fluxos, tampouco se promove a reciclagem ou a recuperação. A idéia prevalecente é a rápida coleta e o afastamento dos resíduos do local do evento, quando possível, no sentido de desobstruir espaços e minimizar impactos subsequentes (BOSCOV *et al.*, 2017).

3.1.3.2 Legislação, políticas públicas e ferramentas no contexto nacional

Em termos gerais, a legislação ambiental brasileira apresenta-se como uma das mais modernas do mundo, mas no que diz respeito aos eventos extremos, os impactos por estes causados deixam expostas as dificuldades de sua implementação no rol das políticas públicas de sucesso (SALGADO, 2005). Tragédias ocasionadas pelas alterações climáticas poderiam ter menor impacto se a legislação fosse cumprida, em especial as determinações elaboradas afim de evitar ou coibir a ocupação de áreas de preservação. A ineficácia da aplicação da legislação ambiental compromete seriamente a qualidade de vida das pessoas que vivem em centros urbanos, assim como a qualidade dos recursos naturais (VEYRET, 2007).

Os avanços mais notáveis na construção da estrutura que atualmente vigora tiveram início

a partir da elaboração da Constituição Federal Brasileira, de 5 de outubro de 1988, que determina em seu artigo 5º a garantia à inviolabilidade do direito à vida, à liberdade, à segurança e à propriedade; no artigo 21, planejar e promover a defesa permanente contra as calamidades públicas, especialmente a seca e as inundações; no artigo 22, que compete privativamente à União legislar sobre defesa territorial, aeroespacial, marítima, Defesa Civil e mobilização nacional. O artigo 148 § 3º prevê a abertura de crédito extraordinário somente para as despesas imprevisíveis e urgentes, como as decorrentes de guerra, comoção interna ou calamidade pública (BRASIL, 1988). No mesmo ano da Constituição Federal de 1988, a proposta de pensar a Defesa Civil como instituição estratégica para redução de riscos de desastres surgiu com a organização do Sistema Nacional de Defesa Civil, o então SINDEC (CEPED/UFSC, 2014).

Apesar da presença constante de agentes da Defesa Civil em desastres, somente por meio da criação da Política Nacional de Proteção e Defesa Civil (PNPDEC), instituída pela Lei Federal nº 12.608, de 2012, houve mudança na forma de agir, uma vez que foi promovida a inclusão de agentes políticos no rol de agentes de proteção e defesa civil. Desde então houve, portanto, o estabelecimento de um vínculo de responsabilidade com os municípios, que passaram a incorporar a redução de risco de desastres e ações de proteção e defesa civil entre elementos da gestão territorial e planejamento das políticas setoriais (BARBOZA *et al.*, 2012).

A PNPDEC visa integrar-se às políticas de ordenamento territorial, desenvolvimento urbano, meio ambiente, mudanças climáticas, infraestrutura, ciência e tecnologia e às demais políticas setoriais, visando ações integradas de prevenção, mitigação, preparação, resposta e recuperação de desastres (CEPED/UFSC, 2012).

Anteriormente à PNPDEC, em 2010, foi estabelecida a Lei Federal nº 12.305, que trata da valorização ou destinação ambientalmente adequada dos resíduos sólidos gerados pelos municípios brasileiros. Esta política determina a obrigatoriedade do desenvolvimento e a implementação de Planos Municipais de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (PMGIRS), abrangendo diversos tipos de resíduos gerados no âmbito municipal. No entanto, nota-se a ausência de políticas públicas que contemplem e determinem a destinação ou disposição final adequada dos resíduos gerados em desastres (BARBOZA *et al.*, 2012), identificando-se uma lacuna nessa questão.

Com a finalidade de qualificar e dar transparência à gestão de riscos e desastres no Brasil, por meio da informatização de processos e disponibilização de informações sistematizadas dessa gestão, foi criado o Sistema Integrado de Informações sobre Desastres (S2ID). Além do registro dos desastres ocorridos em cada município, essa ferramenta possibilita a consulta e acompanhamento dos processos de reconhecimento federal de Situação de Emergência (SE) ou de Estado de Calamidade Pública (ECP), de transferência de recursos para ações de resposta e reconstrução, assim como permite a busca por informações sobre ocorrências e gestão de riscos e desastres com base em fonte de dados oficial.

O S2ID disponibiliza formulários e modelos de documentos que devem ser preenchidos com as informações necessárias ao reconhecimento federal de SE ou ECP. Em meio aos documentos solicitados estão: i) o Formulário de Informações dos Desastres (FIDE), que tem por objetivo o reconhecimento das situações de anormalidades referentes aos desastres naturais, assim como o registro efetivo dos desastres ocorridos no país; ii) a Declaração Municipal de Atuação Emergencial (DMATE), que visa identificar e caracterizar o cenário do desastre no Município, sendo importante para avaliar as ações de resposta ao desastre, e iii) o Relatório Fotográfico, que servirá de subsídio aos analistas na elaboração do parecer, além de comprovar os danos e os prejuízos causados pelo desastre (CEPED/UFSC, 2014).

Dentre as informações solicitadas no FIDE constam informações referentes aos danos materiais, com campos para preenchimento dos gastos estimados com instalações públicas ou obras de infraestrutura danificadas, e referentes aos prejuízos econômicos públicos, com campo para preenchimento dos gastos estimados com o sistema de limpeza urbana e de recolhimento e destinação de resíduos sólidos. O preenchimento do DMATE é mais simples, constando inicialmente da "caracterização de situação de emergência ou calamidade pública", seguida das "informações relevantes sobre o desastre", das "informações sobre capacidade gerencial do município" e das "medidas e ações em curso". O Relatório fotográfico, por sua vez, pode conter até duas imagens de cada situação, sendo possível inserir fotos de, no máximo, seis situações. Vale mencionar que as fotos são convertidas pelo sistema em arquivos de 500 Kilobytes (CEPED UFSC, 2014).

Apesar do avanço que representa essa reestruturação ocorrida nos últimos anos no país, durante a elaboração do Atlas Brasileiro de Desastres Naturais, foi constatada a falta de

informações geoespaciais adequadas para o desenvolvimento de estudos ou para a tomada de decisões no momento em que ocorre um evento desastroso (CEPED-UFSC, 2012).

Tecnologias de sensoriamento remoto e geoprocessamento tem se revelado ferramentas essenciais na gestão de desastres naturais e seus riscos, capazes de auxiliar significativamente na concepção, execução e avaliação de processos e práticas associados ao gerenciamento de resíduos sólidos gerados nesses eventos (SAUSEN e LACRUZ, 2015), assim devem ser estudadas a fim de que venham a ser adequadamente empregadas.

3.1.3.3 Sensoriamento remoto aplicado a desastres

Almeida e Meneses (2012) definem sensoriamento remoto como sendo uma ciência que tem por objetivo o desenvolvimento da obtenção de imagens da superfície terrestre por meio da detecção e medição quantitativa das respostas das interações da radiação eletromagnética com os materiais terrestres. Essa definição, por sua vez, é explícita em afirmar que o objeto "observado" é registrado pelo sensor por meio de medições da radiação eletromagnética, tal como a luz solar refletida por qualquer superfície.

Os sensores podem ser classificados quanto a sua distância com relação à superfície da Terra, resultando em três tipos: i) orbital, sensores instalados a bordo de satélites artificiais; ii) aéreo, sensores implantados a bordo de aeronaves; e iii) de campo/laboratório, aqueles implantados em estruturas terrestres (FLORENZANO, 2002). Devido ao foco do presente estudo estar voltado aos Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTs), será aqui destacado o nível dos sensores aéreos.

Nos processos de identificação e monitoramento de impactos causados por desastres de grande magnitude, o sensoriamento remoto já vem sendo utilizado. Áreas atingidas por terremotos, tsunamis, tempestades, tornados, grandes inundações e erupções vulcânicas, por exemplo, têm sido mapeadas por diferentes formas de sensoriamento remoto, tanto aéreo, como orbital (JENSEN, 2009). A principal característica requerida do sensoriamento remoto em áreas atingidas por desastre é o provimento de informações em poucas horas, dotadas de alta resolução espacial (preferencialmente sub-métrica), a fim de que seja realizada a avaliação da área de influência e dos impactos ocorridos e o planejamento imediato das ações de resposta (MEULEMAN *et al.*, 2007).

A resolução espacial, segundo Novo (1992), mede a menor separação angular ou linear entre dois objetos, correspondendo à capacidade do sistema sensor em detectar objetos de diferentes dimensões e formas. A resolução de um sistema sensor, entretanto, corresponde a uma habilidade de distinguir entre respostas que são semelhantes espectralmente ou objetos espacialmente próximos, podendo ser classificada em espacial, espectral, radiométrica e temporal (NOVO, 1992).

A resolução espectral, por sua vez, mede a largura das faixas espectrais e permite a distinção entre dois níveis de intensidade do sinal de retorno correspondendo, portanto, ao número e ao intervalo das bandas espectrais medidas pelo sistema sensor (NOVO, 1992). Já a resolução radiométrica se refere ao número de quantização digital usado para expressar o dado coletado. Mather (2014) ainda afirma que quanto maior o número de níveis de quantização, maior a quantidade de detalhes na informações coletadas pelo sensor. E a resolução temporal, por fim, se refere ao intervalo de tempo mínimo pelo qual um sistema sensor é capaz de realizar uma aquisição de dados em determinada localidade (MATHER, 2014).

Jensen (2009) afirma que sistemas sensores, para situações emergenciais em caso de acidentes e desastres ambientais, devem ser capazes da obtenção de imagens em até doze horas após a incidência do evento. Imagens potencialmente capazes de preencher os requisitos de alta resolução espacial são provenientes de aerofotogrametria convencional ou de modernos sensores orbitais, como os dos satélites *QuickBird*, *Geoeye-I* e *Worldview-II*. O conceito de fotogrametria e aerofotogrametria será abordado adiante, nesse mesmo capítulo. O autor afirma que os sensores orbitais dependem da localização do equipamento na órbita terrestre para gerarem determinada imagem, sendo igualmente dependentes das condições atmosféricas para gerarem imagens sem interferências de nuvens.

Jensen (2009) afirma que os sensores embarcados em aviões convencionais e utilizados em aerofotogrametria dependem de condições logísticas, como existência de aeroportos próximos para sua decolagem e aterrissagem, assim como de autorizações do Departamento de Aviação Civil (DAC). Não obstante, ambas as opções de aquisição de imagens apresentam elevado custo financeiro e certa complexidade logística e operacional.

Por se tratar de uma alternativa com flexibilidade para obtenção de imagens em momentos específicos, em alguns casos é utilizado o helicóptero tripulado. Apesar de se apresentar como uma opção onerosa e normalmente desprovida de parâmetros técnicos adequados para sensoriamento remoto, dependendo da finalidade, pode ter seu uso justificado. Por essas razões, essas tecnologias não têm sido utilizadas para aplicações em desastres ambientais localizados. Neste tipo de aplicação, costuma ser realizada avaliação terrestre em campo (LONGHITANO, 2010).

Visto ser de grande importância o conhecimento da extensão da área afetada por um determinado desastre e realizar a quantificação preliminar dos danos por ele causado, para fins de dimensionamento das ações de resposta e da mobilização, há de se considerar o uso das distintas tecnologias de sensoriamento remoto hoje disponíveis. Há desastres para os quais uma resolução espacial da ordem de duzentos e cinquenta metros (como acontece no caso do sensor denominado *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer* - MODIS, a bordo dos satélites Terra e Aqua) mostra-se suficiente para a avaliação global da área afetada e da extensão dos danos. Tratam-se normalmente de desastres relacionados a inundações, secas e incêndios florestais, distribuídos sobre grandes áreas. No entanto, há desastres que demandam imagens com melhor resolução espacial para avaliação da extensão do impacto e para a estimativa de danos, como os deslizamentos de massa, que necessitam de tamanhos de pixel inferiores a dez metros, sendo ideal 1 metro ou menos (SAUSEN e LACRUZ, 2015).

Ocorre, com os deslizamentos de massa, colapso de edificações, acidentes em rodovias e alguns outros desastres, a incidência do impacto em pequena extensão territorial (em áreas inferiores a 50 hectares) e às vezes com grande intensidade de geração de resíduos sólidos. A avaliação de impactos, nesses casos, costuma ter caráter emergencial, sendo que as imagens de sensoriamento remoto para este fim devem ser dotadas de altíssima resolução espacial, além de serem obtidas em momentos determinados, sem possibilidade de planejamento prévio. (LONGHITANO, 2010).

É possível identificar, em âmbito global, uma tendência de substituição do uso de aviões tripulados pelos VANTs no mercado de aerolevantamentos fotogramétricos. Essa tendência se sustenta em algumas vantagens oferecidas por este tipo de veículo em relação aos veículos aéreos tripulados ou às plataformas orbitais, entre as quais, podem ser pontuadas: i) redução dos

custos na obtenção de imagens/fotografias aéreas; ii) maior flexibilidade de resolução temporal para aquisição de imagens de alta resolução espacial; iii) possibilidade de execução de missões em condições adversas (como na presença de nuvens); e iv) ausência do risco de vida para o piloto ou operador da câmera aerofotogramétrica, como costuma ocorrer no caso da ocorrência de grandes queimadas e incêndios (NEPOMUCENO, 2016; WATTS *et al.*, 2012).

Em muitas situações, as operações com VANTs podem oferecer um melhor retorno sobre o investimento do que o uso de imagens de satélite ou da fotografia aérea de helicópteros ou aviões. Isso é particularmente verdadeiro quando se fazem necessárias imagens detalhadas de eventos localizados e em casos em que as imagens precisam ser tomadas repetidamente (FSD, 2016).

3.2 Veículos aéreos não tripulados

Conforme já mencionado, VANT é abreviação de Veículo Aéreo Não Tripulado, sendo a nomenclatura em português para *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV) ou *Unmanned Airbone Vehicle* (UAV). Segundo o relatório do Departamento de Defesa dos Estados Unidos - *Department of Defense* (DoD), denominado *Unmanned Aircraft Systems Roadmap 2005 - 2030*, que é um dos principais e mais completos documentos sobre o estado da arte da tecnologia, UAVs são:

"Veículos aéreos que não carregam operador humano, utilizam forças aerodinâmicas para se elevar, podem voar de forma automática ou ser pilotados remotamente, podem ser descartáveis ou recuperáveis e podem transportar cargas bélicas ou não bélicas. Excluem-se desta definição, veículos balísticos como mísseis de cruzeiro, e projéteis."
(DoD, 2005).

Recentemente surgiram os termos *Unmanned Aerial Systems* (UAS) e *Unmanned Aerial Vehicles Systems* (UAVS) que visam, ao adotar o termo *systems* (sistemas), apresentar uma nomenclatura mais adequada, expressando um conceito que abrange os outros componentes, sejam de hardware ou software, além do veículo aéreo, como a estação de comando, a

navegação, a telemetria, o(s) sensor(es), etc. No entanto, tanto o DoD quanto a *Federal Aviation Administration* dos Estados Unidos (FAA) adotam a expressão UAS (LONGHITANO, 2010).

Embora existam diferentes terminologias, nota-se que a bibliografia internacional continua a adotar, predominantemente, o termo UAV, sendo que na prática acaba muitas vezes não distinguindo os termos em suas definições. No Brasil, o termo VANT foi o mais difundido e comum até pouco tempo atrás (LONGHITANO, 2010), sendo esse o adotado na presente dissertação. Entretanto, atualmente, o termo mais popular para o equipamento estudado é o termo "*drone*".

Ao longo da década de 1970, conhecida como início da área moderna dos VANTs, nos Estados Unidos e em Israel, designers começaram a experimentar projetos menores e mais baratos. Tratava-se de aeromodelos que embarcavam pequenas câmeras de vídeo que transmitiam imagens em tempo real. O desenvolvimento avançado dessas plataformas em Israel, a exemplo, onde há reconhecidamente um conflito histórico e atual por território, possibilitou o avanço tecnológico nos setores de processamento de dados e miniaturização de componentes eletrônicos ocorridos nas últimas duas décadas, favorecendo o desenvolvimento de diversos modelos não apenas militares ao redor do mundo (LONGHITANO, 2010).

Aponta Austin (2014) que os elementos que compõem o sistema VANT são: a estação de base, a carga embarcada (câmeras e baterias) e a aeronave, sendo a estação base o centro do controle da operação, instalada no local onde a aeronave será lançada. A carga embarcada, em geral, é composta por equipamentos de filmagem e fotografia (câmeras fotográficas, de vídeo e câmeras de sensor infravermelho), equipamentos de comunicação, sensores aéreos e de georreferenciamento apropriados para operação em VANTs.

O VANT é responsável por conduzir os sensores e os demais equipamentos necessários ao seu funcionamento. O tipo de plataforma a ser utilizada dependerá da finalidade do voo e do tipo de sensores embarcados. Fatores de influência na escolha da aeronave costumam ser: o tipo de sensor requerido, a resolução espacial demandada, a área a ser mapeada, as possibilidades de operação, entre outros (PARENTE, 2017).

3.2.1 Tipos de VANTs

A tipologia dos VANTs pode variar muito de acordo ao que destinam. Hassanalian e Abdelkefi (2017) apresentam uma extensa visão dos mesmos, e vários métodos atuais de categorização. Entre as mais comuns estão as categorizações baseadas no peso, envergadura, capacidade de carga útil ou alcance de voo e resistência de voo, bem como classificações baseadas em rotor, asa, ou desenho híbrido, ou até capacidades de missão, e se são capazes de decolagem e aterragem verticais - *Vertical Take-off and Landing* (VTOL) ou decolagem e aterragem horizontal - *Horizontal Take-off and Landing* (HTOL). Outras classificações analisam o tipo de aplicação para o qual um drone pode ser usado, por ex. aviões militares ou civis, transporte de componentes ou passageiros.

Acompanhando o avanço tecnológico das aeronaves não tripuladas, a Associação Europeia dos Sistemas de Veículos Aéreos Não Tripulados elaborou uma classificação desses sistemas, apresentando uma visão geral do estado dos equipamentos e considerando características como: a carga máxima na decolagem, a altura máxima de vôo, a autonomia da bateria e o alcance do link de rádio, conforme ilustra a **Tabela 3**, (BENTO, 2008).

TABELA 3 - Classificação dos VANTs segundo a EUROUVS

Categoria	Carga máxima de decolagem (Kg)	Altura máxima de vôo (m)	Autonomia de vôo (h)	Alcance do Data link (Km)
Mini	< 30	150 a 300	< 2	< 10
<i>Close Range</i>	25 a 150	3000	2 a 4	10 a 30
<i>Medium Range</i>	50 a 250	3000	3 a 6	30 a 70
HALE	< 250	> 3000	> 6	> 70

FONTE: Bento (2008)

No Brasil, a Agencia Nacional de Aviação Civil (ANAC), uma das agências reguladoras federais do país, criada em 2005 para regular e fiscalizar as atividades da aviação civil e a infraestrutura aeronáutica e aeroportuária no Brasil, regulamentou o uso de aeronaves não tripuladas por meio do Regulamento Brasileiro de Aviação Civil Especial (RBAC –E) nº 94, de 03 maio de 2017. O novo regulamento dividiu as aeronaves não tripuladas em: i) aeromodelos

(drones usados para fins recreativos) e ii) aeronaves remotamente pilotadas, ou *Remotely Piloted Aircraft* (RPA), drones utilizados para operações comerciais, corporativas ou experimentais.

Para os RPAs, o RBAC –E nº 94 de 2017 estabeleceu uma classificação determinada pelo peso máximo de decolagem, onde os equipamentos com peso superior a 150kg integram a Classe I. Pertencem à Classe II aqueles que apresentam peso acima de 25kg e abaixo de 150kg. Finalmente, os equipamentos com peso inferior a 25kg, e que são os alvos deste estudo, integram a Classe III, conforme apresentado na **Tabela 4**:

TABELA 4 - Classificação dos VANTs segundo a ANAC

Classificação	Carga máxima de decolagem (Kg)
Classe I	> 150Kg
Classe II	entre 25Kg e 150Kg
Classe III	< 25Kg

FONTE: ANAC (2017)

Conforme já mencionado, os VANTs também podem ser tipificados a depender de sua forma construtiva. Podemos classificá-los como: i) asa-fixa, ii) multirotores e iii) híbridos. Dentre esses, os multirotores são os que apresentam menor custo e maior comercialização no Brasil e no mundo, e são eles os principais objetos do presente estudo. Entretanto, é válida uma breve apresentação dos três tipos mencionados.

Os drones de asa fixa têm um desenho de duas asas, e são normalmente usados para cobrir distâncias mais longas e transportar cargas mais pesadas. São frequentemente preferidos para projetos de mapeamento de maiores áreas ou para projetos que exigem o transporte de carga por longas distâncias. Eles podem operar em condição de ventos de até 50 km/hora, e normalmente podem permanecer no ar entre 30 minutos até várias horas, dependendo do modelo. A maioria dos drones de asa fixa voa de forma automatizada, seguindo caminhos de voo pré-determinados, sendo que o piloto no solo apenas monitora o progresso do voo e faz ajustes quando necessário. Uma grande desvantagem dos drones de asa fixa é que eles geralmente exigem uma faixa de espaço aberto para pouso e decolagem. Tais espaços podem ser difíceis de encontrar em ambientes montanhosos, densamente florestados ou densamente construídos. (FSD, 2017).

A **Figura 2** ilustra um mini VANT de asa fixa modelo Zangão 5, desenvolvido em 2014 pela SkyDrones, uma empresa brasileira sediada em Porto Alegre.

FIGURA 2 - Mini VANT de asa fixa, modelo Zangão 5
FONTE: SKYDRONES, 2014

O equipamento possui estabilização autônoma das atitudes em vôo obtido pelo sistema de controle embarcado. A sua decolagem pode ser feita por arremesso manual ou com uso de mini catapulta, e o pouso pode ser realizado por paraquedas. A plataforma é capaz de embarcar câmeras especiais, como: a Infra Vermelha ou *Infra-Red* (IR); a Infra-Vermelho Próximo ou *Near Infra-Red* (NIR), ou câmera fotográfica de alta resolução espacial (ex., Sony e6000 25Mp), além de acessórios como: sensor de altitude, sistema de posicionamento global, bússola magnética, entre outros. A aeronave possui envergadura de 1,6m e pesa 2kg, podendo carregar consigo outros 1,1kg em acessórios. O Zangão 5 possui uma autonomia de vôo aproximada de 45 minutos, e velocidade de cruzeiro variando entre 16 e 25 m/s. Esse modelo é capaz de cobrir uma área aproximada de 200 hectares voando a uma altura de 100m do solo. O custo aproximado do Zangão 5 é de R\$52.000,00 (SKYDRONES, 2014).

O sistema de posicionamento global, segundo Rosa (2005), é um sistema de rádio navegação baseado em satélites, que possibilita a seus usuários saberem a sua localização e velocidade, sob quaisquer condições atmosféricas e em qualquer ponto do globo terrestre. No mundo, o sistema mais empregado é o *Global Positioning System* (GPS), desenvolvido pelo departamento de defesa norte americano, sendo esse o utilizado no presente estudo.

Os multirotores, por sua vez, são usualmente constituídos de dois, três ou quatro pares de hélices fixas idênticas, sendo que duas delas rotacionam no sentido horário e as outras duas no sentido anti-horário (STAFFORD, 2015). As novas gerações de multirotores vêm sendo projetadas com emprego de sistemas de rádio controle, GPS e sensores eletrônicos para estabilizar e executar os movimentos. Os sensores de aceleração atualmente empregados são precisos e velozes, capazes de manter sob controle automático alguns dos efeitos repentinos de torção. Esses efeitos costumam ocorrer com mais frequência e mais rapidamente do que nos helicópteros tradicionais, isso porque o centro de gravidade do veículo se encontra ligeiramente abaixo da hélice. Para corrigir esse problema, sensores piezelétricos são utilizados, determinando a velocidade de rotação das hélices. Um sistema acoplado que recebe as informações destes sensores controla a rotação dos quatro motores elétricos para manter estável o voo. Devido à ausência de mais peças móveis além dos motores e eixos, esse tipo de quadricóptero é muito menos suscetível a falhas mecânicas que um helicóptero tradicional (ALMEIDA, 2014).

Um VANT multirotor moderno pode ser transportado e operado com facilidade por uma pessoa pouco treinada, dispensando dispositivos de decolagem ou de aterrissagem, além de apresentar um baixo custo de aquisição se comparado aos demais VANTs ou sistemas para aquisição de dados fotogramétricos. Alguns exemplos de VANTs de última geração são: *Phantom IV*, *Mavic Pro*, *Yuneec Q500* e *Syma X5C*.

A **Figura 3** ilustra um mini VANT quadrirotor (multirotor dotado de dois pares de hélices) modelo Phantom IV Pro, lançado em março de 2016 pela fabricante chinesa *Da-Jiang Innovations* (DJI).

FIGURA 3 - Mini VANT quadrirotor, modelo Phantom IV Pro
FONTE: DJI, 2016

O Phantom IV Pro, pesa 1,37kg e possui envergadura de 0,33m, e leva embarcada uma câmera fotográfica de 20 Megapixels (Mp). Esse modelo pode rapidamente atingir uma velocidade de cruzeiro de aproximadamente 15m/s, e cobrir uma área de aproximadamente 65 hectares sobrevoando a uma altitude de 100m. O custo atual da aeronave gira em torno de R\$7500,00.

Os drones híbridos são relativamente novos e estão equipados com asas e rotores. Essa configuração permite a decolagem e aterrissagem vertical, e fornece às aeronaves a capacidade de voar horizontalmente como os modelos de asa fixa. Essa característica permite a cobertura de distâncias muito maiores que as realizadas por multirotores, além de possibilitar o transporte de cargas mais pesadas. Os drones híbridos se apresentam promissores para a entrega de cargas, onde a combinação de longos períodos de voo, e decolagem e pouso verticais são aspectos fundamentais. (FSD, 2016).

A **Figura 4** ilustra um VANT híbrido do modelo Tron, lançado em 2016 pela fabricante alemã Quantum Systems.

FIGURA 4 - VANT híbrido modelo Tron
FONTE: QUANTUM, 2018

O Tron pesa aproximadamente 11kg, e possui envergadura de 3,5m, sendo capaz de cobrir uma área aproximada de 700 hectares, sobrevoando a uma altitude de 100m. Esse modelo de VANT pode voar a uma velocidade de cruzeiro de até 44 m/s por 90 minutos. O custo do Tron é de aproximadamente R\$140.000,00.

Conforme Stepaniak (2008), para determinadas aplicações, os VANTs multirrotor apresentam algumas vantagens relevantes sobre os modelos de asa fixa. Um multirrotor, por exemplo, não é obrigado a manter velocidade mínima de curso para se sustentar no voo. Além disso, uma mudança abrupta de posição pode ser realizada em áreas congestionadas, sendo que o mesmo não poderia ser realizado pelo drone de asa fixa, devido ao raio de curva necessário para a manobra. Outro aspecto seria a capacidade de pairar sobre uma localização, permitindo que a câmera fotográfica, o *Light Detection And Ranging* (LIDAR), ou outros sensores, sejam treinados em um alvo de vigilância. Aspectos como a maior facilidade de decolagem e de pouso, melhor manobrabilidade e menor custo de aquisição despontam como vantagens importantes desses modelos com relação aos demais, diante da necessidade requerida no presente estudo.

A **Tabela 5** apresenta alguns aspectos técnicos de distintos modelos de VANTs: Zangão 5 (asa fixa), Phantom IV Pro (multirrotor) e Tron (híbrido).

TABELA 5 - Aspectos técnicos de mini-VANTs comerciais

Modelo	Tempo de voo (min)	Peso (kg)	Cobertura aprox.* (ha)	Velocidade máxima (m/s)	Custo aproximado (R\$)
Zangão 5 (Asa fixa)	45	2	200	25	52.000,00
Phantom 4 Pro (Multirotor)	30	1,37	65	15	7.500,00
Tron (Híbrido)	90	11	700	44	140.000,00

FONTE: SKYDRONES, 2014; DJI, 2018; QUANTUM, 2018

*sobrevôo a 100m de altura.

Einsebeiss (2009) afirma que os VANTs podem ser diferenciados por sua capacidade de voar de forma autônoma, automatizada ou manual. No primeiro caso, não há interferência de um operador, sendo que no segundo, em havendo a necessidade de intervenção, a aeronave pode ser conduzida por um operador ou "piloto" situado em terra, por meio de um controle remoto. O voo manual, por fim, é todo realizado pelo operador.

3.2.2 Legislação e regras para o uso de VANTs no Brasil

Alvos desse estudo, os drones pertencentes à Classe III (Vide Tabela 3), segundo Norma Regulamento Brasileiro de Aviação Civil Especial – RBAC –E nº 94, com operação de voo de até 400 pés (ou 120 metros) acima da linha do solo e em linha de visada, não precisarão de projeto autorizado, mas deverão ser cadastrados na ANAC por meio do Sistema de Aeronaves Não Tripuladas (SISANT). Também deverão ser homologados junto a Agência Nacional de Telecomunicações (ANATEL), e registrados no Sistema de Acesso ao Espaço Aéreo Brasileiro (SARPAS) do Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA) - organização responsável pelo controle do espaço aéreo brasileiro, provedora dos serviços de navegação aérea que viabilizam os vôos e a ordenação dos fluxos de tráfego aéreo no país.

O Regulamento Brasileiro da Aviação Civil Especial – RBAC-E aborda os requisitos gerais de competência da ANAC para aeronaves não tripuladas, com a finalidade de regular matéria exclusivamente técnica que possa afetar a segurança da aviação civil. Nele são tratados: a classificação do RPAS, a responsabilização e requisitos dos envolvidos nas operações de

sobrevôo, as sanções quanto ao descumprimento das regras e a necessidade do porte de documentos, além das regras de voo.

As Circulares de Informações Aeronáuticas (AICs) publicadas pelo DECEA, objetivam a divulgação de regras, preceitos, critérios, programas de trabalho, recomendações e procedimentos diversos, de caráter determinativo e diretivo, visando a facilitar, de maneira inequívoca, a aplicação de leis, decretos, portarias e regulamentos. As circulares AIC-N 17/18 , AIC-N 23/18 e AIC-N 24/18 tratam, respectivamente, de instruções para o uso de aeronaves remotamente pilotadas: para uso recreativo, para uso em proveito dos órgãos ligados aos governos federal, estadual ou municipal, e para uso exclusivo em operações dos órgãos de segurança pública, da defesa civil e de fiscalização da receita federal - considerando como ações de Defesa Civil as medidas que visam a socorrer, dar assistência, prevenir e limitar os riscos e perdas a que estão sujeitos a população, os recursos públicos e os bens materiais de toda espécie, tanto por agressão externa, quanto em consequência de calamidades e desastres da natureza.

3.2.3 Aplicações dos mini-VANTs comerciais

De forma geral, as aplicações mais comuns para drones são: mapeamento, busca e salvamento, monitoramento e entrega de carga. Os drones têm sido usados para acelerar ou aumentar a qualidade das avaliações de danos localizados, planejar a redução do risco de desastres, planejar intervenções humanitárias, melhorar os acampamentos e unidades de abrigo e fornecer pequenos itens essenciais. Os drones também mostram um grande potencial em configurações táticas, como o apoio ao trabalho de equipes de busca e salvamento e equipes de campo (FSD, 2016).

O uso de drones na ação humanitária é um campo que está emergindo rapidamente, com o escopo de atividades que vão desde o mapeamento, monitoramento e avaliação de danos até o fornecimento de itens essenciais para locais remotos ou inacessíveis (FSD, 2016).

Após o terremoto de 2015 ocorrido em Kathmandu, no Nepal, profissionais envolvidos no desenvolvimento de drones e de software de processamento de dados trabalharam em sessões de treinamento com moradores locais e missões de campo usando drones multirotores comerciais

do tipo Phantom 3, da DJI. O mapeamento detalhado de uma das áreas mais atingidas pelo desastre, com 1,5Km², levou quase dois dias para ser concluído através do uso de seis drones. Os mapas resultantes dos levantamentos realizados foram usados para planejamento local pelo comitê de gerenciamento de desastre da comunidade local. (FSD, 2016)

No mesmo ano, em Vanatu, na Oceania, como parte de um projeto relacionado ao "*World Bank UAVs for Resilience Programme*", equipes de avaliação de danos usaram as imagens tomadas com o drone multirrotor Indago Multicopter após a ocorrência do ciclone Pam, causador da destruição de milhares de casas, afim de verificar os dados terrestres e estimar o prejuízo causado. (FSD, 2016)

No ano de 2016, o Fundo das Nações Unidas para a Infância (UNICEF) apoiou a introdução de drones na coleta de imagens aéreas pelo Gabinete Nacional de Risco e Gestão de Desastres em Antananarivo, Madagascar. Desde então, os drones já foram usados para realizar avaliações de impactos causados por desastres naturais em tempo real, tais como ciclones, enchentes e secas. (FSD, 2016).

3.3 Fotogrametria

O termo fotogrametria é definido por Wolf e Dewit (2004) como sendo a arte, ciência e tecnologia de se obter informações confiáveis sobre objetos e sobre o ambiente, por meio dos processos de gravação, medição e interpretação de fotografias, imagens e outros elementos. De maneira similar, a *International Society for Photogrammetry and Remote Sensing* (ISPRS) define por fotogrametria: a arte e tecnologia de obter informações confiáveis da superfície da terra, e demais objetos físicos, por meio de medições, análises e representações utilizando fotografias.

Os avanços tecnológicos das últimas décadas possibilitaram expressiva evolução da fotogrametria. Citando aspectos da fotogrametria analógica, analítica e a digital, Tommaselli (2009) destaca os benefícios desses avanços tecnológicos. A primeira, segundo o autor, associa-se a métodos obsoletos de processamento dos dados fotogramétricos, porquanto no período correspondente, os processos dependiam de equipamentos analógicos. Uma vez tornado mais acessíveis e potentes os computadores, desenvolveu-se a fotogrametria analítica. Essa permitiu

um refinamento dos modelos matemáticos e tornou a fotogrametria mais precisa. Na fotogrametria digital, alvo do presente estudo, os dados são coletados eletronicamente e convertidos em uma representação digital.

O posicionamento da câmera e do alvo determina a forma de classificação fotogramétrica. O termo fotogrametria aérea (ou aerofotogrametria) é empregado quando as fotografias utilizadas são coletadas desde uma câmera montada em uma aeronave, como ocorre no caso estudado. (TOMMASELLI *et.al.*,1999).

As fotografias aéreas, por sua vez, podem ser classificadas como verticais e oblíquas. As fotos verticais são aquelas tiradas verticalmente em relação ao aparelho, como nos casos apresentados nesse estudo, enquanto as oblíquas apresentam alguma inclinação em relação ao solo. Essas últimas, por sua vez, são divididas em alto-oblíqua, sempre que mostre o horizonte, ou baixo-oblíqua (TOMMASELLI, 2009).

3.3.1 A modelagem digital

Segundo Andrade (2003), a modelagem digital se destina a reprodução da forma do objeto mapeado. A representação digital de elevações em uma área mapeada é chamada modelo digital de elevação (MDE). Quando as elevações são relativas ao terreno, costuma-se empregar o termo modelo digital do terreno (MDT). Ao se considerar a elevação contida em superfícies acima do terreno, como no caso de construções, árvores, etc., denomina-se modelo digital de superfície (MDS) (WOLF *et.al.*, 2014). Nesta dissertação será gerado um MDS, que servirá como base para a realização de cálculos volumétricos e para a geração do mosaico ortorretificado.

Felgueiras (1998) afirma que a modelagem envolve a criação de estruturas de dados e a definição de superfícies de ajuste, com o objetivo de se obter uma representação contínua do fenômeno a partir de amostras.

A geração de modelos digitais com alta acurácia possibilita a mensuração precisa de áreas e de volumes (AGISOFT, 2016).

3.3.2 A ortorretificação

Por representar uma realidade de projeção cônica central, ao invés de uma projeção ortogonal à superfície mapeada, as fotografias originais não podem substituir mapas topográficos de maneira ideal (LIMA *et.al.*, 2010). Com o avanço tecnológico e a criação da fotogrametria digital, notou-se a possibilidade de utilizar fotografias para geração de mapas topográficos, desde que submetidas aos devidos tratamentos (ortorretificadas).

O princípio elementar de produção de ortofotos digitais consiste na transformação da projeção central na imagem em projeção ortogonal ao plano, fazendo com que as feições nela contidas sejam apresentadas em suas verdadeiras posições. Essa tarefa demanda o conhecimento da inclinação, posição e distorção da câmara aérea no instante da tomada das fotografias, além de informações confiáveis do terreno obtidas por meio de um modelo digital (ANDRADE, 2003). O processo de ortorretificação, afirmam Hu *et.al.* (2004), pode gerar produtos utilizáveis cartograficamente, permitindo medições confiáveis de ângulos e distâncias.

Segundo Gripp (2009) para que seja gerada uma imagem ortorretificada devem ser realizadas as correções relacionadas ao relevo, de forma que os elementos que são visualizados sobre esta imagem estejam em linhas de visadas perpendiculares ao plano da mesma. Segundo esse autor, primeiramente, é realizado um ajustamento de observações a partir das coordenadas da imagem e das coordenadas dos pontos de controle terrestre. Em seguida, cada ponto é extraído do MDS e relacionado à altitude correspondente, para que seja efetuado o cálculo matemático da posição corrigida do pixel. Por fim, é realizada uma interpolação para os valores dos níveis de cinza dos pixels, gerando a matriz da ortoimagem.

Como resultado do processo de ortorretificação, tem-se uma imagem corrigida planimetricamente e, de acordo com Jensen (2011), dotada de boa precisão planimétrica que garante confiabilidade para seu uso como mapa digital, capaz de possibilitar medições de localização, ângulos, distâncias e áreas.

3.3.3 Softwares de processamento de imagens de VANTs

O incremento do uso de VANTs nos últimos anos levou ao desenvolvimento expressivo e sofisticado de programas computacionais denominados "de mapeamento 3D", ou "*3D mapping softwares*" (em inglês), capazes de gerar de forma prática os mosaicos ortorretificados a partir de conjuntos de imagens.

Dentre os programas computacionais desenvolvidos para o processamento das imagens coletadas com a utilização de mini-VANTs afim de gerar modelos digitais e mosaicos ortorretificados, também denominados "softwares fotogramétricos", podem ser citados alguns disponíveis no mercado, como: 3DfZephyr, SURE, MicMac, Visual SFM, Context Capture, sendo os mais populares e conceituados o Pix4D e o Agisoft PhotoScan Professional Edition (PSPE), esse último empregado no presente estudo.

O PSPE é um software fotogramétrico elaborado para geração automática de nuvens de pontos, modelos poligonais texturizados, mosaico ortorretificados georreferenciados e modelos digitais de superfície e de terreno a partir de imagens estáticas. A ferramenta permite um processamento rápido (normalmente dentro de algumas horas, a depender do processador utilizado, material utilizado e qualidade de processamento requerida), fornecendo resultados precisos. O software é intuitivo e pode ser utilizado por usuário pouco especializado. O programa conta com ferramentas incorporadas para medir distâncias, áreas e volumes, a fim de viabilizar análises métricas mais sofisticadas. Além disso, os arquivos gerados no PSPE podem ser transferidos e utilizados em outros softwares. (AGISOFT, 2016).

Segundo Pereira e Tamamaru (2013), têm-se utilizado técnicas automáticas implementadas em softwares baseados em algoritmos SfM (*Structure from Motion*, da sigla em inglês) para o processamento de imagens coletadas com VANT, que possibilitam a segmentação de pontos chave em imagens tomadas pelas câmeras, em diferentes angulações. Esses pontos, então, são representados nos planos X, Y e Z.

O algoritmo SfM foi desenvolvido para a obtenção de uma cena tridimensional a partir de uma série de imagens obtidas por um sensor (VIANA, 2015), onde o primeiro passo refere-se ao rastreamento de pontos notáveis entre as fotos inseridas no processamento. Uma vez rastreados estes pontos, suas coordenadas são computadas, e estes passam a integrar a chamada nuvem

esparça de pontos, caracterizada pela distribuição espacial dos pontos identificados pelo sistema no conjunto das fotos fornecidas. Em seguida, é gerada uma segunda nuvem de pontos, chamada de nuvem densa de pontos. A partir desta, o sistema é então capaz de gerar uma superfície, ou malha, denominada "*mesh*" em inglês. Segundo Patias (2001), "*mesh*" é definido como um conjunto de faces triangulares ou quadriláteras, unidas por arestas, representando as elevações da superfície.

No ano de 2013, testes experimentais foram realizados na Universidade Politécnica de Milão afim de validar os sistemas de sensores vetoriais e avaliar a precisão métrica das imagens adquiridas pelos VANTs. Para tal, um conjunto de fotografias foi tirado desde sistema VANT e processado por meio de diferentes softwares. Um VANT denominado SenseFly equipado com uma câmera Canon Ixus 220HS sobrevoou a área de estudo a uma altura de 130m, produzindo um bloco de 49 imagens divididas em 5 linhas. Dezesesseis pontos de controle pré-sinalizados foram utilizados. Os valores aproximados dos parâmetros de orientação exterior (posições e altitudes) foram registrados pelo sistema de controle de voo. O bloco foi processado com os softwares Erdas-LPS, EyeDEA (Universidade de Parma), PSPE e Pix4D, de forma assistida ou automática, a depender do software. As comparações de resultados são dadas em termos de diferenças entre modelos digitais de superfície, e diferenças nos parâmetros de orientação e precisão, quando disponíveis. Graças às análises do MDS, pode-se dizer que o PSPE parece ser capaz de alcançar os resultados mais confiáveis. Vale mencionar que isso se dá por uma comparação de detalhes e não por uma análise global, pois, de fato, todos os produtos não tiveram erros sistemáticos. Além disso, a PSPE forneceu o melhor produto, especialmente em áreas planas e na presença de sombras (GINI *et.al.*, 2013).

Em 2016, Aicardi *et.al.* avaliaram a possibilidade de utilizar imagens oblíquas obtidas com VANT para a reconstrução em 3D de um edifício histórico. Um quadricoptero dotado de câmera digital *Commercial Off-the-Shelf* (COTS) tradicional - mais compacta, econômica e mais leve que os dispositivos geralmente utilizados, foi empregado afim de se obter um levantamento arquitetônico de alto nível de detalhe. Os dados adquiridos foram processados com uso da abordagem SfM implementada nos diferentes softwares: PSPE, Pix4D, 3Df Zephyr, SURE, MicMac, VisualSFM e ContextCapture. Comparando imagens, gráficos e tabelas referentes a cada nuvem de ponto derivada de diferentes softwares, foi possível observar que cada nuvem 3D

obtida é muito rica e pode ser realizada em pouco tempo, desde que empregados o hardware e software adequados. Os resultados indicaram que o PSPE e a Pix4D apresentaram melhor desempenho que as demais ferramentas sendo que, em ambos os casos, o desvio padrão foi inferior a 2cm. Como observação geral, é possível afirmar que os softwares PSPE e Pix4D combinam uma interface amigável com bons resultados.

Dependendo do caso, como no exemplo mencionado que trata do experimento realizado na Universidade Politécnica de Milão, são empregados pontos de controle visando à obtenção de melhores resultados.

3.3.4 Pontos de controle e pontos de verificação

Os chamados pontos de controle e pontos de verificação são pontos visualmente identificáveis, podendo ser objetos, alvos ou detalhes no terreno e que irão aparecer nas imagens aéreas. No caso dos pontos de controle, são utilizados para fazer a relação entre o sistema de coordenadas da imagem com o sistema de coordenadas do terreno. Basicamente são representados por pontos de referência no solo que são utilizados no processamento das imagens, aumentando a qualidade dos produtos finais. Sua função é servir de referência para “amarrar” o bloco fotogramétrico ao terreno. (SANTOS *et al.*, 2016)

Já os pontos de verificação, afirmam os autores, são utilizados para verificação (atestar) da acurácia (qualidade posicional) dos produtos cartográficos gerados. Por meio deles é possível calcular a discrepância entre dois pontos (terreno e imagem); essa discrepância é conhecida como Erro Médio Quadrático (EMQ), ou *Root Mean Square* (RMS), e ela atesta a qualidade posicional dos seus produtos.

Na “fotogrametria clássica”, aquela efetuada com aviões tripulados, os pontos de controle tinham uma grande importância no processamento dos dados, uma vez que os softwares disponíveis não eram capazes de processar as imagens sem uma referência em solo. Entretanto, atualmente, com o avanço da visão computacional, os algoritmos dos softwares estão mais sofisticados e os pontos de controle já não são mais um pré-requisito para o pós-processamento

dos dados, ainda que sua utilização influencie diretamente na qualidade dos produtos gerados, afirma Nepomuceno (2016).

3.3.5 Análise das imagens

A interpretação visual de imagens, também conhecida como fotointerpretação, e os procedimentos de classificação por meio do processamento digital de imagens são os dois conjuntos de técnicas orientadas para a extração de elementos da paisagem a partir da análise de imagens (CROSTA, 1992).

A interpretação visual de imagens, técnica utilizada nesse estudo, consiste na análise conjunta dos seguintes elementos de interpretação: tonalidade, forma, tamanho, textura, sombra, padrão e situação ou localização; afim de identificar e mapear determinadas características, objetos ou fenômenos nelas representados (LUCHIARI *et al*, 2011). A execução desses procedimentos pode ser realizada de forma analógica, com a geração de sobreposições (ou *overlays*) sobre imagens de satélite impressas ou fotografias aéreas analógicas, e de maneira digital, como é mais usual, por meio da interpretação visual de imagens digitais no monitor do computador, com a posterior vetorização manual dos objetos de interesse de classificação com o uso do mouse (JENSEN, 2009).

Ainda, é possível a otimização dos resultados da interpretação visual com o emprego da estereoscopia, caracterizada pela visualização da superfície representada em pares estéreos de fotografias aéreas verticais em terceira dimensão, e que se dá por meio da visualização simultânea de uma mesma área ou objeto nas imagens sob ângulos diferentes. De acordo com Sampaio (2007), a execução dos procedimentos de interpretação visual de fotografias aéreas pode subsidiar a realização de diversos tipos de mapeamentos, entre eles: traçado de rodovias, categorização do uso da terra e mapeamento de redes de drenagem. No entanto, o autor destaca que, para o controle sobre o processo, devem ser realizadas vistorias de campo afim de estabelecer relações diretas entre as características dos objetos no campo e na imagem, para auxiliar na correta identificação dos mesmos.

Já a classificação digital de imagens, afirmam Lillesand e Kiefer (1987), pode ser compreendida como sendo o processo de se atribuir a cada unidade da imagem, pixel ou região previamente segmentada, um atributo qualitativo de classe ou categoria num dado conjunto de possibilidades de classes que descrevem uma determinada característica ou objeto do mundo real. Um exemplo seria a identificação de classes de uso urbano da terra ou de classes de vegetação em diferentes estágios sucessionais.

3.3.6 Padrão de Exatidão Cartográfica

No ano de 1984, através do Decreto nº 89.817, ficaram estabelecidos os critérios para classificação de cartas quanto à sua exatidão e à distribuição de erros ao longo das mesmas utilizando um indicador estatístico da qualidade posicional denominado de “Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC)”. Na época, o objetivo foi assegurar a exatidão cartográfica do produto analógico, considerando as peculiaridades de cada escala de representação. A evolução tecnológica, a popularização de equipamentos que usam dados e informações geoespaciais, e as demandas dos usuários tornaram necessário o estabelecimento de novos padrões de qualidade para os produtos cartográficos. Atendendo à tais necessidades, as Especificações Técnicas dos Produtos dos Conjuntos de Dados Geoespaciais (ET-PCDG) definiram os elementos da qualidade para cada tipo de produto. Dentre estes elementos, encontram-se os relativos à acurácia posicional, onde a acurácia absoluta figura como elemento de qualidade da geometria dos dados geoespaciais. Assim, o atributo geometria de um dado vetorial, quando produzido para o Sistema Cartográfico Nacional (SCN), e por consequência, para a Infraestrutura Nacional de Dados espaciais (INDE), deve atender ao padrão da qualidade geométrica ou posicional. (INDE, 2011)

Segundo o § 4º do item 2. do Art. 8º do Decreto nº 89.817, de 20 de junho de 1984, devem ser considerados sinônimos os termos: Desvio Padrão (DP), Erro Padrão (EP) e Erro Quadrático Médio (EQM). Visando expor de forma concisa os conceitos relacionados à qualidade posicional desejada para os produtos cartográficos digitais, as novas especificações técnicas dos produtos cartográficos digitais utilizam os termos acurácia e exatidão. Portanto, há necessidade de se esclarecer a relação entre os termos desvio-padrão e acurácia (ou exatidão).

Mônico *et al.* (2009), indicam que a definição original de Gauss para acurácia relaciona os efeitos sistemáticos e aleatórios dos erros nas medições, enquanto que a precisão se relaciona apenas com seus efeitos aleatórios, o que pode ser resumido na afirmação de que o termo acurácia por si só envolve a medida de precisão. Ainda, segundo os autores, não é necessária a análise conjunta da acurácia e precisão de produtos cartográficos, sendo suficiente somente a análise de sua acurácia, pois esta engloba a tendência e a precisão dos erros. Em suas conclusões os autores afirmam não fazer sentido dizer que um valor acurado é preciso ou não, pois a precisão faz parte da própria definição de acurácia. No presente trabalho, portanto, serão empregados os termos Acurácia Posicional Absoluta (APA) e Exatidão Cartográfica (EC) como referência na avaliação da acurácia ou exatidão de um produto cartográfico, sendo o Erro Padrão (EP) uma de suas componentes.

Um produto digital, para ser admitido como referência do SCN, deve cumprir as especificações do PEC-PCD (Padrão de Exatidão Cartográfica - Planimetria Cartográfica Digital), onde os produtos digitais foram agrupados em 4 classes denominadas: “A”, “B”, “C” e “D”, baseando-se no Decreto 89.817, de 20 de junho de 1984. Conforme o PEC, noventa por cento dos pontos medidos em campo com método de alta precisão, quando comparados às coordenadas do produto, devem apresentar menores valores de erro do que o estabelecido na tabela de precisão e erro padrão. As escalas abrangidas no documento de padrão de estruturas de dados são 1:1.000; 1:2.000; 1:5.000; 1:10.000; 1:25.000; 1:50.000; 1:100.000 e 1:250.000 (INDE, 2011).

O PEC-PCD e o erro padrão das classes B, C e D correspondem, nessa ordem, as classes A, B, C do PEC Planimétrico. A classe A do PEC-PCD corresponde a 0,27 vezes a equidistância do produto cartográfico, e o erro padrão equivale a um sexto ($1/6$) vezes a equidistância do produto cartográfico. As classes B, C e D do PEC-ACD (Padrão de Exatidão Cartográfica - Altimetria Cartográfica Digital) correspondem, em ordem, as classes A, B, C do PEC Altimétrico.” (INDE, 2011)

Abaixo, as **Tabelas 6 e 7** mostram, respectivamente, os valores de precisão e erro padrão do PEC digital para planimetria, valores do PEC digital altimétrico para Pontos Cotados, MDT, MDS e MDE.

TABELA 6 - Valores do PEC digital para planimetria

P E C	P E C - P C D	1:1000		1:2000		1:5000		1:10000		1:25000		1:50000		1:100000		1:250000	
		PEC (m)	EP (m)	PEC (m)	EP (m)	PEC (m)	EP (m)	PEC (m)	EP (m)	PEC (m)	EP (m)	PEC (m)	EP (m)	PEC (m)	EP (m)	PEC (m)	EP (m)
-	A	0.28	0.17	0.56	0.34	1.40	0.86	2.80	1.70	7.00	4.25	14.00	8.51	28.00	17.02	70.00	42.55
A	B	0.50	0.30	1.00	0.60	2.50	1.50	5.00	3.00	12.50	7.50	25.00	15.00	50.00	30.00	125.00	75.00
B	C	0.80	0.50	1.60	1.00	4.00	2.50	8.00	5.00	20.00	12.50	40.00	25.00	80.00	50.00	200.00	125.00
C	D	1.00	0.60	2.00	1.20	5.00	3.00	10.00	6.00	25.00	15.00	50.00	30.00	100.00	60.00	250.00	150.00

FONTE: ET-ADGV 2a. ED, 2011

TABELA 7 - Valores do PEC digital altimétrico para Pontos Cotados, MDT, MDS e MDE

PEC- PCD	1:1000		1:2000		1:5000		1:10000		1:25000		1:50000		1:100000		1:250000	
	PEC (m)	EP (m)	PEC (m)	EP (m)	PEC (m)	EP (m)	PEC (m)	EP (m)	PEC (m)	EP (m)	PEC (m)	EP (m)	PEC (m)	EP (m)	PEC (m)	EP (m)
A	0.27	0.17	0.27	0.17	0.54	0.34	1.35	0.84	2.70	1.67	5.50	3.33	13.70	8.33	27.00	16.67
B	0.50	0.30	0.50	0.30	1.00	0.66	2.50	1.67	5.00	3.33	10.00	6.66	25.00	16.66	50.00	33.33
C	0.60	0.40	0.60	0.40	1.20	0.80	3.00	2.00	6.00	4.00	12.00	8.00	30.00	20.00	60.00	40.00
D	0.75	0.50	0.75	0.50	1.50	1.00	3.75	2.50	7.50	5.00	15.00	10.00	37.50	25.00	75.00	50.00

FONTE: ET-ADGV 2a. ED, 2011

4. Materiais e Métodos

Afim de cumprir os objetivos determinados, adotou-se uma metodologia composta, primeiramente, pela seleção de fotografias aéreas coletadas com mini-VANT comercial em duas áreas distintas, seguida do processamento dessas imagens no PSPE para a posterior avaliação dos produtos gerados. Nessa avaliação, foi observada a possibilidade de identificação, quantificação e caracterização dos resíduos sólidos dispostos na área mapeada. Para a análise da aplicabilidade da tecnologia no diagnóstico da geração de resíduos sólidos pós-desastre, foram considerados os aspectos econômicos e técnicos associados ao uso de mini-VANTs em comparação com o sensoriamento remoto realizado por helicóptero e por plataformas orbitais. Por fim, uma análise dessa aplicabilidade, associada às características físicas dos desastres mais recorrentes no Brasil, permitiu a elaboração de uma cartilha orientadora, elaborada de forma a apontar maior ou menor potencial de obtenção de bons resultados.

As etapas metodológicas empregadas no estudo são apresentadas, de forma sequencial, na **Figura 5**.

FIGURA 5 - Esquema das etapas metodológicas

FONTE : Elaboração do autor

4.1 Seleção das fotografias aéreas

As fotografias aéreas utilizadas nesse estudo foram obtidas de um acervo de mais de 200 mapeamentos pertencente à empresa de consultoria em geotecnologias G-Drones, autora dos mesmos. Ao longo de maio de 2017, foi realizada uma pre-seleção visando obter cenários similares àqueles encontrados após um desastre, onde montes de resíduos estão aleatoriamente dispostos, passíveis de serem estudados. Oito casos com essas características foram pré-selecionados sendo que, por razões práticas, apenas dois compuseram o presente estudo. Os conjuntos de imagens utilizados foram produzidos em dezembro de 2015 e fevereiro de 2016, no município de São Paulo e no interior do Estado do Mato Grosso do Sul, respectivamente.

Os critérios de seleção das fotografias basearam-se em: características físicas das áreas mapeadas, tipo de equipamento utilizado na coleta dos dados e forma como foram coletados.

Optou-se pela escolha de duas áreas para possibilitar a análise comparativa dos resultados obtidos diante de algumas variações no planejamento e execução dos vôos.

Quanto às características físicas, conforme mencionado, buscou-se trabalhar com conjuntos de imagens que apresentam similaridades com os cenários encontrados após a ocorrência de um desastre, quando montes de resíduos gerados encontram-se dispostos de forma aleatória, potencialmente passíveis de serem identificados, quantificados e eventualmente caracterizados. Além disso, foram selecionados conjuntos de fotografias coletados com um mesmo mini-VANT multirrotor comercial, dotado de GPS e câmera fotográfica comerciais simples, associados ao termo inglês "*off-the-shelf*".

O emprego de algumas práticas fundamentais do planejamento e execução do sobrevôo foi aspecto determinante no critério de seleção das áreas a serem estudadas. Buscou-se utilizar sobrevôos realizados entre 30m e 120m de altura, com sobreposição frontal e lateral próxima a 70%, sem a utilização de pontos de controle, e realizados de formas distintas, sendo um de forma automatizada e outro de forma manual.

4.1.1 Áreas de estudo

A primeira área selecionada foi chamada de Jardim Glória (ou Jd. Gloria) na qual, no fim do ano de 2015, a empresa G-Drones realizou um sobrevôo com o intuito de mapear a pavimentação de um conjunto de residências pertencentes ao bairro Jardim Gloria, no município de São Paulo. Este sobrevôo, evidenciou a disposição de resíduos sólidos variados em locais distintos da área mapeada, além de pilhas de britas, passíveis de serem volumetricamente quantificadas.

A área mapeada tem 115.000 m², sendo composta por vegetação na maior parte de sua porção periférica, além de parcela de uma pedreira, resíduos sólidos inadequadamente dispostos e um galpão de equipamentos de transporte. Ao centro, residências, vias pavimentadas e não pavimentadas compõem um cenário de grande variedade de formas, cores e texturas. A **Figura 6** ilustra essa primeira área estudada.

FIGURA 6 - Primeira área de estudo: Jd. Gloria
FONTE: Google Maps, 2018

A segunda área selecionada, denominada *Sonora*, está situada no município de Sonora, no interior do Estado do Mato Grosso do Sul, tendo sido fotografada em fevereiro de 2016 em razão de um fenômeno erosivo denominado voçoroca, ali ocorrido. Na ocasião, tentou-se conter o avanço da erosão com o depósito de resíduos e solo natural ensacado em um ponto específico, fazendo com que a voçoroca deslocasse seu curso em alguns metros, mas naturalmente seguisse seu curso à jusante.

Essa área, composta de 79.900 m², é constituída majoritariamente por vegetação, algumas vias não pavimentadas, resíduos sólidos diversos espalhados, além do fenômeno erosivo ali ocorrido, principal alvo do mapeamento realizado. A **Figura 7** ilustra a segunda área selecionada para estudo.

FIGURA 7 - Segunda área de estudo: Sonora
 FONTE: Google Maps, 2018

4.1.2 Materiais utilizados

Os materiais empregados na coleta das fotografias aéreas pelo operador de voo da empresa G-Drones, bem como os materiais utilizados pelo pesquisador na etapa de processamento de imagens são apresentados na sequência:

a) Coleta de dados (materiais utilizados pela empresa G-Drones):

a1) Sistema Mini-VANT G-Quad, um quadrirotor, montado no Brasil pela empresa G-Drones. A aeronave possui 3,1 kg de peso, considerando a bateria e a câmera, pertencendo à Classe III (vide Tabela 3), segundo classificação da ANAC. O modelo possui 0,75m de envergadura e 0,3m de altura, sendo capaz de voar a uma velocidade de cruzeiro de 36km/h (10m/s) por 35 minutos. A altura máxima de voo deste equipamento é 300m, sendo que, a essa altura, o mesmo é capaz de cobrir uma área de 200ha, desde que sejam empregadas taxas de recobrimento fotográfico de 60%. O modelo é capaz de manter estabilidade para coleta das fotografias em ventos inferiores a 40km/h. Estação base capaz de obter os dados de telemetria e link de rádio em tempo real para visualização a distância

e para controle. Este conjunto de equipamentos integrou o sistema operacional para a obtenção dos dados apresentados. Tais equipamentos são disponibilizados no mercado como acessórios pertencentes aos sistemas VANTs. A **Figura 8** ilustra o sistema empregado.

a2) Câmera fotográfica Canon PowerShot S100, 12.1Mp, 5.2mm (equivalente a filme de 35mm: 24 – 120mm) no caso Jd.Gloria;

a3) Câmera fotográfica Canon PowerShot SX230 HS, 12.1Mp, 5mm (equivalente a filme de 35mm: 28-392 mm) no caso Sonora;

a4) Receptor de sinais do sistema de navegação GPS UBLOX-M8N;

a5) Computador Laptop Dell com Processador 1.6GHz, 8GB RAM, Placa de vídeo de 1GB AMD;

a6) Software de planejamento e execução de vôos: *Mission Planner* 1.3.30.3;

FIGURA 8 - Sistema mini-VANT empregado

FONTE: G-Drones, 2016

b) Processamento dos dados (materiais utilizados pelo pesquisador):

b1) 106 fotografias aéreas com dimensão 4000 x 3000 pixel em formato TIFF, com comprimento de ondas do espectro eletromagnético Vermelho, Verde e Azul, ou *Red, Green and Blue* (RGB), no caso Jd Gloria;

b2) 205 fotografias aéreas com dimensão 4000 x 3000 pixel em formato TIFF, com comprimento de ondas do espectro eletromagnético RGB, no caso Sonora;

b3) Software fotogramétrico Agisoft Photo Scan Professional Edition (PSPE), versão "*trial*" baixado na internet, para a manipulação dos dados geoespaciais;

b4) Computador pessoal Laptop Intel I7 com Processador 2.0GHz, 16GB RAM, Placa de vídeo de 2GB AMD;

4.1.3 Planejamento e execução do sobrevôo

As práticas fundamentais para um bom planejamento e execução de sobrevôo com mini-VANT mencionadas anteriormente, e disseminadas em palestras e cursos disponibilizados na internet por profissionais envolvidos no uso desses equipamentos, tratam desde a escolha do sensor à escolha dos horários adequados do dia para a realização do sobrevôo. Algumas dessas recomendações podem ser encontradas no Manual do Usuário do PSPE (AGISOFT, 2017), e foram consideradas no processo de seleção dos conjuntos de fotografias a serem estudados.

Recomenda-se:

- uso de câmera digital com resolução de 5 Megapixels (Mp) ou mais;
- evitar lentes ultra-largas e fisheye, sendo uma boa escolha a lente focal de 50mm (equivalente de filme de 35mm);
- efetuar imagens com a máxima resolução possível;
- o uso de dados brutos sem perda de conversão para os arquivos no formato TIFF, uma vez que a compressão para o formato JPG pode induzir ruídos indesejados nas imagens;
- evitar o mapeamento de objetos não texturizados, brilhantes, altamente reflexivos ou transparentes. Em caso de necessidade, recomenda-se que objetos brilhantes sejam fotografados sob um céu nublado;
- evitar objetos ou cenas absolutamente planas, ou a movimentação de objetos dentro da cena a ser reconstruída;

- boa iluminação, sendo preferível o período entre 9h e 15h;
- a remoção das fontes de luz dos campos de visão da câmera;
- evitar a utilização de flash.

Além das recomendações elencadas, os demais cuidados e procedimentos empregados nas etapas de planejamento e execução dos vôos no Jd.Gloria e em Sonora, encontram-se detalhados a seguir.

a) Resíduos Jd. Gloria

Segundo as anotações de campo e o relato do operador e planejador do vôo realizado, o mesmo ocorreu às 11h02 do dia 18 de Dezembro de 2015, com duração de 19 minutos e 09 segundos. Foi escolhido um momento do dia em que o vento apresentava intensidade baixa a moderada (entre 5 e 15km/h) e que a posição do sol não interferisse negativamente.

No software de planejamento e execução de vôos *Mission Planner* (MP), foi feita a delimitação manual da área a ser mapeada. Os parâmetros de georreferenciamento foram obtidos de forma direta, ou seja, o posicionamento da câmera no momento de cada fotografia foi coletado pelo GPS instalado a bordo do mini-VANT, e registrado.

Uma vez configurada a câmera a ser utilizada no MP, e delimitada a área a ser recoberta, são selecionadas: a altura de vôo e as taxas de recobrimento lateral e frontal (*side e front overlapping*). O MP dispõe automaticamente de algumas informações do vôo a ser realizado, como: a resolução espacial (GSD), a distância linear das faixas, a distância entre uma foto e outra, o número de fotos estimadas para a missão, o número de faixas, a distância entre uma linha e outra, o tempo de sobrevôo. O planejamento envolveu a determinação desses parâmetros antes da realização do sobrevôo, que consumiu um tempo de aproximadamente 15 minutos.

A área em questão foi recoberta apenas uma vez. Planejou-se a obtenção de um GSD de 3 cm sendo que, para tal, foi programada uma altura média de vôo de 96m acima do solo. Foram empregadas superposições lateral e frontal de 70%, permitindo a obtenção de 106 imagens dos 115.000 m² mapeados. Todo o sobrevôo foi realizado sem a intervenção do piloto, ainda que possível se necessário fosse.

A imagem representada na **Figura 9**, gerada pelo software PSPE, ilustra o posicionamento das 106 fotografias aéreas coletadas.

FIGURA 9 - Posicionamento da câmera durante fotografias no Jd.Gloria
FONTE: Elaboração do autor

b) Sonora

O sobrevôo em área rural pertencente ao município de Sonora ocorreu às 13h41 do dia 21 de Fevereiro de 2016, com duração de 27 minutos e 02 segundos. Assim como no caso anterior, foi escolhido um momento do dia em que o vento apresentava intensidade baixa a moderada (entre 5 e 15km/h).

No software de planejamento e execução de vôos *Mission Planner* (MP), foi selecionado o local de decolagem e aterrissagem da plataforma. Ainda que não utilizada, foi realizada uma simulação do vôo para a obtenção da altura de vôo requerida e quantidade de linhas de vôo necessárias. Essa etapa do processo teve duração de 10 minutos.

A área em estudo foi recoberta apenas uma vez. Planejou-se a obtenção de um GSD próximo a 2 cm sendo que para tal, buscou-se realizar um sobrevôo a uma altura média de 75 m acima do solo. Buscou-se empregar superposições lateral e frontal próximas a 70%, o que possibilitou a obtenção de 205 imagens dos 79.900 m² mapeados. Todo o sobrevôo e tomada de fotografias foi feito de forma manual.

A **Figura 10** ilustra o posicionamento das fotografias aéreas coletadas.

FIGURA 10 - Posicionamento da câmera durante fotografias em Sonora
 FONTE: Elaboração do autor

4.2 O Processamento dos dados

O processamento dos conjuntos de imagens foi realizado no software PhotoScan Professional Edition (PSPE). Com uma interface intuitiva, o programa se apresenta como um dos mais populares para o processamento de dados fotogramétricos obtidos com mini-VANT.

Cabe mencionar que através do PSPE, podem-se processar apenas fotos não modificadas à medida que foram tomadas por uma câmera fotográfica digital. Processar fotos cortadas manualmente ou geometricamente invertidas pode gerar falhas ou produzir resultados altamente imprecisos (AGISOFT, 2016)

Os itens a seguir apresentam as etapas dessa fase do estudo, que teve início com a entrada de dados no software, e resultou na geração de um modelo digital de superfície e um mosaico ortorretificado em cada um dos casos.

4.2.1 Etapas do processamento de dados com o PSPE

No dia 16 de agosto de 2017 foi realizado o processamento das imagens coletadas. Nessa etapa, atentou-se para as principais recomendações do fabricante do software e para observações

de profissionais experientes da empresa de consultoria G-Drone. As etapas desse processamento estão elencadas a seguir:

I. *Entrada dos dados no software*: através da ferramenta "**Adicionar Fotos**" foram inseridas no programa as (a)106 fotos (b)205 fotos, todas em formato TIFF. Ao empregar o recurso "**Calibração da Câmara**", com confirmação do modelo e distância focal da máquina utilizada, as coordenadas geográficas das fotos e suas respectivas angulações foram automaticamente carregadas;

II. *Geração da nuvem de pontos dispersa*: primeiramente, foi realizado o alinhamento das fotos, onde o algoritmo do PSPE identifica pontos homólogos entre as imagens, estabelecendo correspondência entre os mesmos. Para tal, em ambos os casos, foi acionada a ferramenta "**Alinhar Fotos**", e selecionado o nível de precisão médio, sendo que as demais configurações foram mantidas no modo padrão;

III. *Geração da nuvem de pontos densa*: nessa etapa, o software realiza a construção da geometria do modelo de forma ainda mais detalhada, baseada nas posições da câmara, representando a superfície dos objetos. Foi acionada a ferramenta "**Construir Nuvem Densa**",. Em ambos os casos foi selecionado o nível de qualidade médio, além do filtro de profundidade agressivo, sendo que as demais configurações foram mantidas no modo padrão.

IV. *Construção da malha*: a malha é gerada a partir da nuvem de pontos densa. Para isso, foi acionada a ferramenta "**Construir modelo**", sendo mantidas as configurações padrão do programa.

V. *Construção do modelo digital de superfície*: foi utilizada a ferramenta "**Criar modelo digital de elevação**", sendo que no caso Jd.Gloria foi selecionado o Datum WGS84 e a nuvem densa de pontos como base de dados, enquanto que no caso Sonora foi escolhido o Datum SIRGAS 2000, e a malha como base de dados. Datum, por sua vez, é o modelo matemático teórico da representação da superfície da Terra ao nível do mar.

VI. *Construção do mosaico ortorretificado*: através da ferramenta "**Construir Mosaico ortorretificado**", foram criados os mosaicos ortorretificados dos dois conjuntos de imagens.

VII. Recursos de consulta

VII.a. Medições em linha reta: com o uso do recurso "**Régua**", foram realizadas algumas medições.

VII.b. A delimitação de áreas e a inserção de informações para elaboração de mapas temáticos pode ser realizada com a ferramenta "**Seleção de objetos**". Através desse mesmo recurso, foi possível delimitar áreas contendo resíduos e automaticamente estimar sua medida, assim como o seu perímetro e volume. Maiores detalhes desses procedimentos estão dispostos no item seguinte.

VIII. Exportação da ortofoto: finalmente, as ortofotos geradas foram transformadas em arquivos não editáveis para consulta e/ou arquivamento.

Após concluídas as etapas que possibilitam a obtenção do modelo digital de superfície e do mosaico ortorretificado, um relatório é gerado de forma automática, e dados referentes aos produtos e subprodutos gerados como: quantidade de pontos das nuvens esparsas e densas geradas, resolução e densidade de pontos dos MDS, tamanho dos MDS e dos ortomosaicos, além do tempo gasto ao longo de cada etapa do processo, são por ele fornecidos.

Quanto maior a demanda por precisão e qualidade durante o processamento das imagens, maior deverá ser a capacidade de processamento da máquina a ser utilizada. Portanto, conforme mencionado ao longo das etapas do processamento, as fotos foram processadas com a configuração inicial (padrão) do software, que confere qualidade "moderada" aos produtos gerados, afim de atestar a aplicabilidade da ferramenta desde de laptops ou computadores comuns, dotados de processadores e dispositivos convencionais.

4.2.2 Identificação, quantificação e caracterização dos resíduos sólidos

Uma vez gerados os mosaicos ortorretificados foram identificadas, por fotointerpretação, as áreas contendo resíduos sólidos nos dois casos estudados. Buscou-se também obter as coordenadas geográficas de pontos do mapa gerado. A delimitação de algumas das áreas

contendo resíduos sólidos foi realizada por meio da ferramenta de "seleção de objeto" e uso do *mouse*.

Outro recurso explorado foi a ferramenta de inserção de textos, capaz de agregar ao mapa gerado informações de utilidade. Para tal, buscou-se delimitar duas áreas do Jd.Gloria contendo resíduos sólidos, e atribuir a elas as informações 1 e 2.

Ainda através do recurso "seleção de objeto" foram identificadas e delimitadas, no Jd. Gloria, duas áreas contendo resíduos sólidos, afim de atestar a capacidade de estimar o volume destes. Uma área situada na porção noroeste (NO) do mosaico e a outra na região leste (E) da área mapeada, conforme mostra a **Figura 11**.

FIGURA 11 - Mapa do Jd.Gloria, com indicações dos resíduos a serem quantificados

FONTE: Elaboração do autor

As **Figuras 12 e 13** ilustram as áreas selecionadas para cálculos de medidas, inclusive o volume.

FIGURA 12 - Resíduos selecionados na porção leste (E) do mosaico no Jd.Gloria
 FONTE: Elaboração do autor

FIGURA 13 - Resíduos selecionados na porção noroeste (NO) do mosaico no Jd.Gloria
 FONTE: Elaboração do autor

Já no caso Sonora, foi realizada a delimitação de uma das áreas identificadas contendo resíduos dispostos de forma a conter o avanço da voçoroca, afim de estimar sua dimensão e volume.

A área em questão está localizada na porção central do mapa, e encontra-se representada na **Figura 14**.

FIGURA 14 - Mapa de Sonora, com indicações dos resíduos a serem quantificados
FONTE: Elaboração do autor

A **Figura 15** ilustra, em detalhe, a delimitação da área contendo os resíduos submetidos a quantificação volumétrica.

FIGURA 15 - Resíduos selecionados na porção central do mosaico em Sonora
FONTE: Elaboração do autor

Já a caracterização possível de ser realizada diz respeito à camada superficial de resíduos, e se dá por fotointerpretação a partir dos mosaicos ortorretificados gerados. O uso do recurso de zoom possibilitou a melhor observação dos objetos da cena.

4.3 Análises comparativas entre os sistemas

A análise dos aspectos econômicos e técnicos associados ao uso de mini-VANTs para o auxílio na elaboração de um diagnóstico eficaz sobre a geração de resíduos em desastres, comparativamente às demais alternativas de sensoriamento remoto igualmente empregáveis, amplia a capacidade de avaliação de sua aplicabilidade. Portanto, levantamentos de custos e de características técnicas inerentes ao uso de: mini-VANT, helicóptero e de satélites orbitais, foram realizados através de pesquisas e de entrevistas junto a empresas e profissionais atuantes na área de sensoriamento remoto.

a) Aspectos econômicos

Realizou-se, junto a duas empresas de consultoria em geotecnologias e um profissional autônomo, um levantamento dos custos associados à realização de sobrevôos com mini-VANTs quadrirotores. O custo final, uma composição de variáveis como: logística, planejamento e mobilização, diárias, extensão da área a ser mapeada e quantidade de pontos de apoio utilizados, será estimado para ser comparado ao custo do mapeamento com helicópteros e à utilização de imagens de satélite.

b) Aspectos técnicos

Os aspectos técnicos considerados nessa etapa derivam dos estudos sobre as plataformas orbitais, os veículos aéreos tripulados e os mini-VANTs. Igualmente, foram considerados os relatos e anotações de campo do coletor dos dados utilizados nesse trabalho bem como os resultados do processamento desses dados. Foram analisados, tanto para a plataforma estudada quanto para os veículos aéreos tripulados e plataformas orbitais de sensoriamento remoto, as seguintes variáveis: a resolução espacial, tempo, a área de cobertura, o grau de risco operacional e a maneabilidade.

4.4 Elaboração da cartilha orientadora

Com informações coletadas nos estudos e na manipulação de dados reais, avaliou-se o potencial de uso da ferramenta estudada no auxílio ao diagnóstico da geração de resíduos de desastres, apontando maior ou menor possibilidade de obtenção de bons resultados de acordo com a dinâmica e características físicas inerentes a cada tipo de desastre incidente no Brasil.

Para tal, foi utilizada a classificação de desastres da COBRADE (Anexo I) como referência e foram avaliados: a área de cobertura abrangida por mini-VANT quadrirotor comercial, a dinâmica da geração de resíduos nos diferentes tipos de desastres e a extensão de área normalmente afetada por eles. Conceitos variando de 1 a 4 foram atribuídos a cada cenário tipológico de desastre, onde 1 (um) representa um menor potencial de obtenção de bons resultados e 4 (quatro) representa um maior potencial. Um campo destinado às observações gerais foi reservado a cada tipo de desastre considerado na cartilha.

5- Resultados

No presente capítulo, são apresentados os resultados provenientes das coletas de imagens com o sistema mini-VANT comercial, seguido do resultado e análise do processamento das imagens no PSPE e respectivos produtos gerados. Em seguida, são realizadas as considerações acerca da capacidade da ferramenta estudada em identificar, quantificar e caracterizar os resíduos sólidos encontrados nos mapas gerados. Mais adiante, são ponderados os aspectos legais, econômicos e técnicos associados ao uso dos mini-VANTs, afim de que seja atestada sua aplicabilidade para a elaboração de diagnóstico da geração de resíduos sólidos em desastres. Por fim, são apresentados os resultados da cartilha orientadora proposta.

5.1 Qualidade dos dados coletados

Os resultados reportados pelo PSPE referentes aos dados coletados com o mini-VANT nos dois casos estudados são: a resolução espacial e temporal das fotografias obtidas, e estão resumidamente apresentados nesse item.

a)Jd.Gloria

Neste caso, foram obtidas 106 fotografias aéreas com dimensão 4000 x 3000 pixels, que tomadas a uma altitude média de 96,7m possibilitaram a obtenção de imagens com uma resolução espacial média de 3,02 cm/pixel.

Conforme mencionado anteriormente, a área total coberta foi de 115.000m², e o tempo gasto para a realização da operação foi de aproximadamente 39 minutos, subdivididos em 20 minutos de planejamento e 19 minutos de execução do sobrevôo.

b)Sonora

Neste sobrevôo, foram obtidas 205 fotografias aéreas com dimensão 4000 x 3000 pixels, que tomadas a uma altitude média de 77,2m possibilitaram a obtenção de uma resolução espacial de 2,16 cm/pixel.

A área total coberta foi de 79.900m², com realização da operação em um período de 41 minutos, subdivididos em 20 minutos de planejamento e 21 minutos de execução do sobrevôo.

A **Tabela 8** resume os resultados dos dados coletados.

TABELA 8 - Resultados das coletas de dados para os casos estudados

Dados coletados	Jd.Glória	Sonora
Número de imagens	106	205
Altitude média (m)	96,7	77,2
Resolução espacial (cm/pix)	3,02	2,16
Área recoberta (m²)	115.000	79.900
Tempo de planejamento do sobrevôo (min)	20	20
Tempo de execução do sobrevôo	19	21
Tempo total (min)	39	41

FONTE: Elaboração do autor

Apesar de haver sido mapeada uma área mais extensa no caso Jd.Gloria, realizada de forma automatizada, houve maior obtenção de fotografias em Sonora, onde a pilotagem foi manual. Isso indica uma melhor otimização no uso do equipamento para a coleta de dados no Jd.Gloria, se comparado à coleta em Sonora.

Normalmente, afirmam profissionais operadores de VANTs, um sobrevôo previamente traçado e executado de forma automática viabiliza a otimização do processo de coleta de dados, uma vez que possibilita o emprego das mínimas sobreposições frontal e lateral necessárias para a conquista de resultados satisfatórios.

5.2 Qualidade dos produtos gerados

Nessa etapa são relatados os principais resultados obtidos do processamento dos dois conjuntos de dados coletados. São apresentadas algumas das informações geradas no relatório de resultados do PSPE, referentes: à nuvem esparsa de pontos, à nuvem densa de pontos, ao modelo digital de elevação e ao mosaico ortorretificado.

5.2.1 Erro geográfico e erro médio de reprojeção

Erros decorrentes do posicionamento da câmera no momento da fotografia são denominados erros posicionais ou geográficos e suas componentes estão apresentadas a seguir, para ambos os casos estudados. Esse tipo de erro indica uma incerteza quanto ao real posicionamento do conjunto de imagens, entretanto, a forma como são calculados os erros não foi disponibilizada pela Agisoft.

O mapa apresentado na **Figura 16** com a localização das câmeras e respectivos erros geográficos é gerado no relatório final do PSPE. Nesse mapa, o erro no plano "Z" é representado pela cor da elipse. Os erros em "X e Y" são representados pela forma elíptica. As localizações estimadas da câmera são marcadas com um ponto preto, conforme pode ser observado na figura

FIGURA 16 -Localização da câmera e erros estimados, para o caso Jd.Gloria
FONTE: Elaboração do autor

O erro médio posicional no eixo X foi de 11,3695m, enquanto que o erro médio no eixo Y foi de 4,4923m, gerando um erro de 12,2244m no plano XY. No eixo Z, o erro médio encontrado foi de 4,5948m. Portanto, o erro médio total de posicionamento da câmera foi de 13,0594m.

A **Figura 17** ilustra o mapa com a localização das câmeras e respectivos erros geográficos referentes ao estudo de caso Sonora.

FIGURA 17 - Localização da câmera e erros estimados para o caso Sonora

FONTE: Elaboração do autor

O erro médio posicional no eixo X foi de 6,12516m, enquanto o erro médio no eixo Y foi de 5,89756m, gerando um erro de 8,5087m. No eixo Z, o erro médio encontrado foi de 9,18585m. Portanto, o erro médio total de posicionamento da câmera foi de 12,5171m.

No caso Jd.Gloria, foi reportado um erro médio de reprojeção de 1,12 pix, sendo que esse erro no caso Sonora foi de 1,49 pix. Quanto maior o erro de reprojeção, menor a precisão entre as projeções e seus pontos correspondentes no terreno. Esse erro também pode indicar falsas correspondências. Remover os pontos com maiores erros de reprojeção pode melhorar a precisão da etapa de otimização subsequente (AGISOFT, 2017).

5.2.2 Nuvem esparsa de pontos

Uma vez alinhadas, por meio da correlação das imagens sobrepostas e orientadas, o algoritmo procura por pontos comuns e os combinam, encontrando a posição da câmera em cada imagem e refinando seus parâmetros de calibração. Como produto, é gerada a nuvem esparsa de pontos. As nuvens esparsas de pontos (ou "*point cloud*") obtidas foram de 16.519 pontos no caso Jd Gloria, e 43.775 pontos no caso Sonora, demandando um tempo de processamento de 8 minutos e 13 segundos, e 27 minutos e 13 segundos, respectivamente.

A diferença no tempo gasto diz respeito, especialmente, ao fato de haverem sido empregadas 106 fotografias na elaboração da nuvem no caso Jd.Glória e 206 fotografias em Sonora, tornando esse ultimo caso relativamente mais demorado que o anterior.

5.2.3 Nuvem densa de pontos

Com base na posição relativa de cada câmara, o algoritmo identifica a informação de profundidade e complementa a nuvem de pontos esparsa gerando, assim, a nuvem densa de pontos (ou "*Dense point cloud*"). Nos casos estudados, a nuvem densa de pontos foi constituída por 9.368.904 pontos no caso Jd. Gloria e 14.666.013 pontos no caso Sonora, demandando tempo de processamento de 36 minutos e 16 segundos e 80 minutos e 1 segundo, respectivamente.

5.2.4 O modelo digital de elevação

Essa etapa consiste na construção do modelo 3D no qual os pontos da nuvem densa vão ser ligados, construindo uma malha de polígonos através de algoritmos de triangulação do PSPE, não disponibilizados pela Agisoft.

O modelo digital de elevação gerado no (a)Jd.Gloria apresenta tamanho de 4.713 x 2.756 pixels. A resolução espacial obtida foi de 12.1 cm/pix, sendo que foram obtidos 68.707 pontos por metro quadrado. O tempo gasto no processamento do modelo foi de 30 segundos. A **Figura 18** ilustra o modelo digital de elevação gerado para o caso Jd. Gloria.

FIGURA 18 - Modelo digital de elevação para o caso Jd. Gloria
FONTE: Elaboração do autor

Em (b) Sonora o tamanho do modelo digital de elevação gerado foi de 5.809 x 4.473 pixels. Foram necessários 60 segundos para o processamento de um modelo com a resolução espacial de 8.64 cm/pix, e uma densidade de pontos de 133.838 pontos por metro quadrado. O produto gerado é apresentado na **Figura 19**.

FIGURA 19 - Modelo digital de elevação para o caso Sonora

FONTE: Elaboração do autor

5.2.5 O mosaico ortorretificado

Uma vez gerada a malha densa de pontos e o MDS, foi construído o mosaico ortorretificado. No caso do Jd.Gloria, o mosaico ortorretificado apresentou tamanho de 18.080 x 10.264 pixels, o qual pode ser visto na **Figura 20**.

FIGURA 20 - Mosaico ortorretificado - Jd.Gloria

FONTE: Elaboração do autor

Apesar da alta resolução espacial obtida na maior parte do mapa gerado, nota-se que zonas desse mesmo mapa não foram corretamente reproduzidas durante a geração do mosaico ortorretificado. Os detalhes 1 e 2, circulados no mapa e representados nas **Figuras 21** e **22**, mostram algumas severas distorções e diversas lacunas na reprodução das imagens. Já o detalhe 3, representado pelo **Figura 23**, ilustra a boa resolução espacial obtida em uma região, e que representa a maior parcela do mapa gerado.

FIGURA 21 - Detalhes das falhas e distorções na "Área 1" (Jd.Glória)
 FONTE : Elaboração do autor

FIGURA 22 - Detalhes das falhas e distorções na "Área 2" (Jd.Glória)
 FONTE: Elaboração do autor

É possível observar distorções acentuadas e falhas principalmente nas regiões contendo a vegetação, e nas periferias do mapa gerado. Áreas mais escurecidas, também observadas nessas duas figuras, são um sombreamento consequente da presença de nuvens no momento da captura

das imagens. A provável causa das falhas e distorções é o baixo recobrimento realizado nas áreas periféricas. Enquanto alguns pontos são capturados mais de dez vezes devido às sobreposições planejadas nos sobrevôos, outros são capturados duas ou uma vez, estando mais sujeitos de apresentar irregularidades no processo de geração do mapa.

A **Figura 23** ilustra a boa resolução espacial obtida na maior parte do mapa gerado, onde é possível identificar o tipo de resíduo superficialmente disposto, bem como visualizar detalhes das edificações ou até pequenos objetos.

FIGURA 23 - Detalhes da boa resolução obtida na "Área 3" (Jd.Glória)

FONTE: Elaboração do autor

O mosaico ortorretificado do caso Sonora apresentou tamanho de 21.235 x 15.903 pixels e, assim como no caso anterior, apresentou algumas imperfeições nas áreas periféricas aos respectivos objetos de trabalho, ou "alvos".

Os detalhes 1 e 2, circulados no mapa, mostram algumas suaves distorções e poucas lacunas na reprodução das imagens, além de imperfeições por conta da superfície reflexiva mapeada. Já o detalhe 3, ilustra a moderada resolução espacial obtida em uma região, e que representa a maior parcela do mapa gerado.

A **Figura 24** ilustra o mosaico ortorretificado gerado nesse caso.

FIGURA 24 - Mosaico ortorretificado - Sonora
FONTE: Elaboração do autor

Na Área 1, representada pela **Figura 25**, podem ser vistas falhas na geração do mosaico, a perda de foco em algumas regiões, bem como suaves distorções de imagem.

FIGURA 25 - Detalhes das falhas e distorções na "Área 1" (Sonora)
FONTE : Elaboração do autor

A Área 2, representada pela **Figura 26**, mostra a perda de foco no telhado metálico e arredores decorrente da característica reflexiva desse elemento.

FIGURA 26 - Detalhes das falhas na "Área 2" (Sonora)
FONTE: Elaboração do autor

A Área 3, representada pela **Figura 27**, ilustra os resíduos dispostos de forma a "conter" o avanço da voçoroca. Ha variações na qualidade focal, prejudicando a identificação detalhada dos elementos contidos na imagem.

FIGURA 27 - Detalhes dos resíduos na "Área 3" (Sonora)
FONTE: Elaboração do autor

É perceptível a maior capacidade de observação detalhes no Jd.Gloria, possivelmente atribuídas à forma como foi realizado o sobrevôo, e às características físicas das áreas estudadas. Entretanto, esse mesmo caso apresentou mais distorções, problemas de sombreamento e falhas na geração do mosaico, apesar de haver possibilitado o mapeamento de uma área mais extensa com o uso de aproximadamente a metade de fotografias coletadas.

Os principais resultados decorrentes do processamento dos dados no PSPE, para ambos os casos, estão resumidos na **Tabela 9**.

TABELA 9 - Resultados dos processamentos de dados realizados

Produtos gerados	Jd.Glória	Sonora
Número de pontos de amarração (und)	16.519	43.775
Número de projeções (und)	94.293	203.734
Erro geográfico (m)	13,0594	12,5171
Erro médio de reprojeção (pix)	1,12	1,49
Nuvem de pontos (und)	16.519	43.775
Nuvem densa de pontos (und)	9.368.904	14.666.013
Tempo para geração da nuvem esparsa de pontos (min)	8	27
Tempo para geração da nuvem densa de pontos (min)	40	94
Tempo para geração do modelo digital de superfície (min)	0,5	1
Tempo total (min)	88	163

FONTE: Elaboração do autor

5.2.6 Identificação, quantificação e caracterização dos resíduos sólidos

a) Identificação/Localização e inserção de informações

A qualidade dos produtos obtidos, em especial o mosaico ortorretificado, possibilita a identificação dos resíduos presentes em ambas as áreas mapeadas. Igualmente, é possível obter as coordenadas geográficas aproximadas de cada ponto da referida área, assim como realizar medições lineares e delimitar área de influência dos resíduos sólidos afim de agregar temas ou informações textuais ao conteúdo visual. As **Figuras 28 e 29** ilustram os resultados descritos.

Através da interpretação da imagem obtida do Jd.Gloria foram manualmente delimitadas, em poucos segundos, duas áreas contendo resíduos, e denominadas "1" e "2". Informações a respeito de suas dimensões e volume de materiais estimado foram inseridas na Figura 28. O ponto "A" indicado pela seta preta foi utilizado para a obtenção das coordenadas geográficas: 23° 34' 38.7" S e 46° 26' 47.8" W.

FIGURA 28 - Delimitação de resíduos sólidos e ponto geograficamente orientado (Jd.Gloria)

FONTE: Elaboração do autor

Igualmente no caso de Sonora, foi delimitada manualmente uma área indicando a presença de resíduos no mapa, e denominada "1". Informações a respeito de suas dimensões e volume de materiais estimado podem ser vistas na Figura 29. ponto "B" indicado pela seta preta foi utilizado para a obtenção das coordenadas geográficas: 17° 35' 39.1" S e 54° 45' 27.3" W.

FIGURA 29 - Delimitação de resíduos sólidos e ponto geograficamente orientado (Sonora)

FONTE: Elaboração do autor

Em ambos os casos, ha um erro geográfico de aproximadamente 12,5m, fazendo com que as coordenadas geográficas indicadas apresentem alguma imprecisão nesse mesma ordem de grandeza. Apesar de comprometer a obtenção exata do ponto no mapa, esse erro não ocorre nas medições lineares, de área ou de volume.

b) Quantificação

Quanto à quantificação volumétrica dos montantes de resíduos encontrados, podem ser apontados resultados satisfatórios, de boa utilidade no conjunto de dados necessários para a realização de um diagnóstico preliminar da geração de resíduos.

No caso (a)Jd.Gloria foi realizada a estimativa volumétrica de dois montantes de resíduos encontrados, que resultou nos seguintes valores: i) montante na "Área 1", porção leste, com 218,8 m³ de resíduos, no qual foram visualmente observados majoritariamente restos de madeiras, resíduos comuns e RCCs em uma área de 1.317,98m²; e ii) montante na "Área 2",

porção noroeste, com $258,0 \text{ m}^3$ de resíduos, no qual foi identificada uma pilha de britas que ocupa uma área de $744,556 \text{ m}^2$. As **Figuras 30 e 31** ilustram, respectivamente, o resultado obtido da mensuração de área e o volume dos objetos denominados "porção leste" e "porção noroeste", selecionados no mosaico do mapa do Jd.Gloria.

FIGURA 30 - Mensuração de área e volume da porção leste no caso Jd.Gloria
FONTE: Elaboração do autor

FIGURA 31 - Mensuração de área e volume da porção noroeste no caso Jd.Gloria
FONTE: Elaboração do autor

No caso Sonora foi realizada a estimativa volumétrica de um monte de resíduos situado na porção central do mapa, que resultou nos seguintes valores: volume de $94,5462\text{m}^3$ de resíduos, no qual foram observados majoritariamente restos de madeiras, plásticos e resíduos comuns em uma área de $430,813\text{m}^2$ à margem da voçoroca, conforme ilustra a **Figura 32**.

FIGURA 32 - Mensuração de área e volume no caso Sonora

FONTE: Elaboração do autor

O recurso empregado realiza a estimativa volumétrica partindo de um plano reto servindo de base, delimitado pelos pontos que compõem o polígono manualmente traçado, aportando um erro ao cálculo realizado. Entretanto, para efeitos de estimativa emergencial, pode ser relevado.

c) Caracterização

O potencial de caracterização de resíduos apresenta limite, uma vez que o equipamento utilizado permite apenas a identificação do material contido na superfície, no campo de visão. Esse potencial também depende muito da qualidade dos dados coletados, que quando é elevada pode possibilitar a identificação de pequenos objetos dispostos na superfície de algumas das regiões mapeadas, conforme ilustra a **Figura 33**. Porém, quando a qualidade dos dados é

deficiente, pode dificultar a identificação de resíduos superficialmente dispostos, como indicado na **Figura 34**, chegando até a inviabilizar esse procedimento.

Os resíduos identificados na porção leste (ou área 1) do Jd. Gloria eram compostos por restos de madeira (móveis, caixotes, ripas de construção, etc), plásticos, papelão, RCC, entre outros, enquanto que na porção noroeste (ou área 2), a pilha de resíduos encontrada é composta por britas.

FIGURA 33 - Detalhe dos resíduos no caso Jd.Gloria

FONTE: Elaboração do autor

Diferente do caso Jd.Gloria, a caracterização visual dos resíduos no caso Sonora ficou mais limitada. É possível observar plásticos, resíduos comuns e sobretudo sacos de rafia cheios, mas alguns materiais não podem ser caracterizados na "área 1" do mapa gerado.

FIGURA 34 - Detalhe dos resíduos no caso Sonora

FONTE: Elaboração do autor

5.3 Análises comparativa entre os sistemas

Nessa etapa, são apresentados os resultados comparativos referente ao uso das seguintes plataformas de sensoriamento remoto: mini-VANTs, veículo aéreo tripulado e satélite, tendo por conteúdo as análises de aspectos econômicos e técnicos da mesmas, e detalhados adiante.

5.3.1 Aspectos econômicos

A obtenção de fotografias ou imagens oriundos de levantamento realizados com mini-VANT, helicóptero e satélites costuma demandar algum custo. Adiante, são detalhados os custos associados ao uso das referidas plataformas.

Afirmam profissionais de empresas prestadoras de serviços de levantamento aerofotogramétrico, que utilização de um mini-VANT demanda um aporte financeiro que depende de algumas variáveis, detalhadas adiante:

- Logística, planejamento e mobilização: R\$1250,00 em localidades com até 100km de distância do ponto de partida do operador, e onde haverá apenas um ponto de decolagem e aterrissagem;
- Diárias: R\$700,00 por dia de trabalho;
- Extensão da área mapeada: R\$9,00 por hectare mapeado;
- Utilização de pontos de apoio: R\$3600,00.

Aplicando os valores atualizados, e considerando a contratação de uma empresa de consultoria sediada em São Paulo, o mapeamento realizado no caso Jd. Gloria demandaria um aporte financeiro de aproximadamente R\$2053,00. Já o mapeamento realizado no caso Sonora custaria, atualmente, aproximadamente R\$3850,00. Houvesse sido utilizado pontos de controle, esse custo seria de aproximadamente R\$5653,00 no caso Jd.Gloria e aproximadamente R\$7450,00 no caso Sonora.

O custo de aquisição de um mini-VANT quadrirotor do tipo Phantom IV Pro é de aproximadamente R\$6500,00, já o modelo MAVICK Pro apresenta custo aproximado de R\$4500,00. Um mini-VANT Q-45, substituto do G-Quad (utilizado nesse estudo) é comercializado por R\$19800,00. um curso de capacitação para a adequada utilização do equipamento custa entre R\$1500,00 e R\$4000,00, podendo durar entre 12 e 24 horas de aula.

A locação de um helicóptero depende, em maior parte, do tipo de plataforma a ser utilizado, da região do país onde será utilizada, horário do dia, do deslocamento necessário entre o ponto de decolagem e de pouso e o local a ser mapeado. O fretamento de um equipamento convencional (Robinson R-22, Bell 407, Sikorsky) na região metropolitana de São Paulo custa entre R\$5000,00 e R\$9000,00 por hora. Esse custo tende a aumentar em outras regiões menos povoadas do país, especialmente em localidades distantes de centros urbanos. Além do custo associado à plataforma de vôo, deve ser considerado o custo da locação do equipamento fotográfico e da diária do operador, que juntos podem variar entre R\$2500 e R\$5500.

A aquisição de uma imagem do satélite WORLD VIEW 2, correspondente a aproximadamente 15km² de extensão, disponibilizada no modo espectral BUNDLE (bandas Red, Green, Blue e *Near Infra Red* com 2m de resolução espacial demanda um aporte de R\$3.200,00 a R\$3500,00. Entretanto, atualmente, encontra-se disponível uma ferramenta gratuita

desenvolvida pela Google denominada "*Google Earth Engine* (GEE)". Trata-se de uma plataforma tecnológica para análise de dados geoespaciais em escala planetária. Através dessa ferramenta, imagens dos satélites da série Landsat, Terra, entre outros, estão disponíveis na plataforma de forma gratuita.

5.3.2 Aspectos técnicos

Os aspectos técnicos considerados nessa etapa derivam dos estudos acerca do uso de mini-VANTs, das anotações de campo do coletor dos dados utilizados e dos resultados do processamento desses dados. Foram analisados, tanto para a plataforma estudada quanto para os veículos aéreos tripulados e plataformas orbitais de sensoriamento remoto, as seguintes variáveis: a resolução espacial e temporal, a área de cobertura, o grau de risco operacional, de dificuldade de implantação e de manuseio. Limitações do equipamento e dificuldades inerentes a sua utilização são, finalmente, pontuadas.

a) Resolução espacial

A resolução espacial obtida nos casos estudados foi de 3,02 cm no Jd.Gloria e 2,16 cm em Sonora, apesar de algumas imperfeições pontuais em ambos os casos. Já a resolução dos MDEs gerados nos dois casos foi de 12,1 cm e 8,64 cm, respectivamente.

As aeronaves tripuladas, afirmam Toth e Jozkow (2015), podem apresentar resolução espacial variando entre 5 e 25cm, sendo que os satélites possibilitam a obtenção de imagens com resolução espacial variando entre 30 e 300cm. Entretanto, a *American Society for Photogrammetry and Remote Sensing* (ASPRS), através do *Guide to land imaging satellites - 2009*, aponta que a amplitude da resolução espacial entre os satélites pode variar entre 40 e 30000 cm/pix.

A **Figura 35** ilustra a imagem obtida pela aeronave Airbus em 2018, e a **Figura 36** o produto gerado pelo PSPE oriundo da coleta de fotografias feita pelo mini-VANT G-quad em 2015, expondo a diferença na qualidade das duas imagens.

FIGURA 35 - Detalhe da imagem tomada por aeronave tripulada em 2018
 FONTE: Google Maps, 2018

FIGURA 36 - Detalhe da imagem gerada com fotos aéreas de 2015, coletadas por mini-VANT
 FONTE: Elaboração do autor

b) Tempo

Nos casos estudados, o tempo total empregado na coleta de dados foi de 34min no Jd.Gloria e de 37min em Sonora. O tempo gasto com o processamento desses dados foi de 55min no Jd.Gloria e de 118min em Sonora, totalizando 89min e 155min, respectivamente. O tempo gasto desde o planejamento de vôo até a obtenção dos produtos finais pode ser considerado pequeno, se comparado ao tempo necessário para a obtenção de produtos semelhantes por meio de veículos aéreos tripulados. Um mini-VANT pode ser facilmente transportado em um automóvel simples ou motocicleta e ser empregado de forma imediata, desde que não haja vento ou chuva fortes no local. Afirmam os operadores de vôo que, com o uso de três baterias e carregador, é possível que sejam realizados diversos sobrevôos consecutivos.

Já o tempo para o início de um mapeamento com uma aeronave tripulada costuma ser maior, a depender da localização da pista de vôo e plataforma a serem utilizados. Em contrapartida, a área coberta por um helicóptero tripulado supera em muitas vezes aquela coberta por um mini-VANT multirotor dentro de poucas horas de operação.

As plataformas orbitais destinadas a prover imagens da superfície terrestre, a exemplo dos satélites da série Landsat, Terra, Sentinel, WorldView, entre outros, apresentam período de revisita variando entre 5 e 16 dias, podendo dispor de imagens em superior escala territorial.

c) Área de cobertura

Constatou-se a possibilidade de mapeamento de uma área de aproximadamente 12 ha em aproximadamente 40 minutos, sendo viável a realização de 8 a 10 sobrevôos dessa natureza dentro de poucas horas com apenas um mini-VANT e quatro baterias reserva.

Os autores Toth e Jozkow (2015) apontam que um mini-VANT possibilita o mapeamento de áreas de aproximadamente 1km^2 , consideradas pequenas, sendo que uma aeronave tripulada pode mapear área de 10km^2 , considerada média. Um satélite, por sua vez, pode mapear áreas superiores a 100km^2 , considerada ampla pelos autores.

d) Risco operacional

O risco para o operador, em ambos os casos estudados, foi considerado baixo, uma vez que o mesmo planejou e operou o sistema desde pontos seguros. É importante mencionar que foi possível manter a visada da aeronave durante os sobrevôos. Em seu estudo, Toth e Jozkow (2015) atribuem um conceito baixo de risco operacional aos sobrevôos não tripulados, enquanto classificam de alto o risco operacional do sobrevôo tripulado, por impor risco à tripulação da aeronave. É conceituado pelos autores como moderado o risco associado ao levantamento por satélites.

e) Maneabilidade

A realização de um sobrevôo com mini-VANT quadrirotor, aqui denominada demanda poucas horas de planejamento, sendo que um operador pode ser capacitado a fazê-lo com um treinamento de aproximadamente 15h. Uma vez em missão, manobras diversas podem ser facilmente realizadas com a aeronave, conferindo à mesma um alto grau de maneabilidade.

Um helicóptero permite a realização de manobras de forma muito mais limitada que um mini-VANT quadrirotor, e exige que sejam feitas por um piloto altamente qualificado, especificamente treinado para tais operações. Toth e Jozkow (2015) atribuem o conceito de maneabilidade "moderada" aos mesmos, e de "nenhuma/limitada" às plataformas orbitais.

A **Tabela 10**, em parte extraída do artigo "*Remote sensing platforms and sensors: A survey*" (TOTH e JOZKOW, 2015) ilustra alguns dos principais parâmetros referentes às plataformas: orbital, tripulada e não tripulada.

TABELA 10 - Parâmetros técnicos associados às plataformas de sensoriamento remoto

Parâmetro		Plataformas Orbitais	Veículos tripulados	VANT
Tempo	Frequência temporal	Dias	Horas	Minutos
Risco	Risco operacional	Moderado	Alto	Baixo
Asp. Técnicos/ Produtos gerados	Maneabilidade	Nenhuma/Limitada	Moderada	Alta
	Área de cobertura	Ampla (>10km ²)	Media (10km ²)	Pequena (1Km ²)
	Resolução espacial	40cm – 30000cm	5cm – 25cm	1cm – 5cm

FONTES: Toth e Jozkow, 2015 e ASPRS, 2009

A alta resolução espacial obtida com mini-VANTs possibilita a identificação de pequenos materiais na imagem, coisa que se mostra pouco viável no caso da imagem obtida por aeronave tripulada, vide **Figuras 35 e 36**. A maior resolução temporal dos mini-VANTs, especialmente no mapeamento de áreas pouco extensas (devido a sua "pequena" área de cobertura), costuma ser fator de grande relevância devido à emergência das situações em foco no presente estudo. A boa maneabilidade, fácil operação e baixo custo de compra dos mini-VANTs faz com que sejam ferramentas de auxílio acessíveis.

f) Limitações e dificuldades dos mini-VANTs

Por conta de seu baixo peso e pelo fato de transportar sensores simples, as limitações inerentes aos sistemas mini-VANTs comerciais estão relacionadas ao seu uso sob condições climatológicas adversas, como chuva e ventos fortes, e à falta de luminosidade, o que torna indispensável que os sobrevôos sejam realizados durante o dia, preferencialmente entre as 10h e as 14h. A fumaça de incêndios, e usualmente observadas nos colapsos de edificações, pode igualmente comprometer a qualidade dos resultados de um mapeamento, ou aumentar o tempo necessário para a obtenção das fotos.

Outro problema associado ao porte leve dessas plataformas é sua limitação quanto aos sensores passíveis de serem transportados por ela, onde apenas os mais leves podem ser embarcados.

5.4 Cartilha orientadora

Para elaboração dessa cartilha, foram analisadas as características técnicas dos sistemas mini-VANT comerciais, em especial a extensão da área possível de ser mapeada com a ferramenta, diante da dinâmica da geração de resíduos nos variados tipos de desastres incidentes no país.

A área de cobertura obtida no Jd.Gloria foi de 115.000m^2 (11.50 ha), sendo que em Sonora, foi de 79.900m^2 (7.99 ha). Sobrevoos com quadrirotores comerciais mais modernos que os empregados no estudo, indicam área de cobertura próxima a 100.000m^2 (10 ha). Considerando que podem ser realizados mais de um sobrevôo, a depender da quantidade de baterias e mini-VANTs disponíveis para mapeamento, e considerando 10 (dez) um número razoável de sobrevôos, é possível considerar que $1.000.000\text{m}^2$ (ou 100 ha) seria uma extensão viável de ser mapeada em poucas horas por uma equipe preparada.

Considerando a tabela de classificação de desastres da COBRADE (Anexo I), a dinâmica da geração de resíduos pode ser caracterizada, em grande parte, pelo tipo de desastre ocorrido, ainda que a análise dos grupos em subgrupos já possibilite uma observação de tendência da dinâmica dessa geração. De forma geral, é possível observar que um determinado tipo de desastre pode gerar resíduos de variadas formas, sendo classificadas nesse estudo como sendo gerados: de forma concentrada, limitadas a áreas em até 150ha, como em erosões continentais, deslizamentos, subsidências ou colapsos, pequenos incêndios, desastres ocorridos durante transporte aéreo, rodoviário ou ferroviário); de forma dispersa, podendo atingir extensa área territorial como em deslizamentos múltiplos, ciclones, tempestades, zonas de convergência, alagamentos, inundações, grandes incêndios, seca e estiagem; dispersos em corpo hídrico podendo fluir ou se espalhar por corpos d'água como corre nas corridas de massa, erosões costeira e fluvial, erosão continental, inundações, enxurradas, alagamentos, rompimento de barragens, desastres relacionados a contaminação da água, derramamentos em consequência de acidentes no transporte marítimo, aquaviário, dutoviário, aéreo, ferroviário ou rodoviário, desde que os resíduos impactem corpos de água; ou dispersos na atmosfera, como em casos de incêndios.

Casos de desastres onde os resíduos sólidos gerados encontram-se dispostos de maneira concentrada, contidos e limitados a pequenas áreas adquirem o conceito 4, revelando maiores chances de obtenção de bons resultados ao empregar um sistema mini-VANT comercial quadrirotor como ferramenta auxiliar à elaboração de diagnóstico de geração desses resíduos. Os casos onde os resíduos são gerados de forma mais dispersa levam mais tempo para serem totalmente mapeadas, ou fazem necessária uma ação conjunta com equipes operando diversos sistemas mini-VANTS, portanto recebem conceito 3. Casos onde parte dos resíduos gerados no desastre já não podem ser mapeados devido à dinâmica como foram gerados, normalmente de forma dispersa, receberam conceito 2. E tipos de desastres onde a maior parte ou a totalidade dos resíduos gerados não pode ser mapeada, receberam o conceito 1.

O Apêndice I ilustra os resultados obtidos nessa etapa do trabalho, e resume o mesmo em forma de cartilha.

6- Conclusões e Recomendações

Conclusões acerca da coleta de dados com mini-VANTs, do processamento dos dados obtidos, e dos resultados alcançados a partir da metodologia empregada, bem como o desempenho da mesma, são dispostos nesse capítulo final. Sugestões de estudos que permitam ampliar o uso de mini-VANTs em situações de desastres estão pontuadas mais adiante no capítulo.

a) A coleta de dados

Revelou-se fundamental a importância de uma adequada coleta de dados, indicando ser necessário algum conhecimento prévio sobre a finalidade do mapeamento, a área a ser mapeada e o software a ser empregado no processamento dos dados. Tais aspectos têm implicação na correta definição da: plataforma de vôo, tipo de sensor, da altura de vôo, taxa de recobrimento, rota a ser traçada, e demais variáveis que irão determinar a qualidade do produto final. Recomendações associadas ao planejamento de vôo podem ser obtidos nos guias e manuais de utilização dos softwares de processamento de imagens, ou em tutoriais e cursos de coleta de dados com mini-VANTs.

Nos casos estudados, a escolha adequada de equipamentos e procedimentos possibilitou a obtenção de fotografias com qualidade superior às usualmente obtidas através de aeronaves tripuladas (vide Figuras 35 e 36) ou as plataformas orbitais. Entretanto, no caso de Sonora, apesar de haver maior número fotografias em uma menor área mapeada, a qualidade do produto final foi visualmente inferior ao obtido no Jd. Gloria. Os principais aspectos relacionados a essa diferença qualitativa podem ser : o fato de o sobrevôo haver sido realizado de forma manual, e a área em Sonora apresentar muita vegetação, e portanto elementos de interpretação menos favoráveis à identificação automática dos pontos homólogos no software de processamento de imagens.

O mosaico do Jd.Gloria apresentou falhas em regiões mais periféricas, onde apresentava vegetação especialmente, apesar da alta qualidade obtida nas regiões contendo casas, ruas e resíduos variados. No caso de Sonora, também foram identificadas falhas no mapa gerado,

igualmente preponderantes nas regiões periféricas do mapa gerado, indicando a importância de enquadrar o objeto de estudo de forma adequada no plano de voo.

A fim de que sejam minimizadas imperfeições e de que seja reduzido significativamente o erro médio total de posicionamento da câmera, podem ser empregados pontos de controle. O uso deles, entretanto, pode implicar em uma elevação de mais de 100% no custo de todo o processo. Portanto, a depender da finalidade do sobrevôo, pode-se indicar ou não o uso de pontos de controle. Situações onde análises geomorfológicas detalhadas são demandadas, a exemplo do mapeamento de áreas de risco de deslizamento de massas, o uso de pontos de controle tem maior relevância. Entretanto, casos onde há necessidade da realização de um diagnóstico rápido e de baixo custo a respeito da geração de resíduos, o uso de pontos de controle passa a ter menor relevância no processo.

Outro aspecto favorável na coleta de dados com mini-VANTs foi o tempo gasto, relativamente inferior às demais alternativas disponíveis. Os procedimentos de coleta de dados mostraram-se operacionalmente simples e livre de riscos ao operador, uma fator relevante em casos emergenciais. Os custos associados ao uso da tecnologia na coleta de dados foram considerados baixos, se comparados aos custos com os veículos aéreos tripulados, o que significa outra vantagem adicional.

b) O processamento de dados

O processamento de dados no software PSPE foi realizado de forma simplificada e objetiva, visando a obtenção de um material de qualidade suficientemente aceitável em um curto intervalo de tempo, permitindo a realização de cálculos volumétricos, medições diversas e a geração de mapas capazes de auxiliar no diagnóstico da geração de resíduos de desastres. Nos dois casos estudados, foram selecionadas as configurações padrão do programa a fim de que o tempo gasto para o procedimento em um computador convencional não fosse elevado. Algumas técnicas podem ser empregadas a fim de melhorar o produto final a partir de um mesmo conjunto de imagens, sendo a eliminação de fotografias indesejáveis um dos recursos usualmente empregado. Os manuais de uso dos softwares de processamento de imagens trazem recomendações básicas para a manipulação correta dos dados coletados em campo.

A geração das nuvens de pontos, da malha, do MDS e do ortomosaico, foram realizados de forma simples e rápida. Nenhuma correção foi aplicada ao longo do processo de mapeamento, sendo que alguns desses recursos poderiam ter sido testados sem impacto relevante no tempo total gasto para o processamento das imagens obtidas.

Em ambos os casos estudados, a qualidade dos produtos obtidos para o mapeamento dos resíduos gerados em desastres se apresentou satisfatória. As imagens obtidas se mostraram suficientemente boas para que, por fotointerpretação, fossem mapeados com facilidade, no mosaico ortorretificado, alguns dos montantes de resíduos aleatoriamente dispostos. Pontos do mapa puderam ser georreferenciados (ainda que com um erro aproximado de 12,5m, segundo o PSPE), e medições de distâncias realizadas. Verificou-se ainda ser possível a obtenção de estimativa volumétrica aproximada e a realização parcial da caracterização dos resíduos sólidos.

A finalidade do sobrevôo é determinante na escolha adequada da configuração a ser utilizada durante o processamento de imagens. Mapeamentos de caráter preventivo com a finalidade de estudar detalhadamente a geomorfologia superficial, e que não apresentam urgência na obtenção dos produtos, podem ser realizados utilizando-se as configurações que permitem maior processamento dos dados e, portanto, resultados mais precisos.

c) Resultados e considerações gerais

A efetividade do uso de sistemas mini-VANTs comerciais para a obtenção de fotografias com alta resolução espacial e temporal ficou atestada, desde que respeitadas algumas diretrizes básicas de planejamento e execução de voo com esse tipo de equipamento, e desde que o objeto de estudo esteja restrito a uma área de poucas centenas de hectares ou menos, como ocorre nos casos de movimentos de massas, erosões, acidentes com transportes ferroviário e rodoviário de passageiros ou cargas perigosas, colapso de edificações - que costumam gerar uma massa de resíduos concentrada e estática. O uso da tecnologia estudada pode auxiliar possibilitando a geração rápida de mapas informativos em alta resolução, contendo a localização georreferenciada dos montes de resíduos, sua estimativa volumétrica e informações acerca de sua composição.

O mapeamento de resíduos gerados por desastres que atingem grandes extensões territoriais (como ocorre em eventos de secas ou de grandes incêndios florestais), ou resíduos

sujeitos a dispersão em ambiente aquático ou atmosférico (como ocorre nos derramamentos de produtos perigosos em ambiente lacustre, fluvial, aquífero ou marinho, rompimento de barragens, inundações, enchentes e enxurradas), demanda o uso de plataformas que possibilitem maior área de cobertura na coleta de dados.

A identificação de resíduos sólidos e seu georreferenciamento podem ser feitos sem maiores problemas. A ausência da obtenção de pontos de controle no momento do levantamento tende a resultar em um maior erro geográfico, incorrendo em alguma imprecisão no georreferenciamento dos montes de resíduos, fator que pode ser ajustado com uma posterior amarração do bloco fotogramétrico a pontos de controle, ainda que a precisão demandada para a elaboração de uma mapa informativo contendo localização e volume aproximados dispense tais ajustes de precisão.

A capacidade do mini-VANTs comercial em prover uma de quantificação volumétrica se apresenta satisfatória, dado o contexto de urgência em se planejar as ações de gestão dos resíduos sólidos gerados. Melhorias podem ser alcançadas nessa estimativa volumétrica se a área de incidência do desastre houver sido previamente mapeada. Com o cenário prévio e posterior ao desastre, é possível estabelecer comparações que permitem uma melhor aferição da estimativa de cálculo volumétrico.

A caracterização de resíduos sólidos com a ferramenta estudada se limita às camadas superficiais dos montes dispostos. Assim como ocorre com a quantificação, um mapeamento prévio da área atingida permitiria analisar as edificações afetadas e auxiliar no processo de caracterização.

Portanto, desde que limitada à extensão a ser mapeada, conclui-se que a ferramenta se apresenta aplicável desde as perspectivas técnica, econômica e legal. Ficou notória sua capacidade de servir como instrumento para a geração de mapas temáticos elaborados em poucas horas, capazes de prover a localização aproximada dos resíduos e as estimativas quantitativas e qualitativas dos mesmos. Nesse sentido, recomenda-se sua aplicação em situações emergenciais como: deslizamentos de massa, erosões, colapso de edificações, acidentes rodoviários ou ferroviários e demais desastres onde a quantidade de resíduos esteja disposta em áreas demasiadamente extensas.

d) Avaliação do desempenho da metodologia

A metodologia empregada possibilitou que importantes observações a respeito da coleta de dados fotogramétricos com mini-VANTs entretanto, se houvesse sido possível realizar um sobrevôo em um ou mais locais onde ocorreu algum desastre, maiores possibilidades de exploração das capacidades da ferramenta poderiam ter sido avaliadas. Diferenciações mais significativas das características do voo como: maiores variações na altura de voo, nas taxas de sobreposição das fotografias ou na quantidade de fotografias obtidas, ou mesmo o mapeamento de regiões com características físicas distintas, poderiam viabilizar outras análises, eventualmente mais aprofundadas sobre todo o potencial e limitações associados ao uso da ferramenta estudada.

A ausência da utilização de pontos de verificação no momento da coleta de dados inviabilizou a aferição da qualidade dos dados obtidos, e impossibilitou a classificação segundo a PEC-PCD dos produtos cartográficos obtidos.

Entretanto, dadas as limitações que motivaram à busca por material previamente coletado, e tendo em vista o objetivo de avaliar de forma geral a aplicabilidade do uso de sistema mini-VANT comercial no auxílio ao diagnóstico da geração de resíduos de desastres, a metodologia adotada possibilitou análises satisfatórias.

e) aplicações complementares associadas a desastres

Por conta da natureza da situação em que se enquadra o presente estudo, situação emergencial onde ferramentas trazidas a campo para serem empregadas com uma finalidade podem servir a outras, cabe pontuar algumas das funções complementares que um sistema mini-VANTs poderia desempenhar, uma vez presente no local do desastre.

- Auxílio na identificação de vítimas para respectivo resgate;
- Monitoramento em tempo real, ou para fins de controle e auditoria, das atividades de remoção de resíduos;
- Monitoramento de edificações impactadas a fim de averiguar suas condições estruturais, devido a alta maneabilidade;
- Auxílio observacional em tempo real.

f) Recomendações de estudos correlacionados

Diante das observações realizadas ao longo da elaboração deste trabalho e dos resultados obtidos, cabe aqui ressaltar algumas recomendações para eventuais estudos a serem realizados:

- Possibilidade de aferição de modelos de quantificação volumétrica a partir das imagens geradas com mini-VANTs;
- Utilização de pontos de verificação para a mensuração da qualidade dos dados obtidos, e sua classificação segundo a PEC-PCD;
- Experimentos voltados a otimizar o uso de mini-VANTs, provendo diretrizes mínimas para um mapeamento com determinado grau de qualidade;
- Emprego de outros modelos de VANTs a fim de avaliar sua aplicabilidade no monitoramento de resíduos de desastres distribuídos em áreas extensas;
- Emprego de outros sensores para a caracterização de resíduos especiais (ex. tanques subterrâneos, automóveis, resíduos perigosos, etc), a fim de que alguns materiais de maior relevância, dispostos sob a camada superficial de resíduos, possam ser identificados;
- Emprego de mini-VANTs na etapa preventiva da gestão de resíduos de desastres através do mapeamento de área de risco, a fim de que sejam melhorados os resultados da quantificação e caracterização de resíduos;
- Avaliação da possibilidade de inclusão de informações geoespaciais obtidas com mini-VANTs no S2ID, com a finalidade de compor um banco de dados e otimizar a utilização de recursos públicos nessa etapa do processo de gerenciamento do desastre.

7- Referências Bibliográficas

ALMEIDA, I.C. **Estudo sobre o uso de veículo aéreo não tripulado para mapeamento aéreo com fins de projetos viários**. 2014.136p. Trabalho de Graduação (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Católica de Recife, Recife, 2014.

AGISOFT LLC. **Photoscan Presentation**, 2016. disponível em : http://www.agisoft.com/pdf/photoscan_presentation.pdf - Acesso em set/2017.

AGISOFT LLC. **Agisoft PhotoScan Professional User's Manual: Standard Edition**, Version 1.3, 2017.

AICARDI I., CHIABRANDO F., GRASSO N., LINGUA M., NOARDO F., SPANO A. - UAV Photogrammetry with oblique images: First Analysis on Data Acquisition and Processing, **International Society for Photogrammetry and Remote Sensing**, V.41, pg. 835-842, 2016.

ALMEIDA, T. de.,MENESES, P.R., **Introdução ao Processamento de Imagens de Sensoriamento Remoto**. 1 ed. Brasília: UnB/CNPq, v.1, 2012.

AMBROSIA V. G.; SCHOENUNG, S. M., WEGENER, S. S. e ENOMOTO, F. **The 24-Hour Western States UAV Fire Mission: Sensor and Intelligent Management Systems**. Arlington, 2005.

AGENCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL. RBAC – E nº 94 - Regulamento Brasileiro de Aviação Civil Especial. Brasília, 2017

ANDRADE, J. B. **Fotogrametria**. Curitiba: SBEE, 2003.

AUSTIN. **Unmanned Aircraft Systems: UAVs design, development and deployment**. Wiltshire. Ed.John Wiley & Sons Ltd, 2010.

BARBOZA, M. F.; BOTIJELI, J. S.; ROSSETTI, T. Gestão de resíduos sólidos gerados em desastres naturais e sua inclusão em políticas públicas. **III Conferência Internacional de Gestão de Resíduos Sólidos**. São Paulo, 2012.

BENTO, M.N. Unmanned Aerial Vehicles: An Overview. **Inside GNSS**, V.20, pg. 54-61. 2008.

BOSCOV, M.E.; RODRIGUES, A.C., CICCOTI, L., GUNTHER, W.M - Resíduos de Desastres: Problemática e Propostas de Abordagem. In: **Desastres: Múltiplas Abordagens e Desafios**. São Paulo. Ed.Elsevier, 2017.

BRASIL - **Constituição Federal da Republica Federativa do Brasil**. Brasília, 1988.

BRASIL - Lei Federal 12.305, de 2 de agosto de 2010, que institui a **Política Nacional de Resíduos Sólidos - PNRS**. Brasília, 2010.

BRASIL - Lei Federal 12.608, de 10 de abril de 2012, que institui a **Política Nacional de Proteção e Defesa Civil – PNPDEC**. Brasília, 2012.

BRASIL - Norma Regulamento Brasileiro de Aviação Civil Especial – RBAC –E nº 94, Brasília, 2017.

C.BROWN; M.MILKE.: Recycling disaster waste: Feasibility, method and effectiveness, **Resources, Conservation and Recycling Journal**, Vol.106, pg.21-32. 2016.

BROWN C.O; MILKE M; SEVILLE E. Disaster waste management: A review article. **Elsevier Waste Management** V.31 pg.1085-1098. 2011.

BROWN C.O. **Disaster Waste Management : a systems approach**. 2012. 281p. Doctor Theses (Doctor of Philosophy in Civil Engineering) Department of Civil and Natural Resources Engineering, University of Canterbury, 2012.

CAMPBELL, J. B. **Introduction to remote sensing**. New York: The Guilford Press, 1996.

CEPED UFSC. Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres da Universidade Federal de Santa Catarina. **Atlas brasileiro de desastres naturais 1991 a 2010**: volume Brasil. Florianópolis, 2012.

CEPED UFSC. Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres da Universidade Federal de Santa Catarina. **Capacitação básica em Defesa Civil** - 5a. ed. - Florianópolis, 2014.

CROSTA, A. P. **Processamento digital de imagens de sensoriamento remoto**. 1992. 170p. Tese de Doutorado (Doutorado em Geociências). Universidade de Campinas, UNICAMP, Campinas, 1992

DECEA Departamento de Controle do Espaço Aéreo - AIC-N 17/18 - Uso de aeronaves remotamente pilotadas: para uso recreativo. Brasília. 2018.

DECEA Departamento de Controle do Espaço Aéreo - AIC-N 23/18 - Uso de aeronaves remotamente pilotadas para uso em proveito dos órgãos ligados aos governos federal, estadual ou municipal. Brasília. 2018.

DECEA Departamento de Controle do Espaço Aéreo - AIC-N 24/18 - Uso de aeronaves remotamente pilotadas para uso exclusivo em operações dos órgãos de segurança pública, da defesa civil e de fiscalização da receita federal. Brasília, 2018.

DENOT, A. Prevention and management of waste resulting from natural disasters, **Elsevier Waste Management** V.58 pg.1-2, 2016.

DoD Department of Defense. **Unmanned Aerial Vehicle Roadmap 2005 - 2030**, Washington, 2005

EISENBEISS, H. **UAV Photogrammetry**.2009. 265p. Doctor Theses (Doctor of sciences) University of Technology Dresden, Germany, 2009.

EM-DAT **The International Disasters Database website** - <https://www.emdat.be/classification>, acessado em abril de 2018.

FELGUEIRAS, C. A. “**Modelagem Numérica de Terreno**”. In: CÂMARA, G. & MEDEIROS, J. S. (eds.). “**Geoprocessamento para Projetos Ambientais**”. São José dos Campos: INPE, 1998.

FLORENZANO, T. G. **Imagens de satélite para estudos ambientais**. São Paulo: Oficina de Textos,

2002.

FREITAS, C. M.et.al. Vulnerabilidade socioambiental, redução de riscos de desastres e construção da resiliência: lições do terremoto no Haiti e das chuvas fortes na Região Serrana, Brasil. **Ciência e Saúde Coletiva**, V.17, pg 1577-1586, 2012.

FREITAS, C.G.F. **Perspectivas e desafios à gestão de riscos e desastres: uma análise sobre a configuração do direito de desastres no mundo e no Brasil**. 2014. 285p. Tese de Doutorado (Doutorado em Direito) Universidade de Brasília, Brasília, 2014

FSD. Swiss Foundation for Mine Action. **Drones in Humanitarian Action: A guide to the use of airborne systems in humanitarian crises**, Geneva, 2016.

GINI R., PAGLIARI D., PASSONI D., PINTO L. SONA G., DOSSO P. UAV. Photogrammetry: Block Triangulation Comparisons, ISPRS – **Remote Sensing and Spatial Information Sciences**.V.40, pg157-162. 2013.

GRIPP, J.J. **Ortorretificação de imagens de alta resolução para aplicação no cadastro técnico rural e mapeamento de área de preservação permanente e reservas legais**. 2009. 145p. Tese de Doutorado (Doutorado em Geociências) - Universidade Federal de Viçosa, UFV, Viçosa, 2009

HAAS J.E., KATES, R.W., BOWDEN, M.J., **Reconstruction following Disaster**. The MIT Press, 1977

HASSANALIAN, M; ABDELKEFI A. Classifications, applications, and design challenges of drones: A review. **Progress in Aerospace Sciences**, Vol. 91, pp. 99-131, 2017.

HU, Y.; TAO, V.; CROITURU, A. Understanding the rational function model: methods and applications. In: **International archives of photogrammetry and remote sensing**, Turquia, 2004

INDE. Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais. **Especificação Técnica para a Aquisição de Dados Geoespaciais Vetoriais** – ETADGV 2ed. 2011

JENSEN, J. R. **Sensoriamento Remoto do Ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. 1.ed. São José dos Campos: Parêntese, 2009.

JENSEN, John R.. **Sensoriamento Remoto do Ambiente: Uma perspectiva em Recursos Terrestres**. 2.ed. São José dos Campos: Parêntese, 2011. .

KNEIPP, R.B. **O Estado da arte na utilização de drones para inspeção naval e offshore** - Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2018

KOLDAEV, A. - **Basic principals for UAS development for non-military applications**. International Conference & Exhibition on Unmanned Aircraft Systems. Paris, 2009.

LAURITZEN, E.K. - Emergency construction waste management. **Safety Science**, v. 30, p. 45-53, 1998.

LILLESAND, T.M.; KIEFER, R.W. **Remote Sensing and Image Interpretation**. 2a Edition. New York. John Wiley; Sons. 1987.

LIMA, E. M.; THOMAZ, T. A. M.; SEVERO, T. C. **Mapeamento aerofotogramétrico digital utilizando fotografias de médio formato.**- Instituto de Geociências. UFRS. Porto Alegre, 2010

LONGHITANO, G. A. **Vants para sensoriamento remoto: aplicabilidade na avaliação e monitoramento de impactos ambientais causados por acidentes com cargas perigosas.**2010.146p. Dissertação de mestrado (Mestrado em Engenharia) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, USP, São Paulo, 2010.

LUCHIARI, A.; KAWAKUBO, F.S.; MORATO, R.G. **Aplicações de Sensoriamento Remoto na Geografia** In: VENTURI, L. A. B. Org. Geografia: **Praticando Geografia: técnicas de campo e de laboratório.** São Paulo: Editora Oficina de Textos, 2005, p. 33-54

LUTHER, L. *Disaster Disaster Debris Removal after Hurricane Katrina: Status and Associated Issues.* Congressional Research Service, 2008.

MARCELINO, E. V.; NUNES, L. H.; KOBIYA MA, M. Banco de dados de desastres naturais: análise de dados globais e regionais. **Caminhos de Geografia**, v.6, n.19, p. 130-149, 2006

MATHER, P. M. **Computer processing of remotely-sensed images: an introduction.** 3 ed. Chichester, West Sussex, England: John Wiley & Sons, 2004

MEULEMAN, Koen et al. Seveso: **Geo-based services in support to industrial and technological risk management.** In: Proc. 'Envisat Symposium 2007, 23–27. Montreux, 2007.

MILKE, M. **Disaster waste management research needs**, Elsevier Waste Management, V.31.pg.1. 2011.

MINISTERIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL (MIN) - Instrução Normativa Nº 01, Brasília, 2012 .

NEPOMUCENO, P.L.M **Geoprocessamento nos Planos de Manejo de Unidades de Conservação Paulistas.** 2016. 198p. Tese de Doutorado (Doutorado em Geografia) Instituto de Geografia da Universidade de São Paulo, USP, São Paulo, 2016.

NIETHAMMER, U. et al. **UAV-based remote sensing of the Super-Sauze landslide: evaluation and results.** Engineering Geology, v. 128, 2012.

NOVO, E. M. L. M. **Sensoriamento Remoto: Princípios e aplicações.** 2 ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1992.

PARENTE, D.C; **Utilização de veículo aéreo não tripulado na identificação de resíduos de construção civil dispostos em locais inadequados.** 2017. 83p. Dissertação de Mestrado (Mestrado profissional em Engenharia ambiental) UFTO, Palmas, 2017.

PATIAS, P. 2001. **Photogrammetry and Visualization Technical Report**, ETH Zurich., 2001

PEREIRA, O. j., & TAMAMARU, R. **Geração de modelos digitais de elevação com base em técnicas de estereoscopia digital, por meio de imagens VANT: Subsídio a identificação de manchas de desmatamento em áreas de preservação permanente.** Foz do Iguaçu: Anais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento remoto – SBSR, 2013.

ROBERTO, A.J. **Extração de informação geográfica a partir de fotografias aéreas obtidas com VANTs para apoio a um SIG municipal** - Faculdade de Ciência, Universidade do Porto, 2013.

RODRIGUES A.C; GUNTHER W.R; VASCONCELLOS M.P; GIULLIO G.M; BOSCOV M.E. **Delineamento da produção científica sobre desastres no Brasil no início deste século.** Desenvolvimento e Meio Ambiente, V.34, p 61-63, 2015.

RODRIGUES, A.A. **Uso de Veículos Aéreos Não Tripulados para Mapeamento e Avaliação de Erosão Urbana.** 2016. 99p. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Geografia) Universidade Federal de Goiás UFG. Goiânia, 2016.

ROSA R., Geotecnologias na geografia aplicada - **Revista do Departamento de Geografia**, V.16. pg 81-90, 2005.

SALGADO, M., G. **Reflexões em torno do conceito do risco natural e da dimensão do risco.** Faculdade de letras/ Universidade do Porto. 2005.

SAMPAIO, E. P. M. **Noções básicas de detecção Remota, fotogrametria e fotointerpretação em pedologia.** São Paulo: Évora, 2007.

SANTOS, A. P.; RODRIGUES, D. D.; SANTOS, N. T.; GRIPP JR, J. **Avaliação da acurácia posicional em dados espaciais utilizando técnicas de estatística espacial: proposta de método e exemplo utilizando a norma brasileira.** Boletim de Ciências Geodésicas (Online), v. 22/4. 2016

SAUSEN, T. M., LACRUZ, M. S. P. **Sensoriamento Remoto para Desastres.** São Paulo: 2015.

SCHALCH V., LEITE W.C.A.; JUNIOR J.L.F, CASTRO M.C.A - **Gestão e gerenciamento de resíduos sólidos**, EESC USP, São Carlos, 2002

Introdução ao Zangão 3 - 2014 - https://skydrones.com.br/wp-content/uploads/2017/07/SkyDrones_Zangao.pdf - Acesso em junho de 2018

STAFFORD, J. **How a Quadcopter works | Clay Allen.** University of Alaska, Fairbanks, 2015

STEPANIAK, M. J. **A Quadrotor Sensor Platform.** 2008.151p. Master Dissertation (Master in Technology) - Russ College of Engineering and Technology of Ohio University, Ohio, 2008

TOMMASELLI, A. M. G.; SILVA, J. F. C da; HASEGAWA, J. K.; GALO, M.; DAL POZ, A. P. **Fotogrametria: aplicações a curta distância.** Presidente Prudente SP, 1999;

TOMMASELLI, A. M. G. **Fotogrametria Basica.** São Paulo, 2009. (Cap livro)

UNISDR - United Nations International Strategy for Disaster Reduction - **Terminology on disaster risk reduction.** Geneva, 2009.

UNISDR Estratégia Internacional das Nações Unidas para a Redução de Desastres - **Marco de Sendai para a Redução do Risco de Desastres.** Sendai, 2015

VALENCIO, N. **Desastres, ordem social e planejamento em defesa civil: o contexto brasileiro.** Saúde e Sociedade, V.19, pg 748-762, 2010.

VEYRET, Y. **Os riscos: o homem como agressor e vítima do meio ambiente.** Contexto, São Paulo. 2007.

VIANA, C. D. **Análise estrutural de descontinuidades baseada em técnicas de structure from motion : aplicação em mina a céu aberto.** 2015. 158p. Dissertação de mestrado (Mestrado em Geoquímica e Geotectônica) - Universidade de São Paulo, USP, São Paulo, 2015

WATTS, A. C.; AMBROSIA, V. G. & HINKLEY, E. A. Unmanned aircraft systems in remote sensing and scientific research: Classification and considerations of use, **Remote Sensing** V.4, p. 1671-1692. 2012.

WOLF, P.R.; DEWITT, B.A. **Elements of Fotogrammetry: with Application in GIS.** 3rd edition. USA: McGraw-Hill, 2004.

WOLF, P. R.; DEWITT, B. A.; WILKINSON, B.E. **Elements of Photogrametry with Applications in GIS.** ed. New York: Mc Graw Hill Education, 2014.

ANEXO I

Classificação e Codificação Brasileira de Desastres (Cobrade)

	GRUPO	SUBGRUPO	TIPO	SUBTIPO	DEFINIÇÃO	COBRADE	SIMBOLOGIA
1. NATURAIS	1. Geológico	1. Terremoto	1. Tremor de terra	0	Vibrações do terreno que provocam oscilações verticais e horizontais na superfície da Terra (ondas sísmicas). Pode ser natural (tectônica) ou induzido (explosões, injeção profunda de líquidos e gás, extração de fluidos, alívio de carga de minas, enchimento de lagos artificiais).	1.1.1.1.0
			2. Tsunami	0	Série de ondas geradas por deslocamento de um grande volume de água causado geralmente por terremotos, erupções vulcânicas ou movimentos de massa.	1.1.1.2.0
		2. Emissão vulcânica	0	0	Produtos/materiais vulcânicos lançados na atmosfera a partir de erupções vulcânicas.	1.1.2.0.0
		3. Movimento de massa	1. Quedas, tombamentos e rolamentos	1. Blocos	As quedas de blocos são movimentos rápidos e acontecem quando materiais rochosos diversos e de volumes variáveis se destacam de encostas muito íngremes, num movimento tipo queda livre. Os tombamentos de blocos são movimentos de massa em que ocorre rotação de um bloco de solo ou rocha em torno de um ponto ou abaixo do centro de gravidade da massa desprendida. Rolamentos de blocos são movimentos de blocos rochosos ao longo de encostas, que ocorrem geralmente pela perda de apoio (descaçamento).	1.1.3.1.1
				2. Lascas	As quedas de lascas são movimentos rápidos e acontecem quando fatias delgadas formadas pelos fragmentos de rochas se destacam de encostas muito íngremes, num movimento tipo queda livre.	1.1.3.1.2	
				3. Matacões	Os rolamentos de matacões são caracterizados por movimentos rápidos e acontecem quando materiais rochosos diversos e de volumes variáveis se destacam de encostas e movimentam-se num plano inclinado.	1.1.3.1.3	
				4. Lajes	As quedas de lajes são movimentos rápidos e acontecem quando fragmentos de rochas extensas de superfície mais ou menos plana e de pouca espessura se destacam de encostas muito íngremes, num movimento tipo queda livre.	1.1.3.1.4	
			2. Deslizamentos	1. Deslizamentos de solo e/ou rocha	São movimentos rápidos de solo ou rocha, apresentando superfície de ruptura bem definida, de duração relativamente curta, de massas de terreno geralmente bem definidas quanto ao seu volume, cujo centro de gravidade se desloca para baixo e para fora do talude. Frequentemente, os primeiros sinais desses movimentos são a presença de fissuras.	1.1.3.2.1

1. NATURAIS	GRUPO	SUBGRUPO	TIPO	SUBTIPO	DEFINIÇÃO	COBRADE	SIMBOLOGIA
	1. Geológico		3. Corridas de massa	1. Solo/Lama	Ocorrem quando, por índices pluviométricos excepcionais, o solo/lama, misturado com a água, tem comportamento de líquido viscoso, de extenso raio de ação e alto poder destrutivo.	1.1.3.3.1	
				2. Rocha/Detrito	Ocorrem quando, por índices pluviométricos excepcionais, rocha/detrito, misturado com a água, tem comportamento de líquido viscoso, de extenso raio de ação e alto poder destrutivo.	1.1.3.3.2	
			4. Subsídências e colapsos	0	Afundamento rápido ou gradual do terreno devido ao colapso de cavidades, redução da porosidade do solo ou deformação de material argiloso.	1.1.3.4.0	
		4. Erosão	1. Erosão costeira/Marinha	0	Processo de desgaste (mecânico ou químico) que ocorre ao longo da linha da costa (rochosa ou praia) e se deve à ação das ondas, correntes marinhas e marés.	1.1.4.1.0	
				0	Desgaste das encostas dos rios que provoca desmoronamento de barrancos.	1.1.4.2.0	
			3. Erosão continental	1. Laminar	Remoção de uma camada delgada e uniforme do solo superficial provocada por fluxo hídrico não concentrado.	1.1.4.3.1	
				2. Ravinas	Evolução, em tamanho e profundidade, da desagregação e remoção das partículas do solo de sulcos provocada por escoamento hídrico superficial concentrado.	1.1.4.3.2	
				3. Boçorocas	Evolução do processo de ravinamento, em tamanho e profundidade, em que a desagregação e remoção das partículas do solo são provocadas por escoamento hídrico superficial e subsuperficial (escoamento freático) concentrado.	1.1.4.3.3	
	2. Hidrológico	1. Inundações	0	0	Submersão de áreas fora dos limites normais de um curso de água em zonas que normalmente não se encontram submersas. O transbordamento ocorre de modo gradual, geralmente ocasionado por chuvas prolongadas em áreas de planície.	1.2.1.0.0	
		2. Enxurradas	0	0	Escoamento superficial de alta velocidade e energia, provocado por chuvas intensas e concentradas, normalmente em pequenas bacias de relevo acidentado. Caracterizada pela elevação súbita das vazões de determinada drenagem e transbordamento brusco da calha fluvial. Apresenta grande poder destrutivo.	1.2.2.0.0	
		3. Alagamentos	0	0	Extrapolação da capacidade de escoamento de sistemas de drenagem urbana e consequente acúmulo de água em ruas, calçadas ou outras infraestruturas urbanas, em decorrência de precipitações intensas.	1.2.3.0.0	

1. NATURAIS	GRUPO	SUBGRUPO	TIPO	SUBTIPO	DEFINIÇÃO	COBRADE	SIMBOLOGIA
	3. Meteorológico	1. Sistemas de grande escala/Escala regional	1. Ciclones	1. Ventos costeiros (mobilidade de dunas)	Intensificação dos ventos nas regiões litorâneas, movimentando dunas de areia sobre construções na orla.	1.3.1.1.1
				2. Marés de tempestade (ressaca)	São ondas violentas que geram uma maior agitação do mar próximo à praia. Ocorrem quando rajadas fortes de vento fazem subir o nível do oceano em mar aberto e essa intensificação das correntes marítimas carrega uma enorme quantidade de água em direção ao litoral. Em consequência, as praias inundam, as ondas se tornam maiores e a orla pode ser devastada alagando ruas e destruindo edificações.	1.3.1.1.2
			2. Frentes frias/Zonas de convergência	0	Frente fria é uma massa de ar frio que avança sobre uma região, provocando queda brusca da temperatura local, com período de duração inferior à friagem. Zona de convergência é uma região que está ligada à tempestade causada por uma zona de baixa pressão atmosférica, provocando forte deslocamento de massas de ar, vendavais, chuvas intensas e até queda de granizo.	1.3.1.2.0
		2. Tempestades	1. Tempestade local/Convectiva	1. Tornados	Coluna de ar que gira de forma violenta e muito perigosa, estando em contato com a terra e a base de uma nuvem de grande desenvolvimento vertical. Essa coluna de ar pode percorrer vários quilômetros e deixa um rastro de destruição pelo caminho percorrido.	1.3.2.1.1
				2. Tempestade de raios	Tempestade com intensa atividade elétrica no interior das nuvens, com grande desenvolvimento vertical.	1.3.2.1.2
				3. Granizo	Precipitação de pedaços irregulares de gelo.	1.3.2.1.3
				4. Chuvas intensas	São chuvas que ocorrem com acumulados significativos, causando múltiplos desastres (ex.: inundações, movimentos de massa, enxurradas, etc.).	1.3.2.1.4
				5. Vendaval	Forte deslocamento de uma massa de ar em uma região.	1.3.2.1.5
		3. Temperaturas extremas	1. Onda de calor	0	É um período prolongado de tempo excessivamente quente e desconfortável, onde as temperaturas ficam acima de um valor normal esperado para aquela região em determinado período do ano. Geralmente é adotado um período mínimo de três dias com temperaturas 5°C acima dos valores máximos médios.	1.3.3.1.0

1. NATURAIS							
GRUPO	SUBGRUPO	TIPO	SUBTIPO	DEFINIÇÃO	COBRADE	SIMBOLOGIA	
3. Meteorológico		2. Onda de frio	1. Friagem	Período de tempo que dura, no mínimo, de três a quatro dias, e os valores de temperatura mínima do ar ficam abaixo dos valores esperados para determinada região em um período do ano.	1.3.3.2.1
			2. Geadas	Formação de uma camada de cristais de gelo na superfície ou na folhagem exposta.	1.3.3.2.2
4. Climatológico	1. Seca	1. Estiagem	0	Período prolongado de baixa ou nenhuma pluviosidade, em que a perda de umidade do solo é superior à sua reposição.	1.4.1.1.0
		2. Seca	0	A seca é uma estiagem prolongada, durante o período de tempo suficiente para que a falta de precipitação provoque grave desequilíbrio hidrológico.	1.4.1.2.0
		3. Incêndio florestal	1. Incêndios em parques, áreas de proteção ambiental e áreas de preservação permanente nacionais, estaduais ou municipais	Propagação de fogo sem controle, em qualquer tipo de vegetação situada em áreas legalmente protegidas.	1.4.1.3.1
			2. Incêndios em áreas não protegidas, com reflexos na qualidade do ar	Propagação de fogo sem controle, em qualquer tipo de vegetação que não se encontre em áreas sob proteção legal, acarretando queda da qualidade do ar.	1.4.1.3.2		
		4. Baixa umidade do ar	0	Queda da taxa de vapor de água suspensa na atmosfera para níveis abaixo de 20%.	1.4.1.4.0
		5. Biológico	1. Epidemias	1. Doenças infecciosas virais	0	Aumento brusco, significativo e transitório da ocorrência de doenças infecciosas geradas por vírus.	1.5.1.1.0
2. Doenças infecciosas bacterianas	0			Aumento brusco, significativo e transitório da ocorrência de doenças infecciosas geradas por bactérias.	1.5.1.2.0		
3. Doenças infecciosas parasíticas	0			Aumento brusco, significativo e transitório da ocorrência de doenças infecciosas geradas por parasitas.	1.5.1.3.0		
4. Doenças infecciosas fúngicas	0			Aumento brusco, significativo e transitório da ocorrência de doenças infecciosas geradas por fungos.	1.5.1.4.0		

	GRUPO	SUBGRUPO	TIPO	SUBTIPO	DEFINIÇÃO	COBRADE	SIMBOLOGIA
1. NATURAIS	5. Biológico	2. Infestações/Pragas	1. Infestações de animais	0	Infestações por animais que alterem o equilíbrio ecológico de uma região, bacia hidrográfica ou bioma afetado por suas ações predatórias.	1.5.2.1.0
			2. Infestações de algas	1. Marés vermelhas	Aglomeração de microalgas em água doce ou em água salgada suficiente para causar alterações físicas, químicas ou biológicas em sua composição, caracterizada por uma mudança de cor, tornando-se amarela, laranja, vermelha ou marrom.	1.5.2.2.1
				2. Cianobactérias em reservatórios	Aglomeração de cianobactérias em reservatórios receptores de descargas de resíduos domésticos, industriais e/ou agrícolas, provocando alterações das propriedades físicas, químicas ou biológicas da água.	1.5.2.2.2	
			3. Outras infestações	0	Infestações que alterem o equilíbrio ecológico de uma região, bacia hidrográfica ou bioma afetado por suas ações predatórias.	1.5.2.3.0
2. TECNOLÓGICOS	1. Desastres relacionados a substâncias radioativas	1. Desastres siderais com riscos radioativos	1. Queda de satélite (radionuclídeos)	0	Queda de satélites que possuem, na sua composição, motores ou corpos radioativos, podendo ocasionar a liberação deste material.	2.1.1.1.0
		2. Desastres com substâncias e equipamentos radioativos de uso em pesquisas, indústrias e usinas nucleares	1. Fontes radioativas em processos de produção	0	Escapamento acidental de radiação que excede os níveis de segurança estabelecidos na norma NN 3.01/006:2011 da CNEN.	2.1.2.1.0
		3. Desastres relacionados com riscos de intensa poluição ambiental provocada por resíduos radioativos	1. Outras fontes de liberação de radionuclídeos para o meio ambiente	0	Escapamento acidental ou não acidental de radiação originária de fontes radioativas diversas e que excede os níveis de segurança estabelecidos na norma NN 3.01/006:2011 e NN 3.01/011:2011 da CNEN.	2.1.3.1.0
	2. Desastres relacionados a produtos perigosos	1. Desastres em plantas e distritos industriais, parques e armazenamentos com extravasamento de produtos perigosos	1. Liberação de produtos químicos para a atmosfera causada por explosão ou incêndio	0	Liberação de produtos químicos diversos para o ambiente, provocada por explosão/incêndio em plantas industriais ou outros sítios.	2.2.1.1.0

2. TECNOLÓGICOS

GRUPO	SUBGRUPO	TIPO	SUBTIPO	DEFINIÇÃO	COBRADE	SIMBOLOGIA
2. Desastres relacionados a produtos perigosos	2. Desastres relacionados à contaminação da água	1. Liberação de produtos químicos nos sistemas de água potável	0	Derramamento de produtos químicos diversos em um sistema de abastecimento de água potável, que pode causar alterações nas qualidades físicas, químicas, biológicas.	2.2.2.1.0
		2. Derramamento de produtos químicos em ambiente lacustre, fluvial, marinho e aquífero	0	Derramamento de produtos químicos diversos em lagos, rios, mar e reservatórios subterrâneos de água, que pode causar alterações nas qualidades físicas, químicas e biológicas.	2.2.2.2.0
	3. Desastres relacionados a conflitos bélicos	1. Liberação de produtos químicos e contaminação como consequência de ações militares	0	Agente de natureza nuclear ou radiológica, química ou biológica, considerado como perigoso, e que pode ser utilizado intencionalmente por terroristas ou grupamentos militares em atentados ou em caso de guerra.	2.2.3.1.0
	4. Desastres relacionados a transporte de produtos perigosos	1. Transporte rodoviário	0	Extravasamento de produtos perigosos transportados no modal rodoviário.	2.2.4.1.0
		2. Transporte ferroviário	0	Extravasamento de produtos perigosos transportados no modal ferroviário.	2.2.4.2.0	
		3. Transporte aéreo	0	Extravasamento de produtos perigosos transportados no modal aéreo.	2.2.4.3.0	
		4. Transporte dutoviário	0	Extravasamento de produtos perigosos transportados no modal dutoviário.	2.2.4.4.0	
		5. Transporte marítimo	0	Extravasamento de produtos perigosos transportados no modal marítimo.	2.2.4.5.0	
		6. Transporte aquaviário	0	Extravasamento de produtos perigosos transportados no modal aquaviário.	2.2.4.6.0	
3. Desastres relacionados a incêndios urbanos	1. Incêndios urbanos	1. Incêndios em plantas e distritos industriais, parques e depósitos	0	Propagação descontrolada do fogo em plantas e distritos industriais, parques e depósitos.	2.3.1.1.0
		2. Incêndios em aglomerados residenciais	0	Propagação descontrolada do fogo em conjuntos habitacionais de grande densidade.	2.3.1.2.0

2. TECNOLÓGICOS	GRUPO	SUBGRUPO	TIPO	SUBTIPO	DEFINIÇÃO	COBRADE	SIMBOLOGIA
	4. Desastres relacionados a obras civis	1. Colapso de edificações	0	0	Queda de estrutura civil.	2.4.1.0.0
		2. Rompimento/colapso de barragens	0	0	Rompimento ou colapso de barragens.	2.4.2.0.0
	5. Desastres relacionados a transporte de passageiros e cargas não perigosas	1. Transporte rodoviário	0	0	Acidente no modal rodoviário envolvendo o transporte de passageiros ou cargas não perigosas.	2.5.1.0.0
		2. Transporte ferroviário	0	0	Acidente com a participação direta de veículo ferroviário de transporte de passageiros ou cargas não perigosas.	2.5.2.0.0
		3. Transporte aéreo	0	0	Acidente no modal aéreo envolvendo o transporte de passageiros ou cargas não perigosas.	2.5.3.0.0
		4. Transporte marítimo	0	0	Acidente com embarcações marítimas destinadas ao transporte de passageiros e cargas não perigosas.	2.5.4.0.0
		5. Transporte aquaviário	0	0	Acidente com embarcações destinadas ao transporte de passageiros e cargas não perigosas.	2.5.5.0.0

APÊNDICE I

	Grupo	Subgrupo	Tipo	APP VANT	OBS
Desastres Naturais	Geológico	Movimento de massa	Quedas, rolamentos, tombamentos	4	
			Deslizamentos	4	
			Corridas de massa	3	em caso de corridas de massa de solo/lama, causada por altos índices pluviométricos, os resíduos tendem a dispersar. Em casos de corridas de rochas ou detritos, a tendência é de acúmulo.
			Subsidências e colapsos	4	
		Erosão	Erosão costeira marinha	2	áreas de costa pouco extensas podem ser mapeadas, já o mapeamento de longas extensões de costa exige utilização de outras ferramentas
			Erosão de margem fluvial	2	áreas de costa pouco extensas podem ser mapeadas, já o mapeamento de longas extensões das margens de rio exige utilização de outras ferramentas
			Erosão continental	2	resíduos não carregados pelos corpos d'água podem ser mapeados. Podem representar a maior parte dos resíduos gerados.
	Hidrológico	Inundações	0	2	resíduos não carregados pelos corpos d'água podem ser mapeados. Podem representar a maior parte dos resíduos gerados.
		Enxurradas	0	1	resíduos não carregados pelos corpos d'água podem ser mapeados, entretanto a relevante parcela deles escoou ou se depositou ao longo de extensas áreas
		Alagamentos	0	2	resíduos não carregados pelos corpos d'água podem ser mapeados. Podem representar a maior parte dos resíduos gerados.
	Climatológico	Seca	Estiagem	1	áreas impactadas demasiadamente extensas para o mapeamento
			Seca	1	áreas impactadas demasiadamente extensas para o mapeamento
			Incêndio florestal	2	pode apresentar boa aplicabilidade a incêndios de pequeno porte, já os de grande porte demandam outras alternativas

	Grupo	Subgrupo	Tipo	APP VANT	OBS
Desastres Tecnológicos	Desastres relacionados a produtos perigosos	Desastres relacionados a contaminação da água	Liberação nos sistemas de água potável	1	
			Derramamento em ambiente lacustre, fluvial, aquífero e marinho	1	
		Desastres relacionados a derramamento de produtos perigosos	Transporte rodoviário	3	resíduos podem ser eventualmente mapeados se não atingirem corpos de água, ou não se infiltrarem no solo descoberto
			Transporte ferroviário	3	resíduos podem ser eventualmente mapeados se não atingirem corpos de água, ou não se infiltrarem no solo descoberto
			Transporte aéreo	2	
			Transporte dutoviário	1	
			Transporte marítimo	1	
			Transporte aquaviário	1	
	Desastres relacionados a incêndios urbanos	Incêndios urbanos	Incêndios em plantas e distritos industriais, parques e depósitos	3	a parcela de resíduos sólidos resultante do incêndio pode ser mapeada. Outra parcela, dispersa em forma gasosa, já não pode.
			Incendios em aglomerados residenciais	3	a parcela de resíduos sólidos resultante do incêndio pode ser mapeada. Outra parcela, dispersa em forma gasosa, já não pode.
	Desastres relacionados a obras civis	Colapso de edificações	0	4	
		Rompimento, colapso de barragens	0	2	
	Desastres relacionados a transporte de passageiros e cargas não perigosas	Transporte rodoviário	0	3	
		Transporte ferroviário	0	3	
		Transporte aéreo	0	2	
		Transporte marítimo	0	1	
		Transporte aquaviário	0	1	