



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA

LINARA IVINA DE CASTRO RODRIGUES
RAYSSA MAGDYELLI NOGUEIRA DA SILVA

**USO DO VANT NO ATERRO DE RESÍDUOS SÓLIDOS DO JANGURUSSU –
FORTALEZA, CE – PARA FINS DE ANÁLISE DE RISCO POTENCIAL À EROSÃO**

FORTALEZA - CE

2018

LINARA IVINA DE CASTRO RODRIGUES
RAYSSA MAGDYELLI NOGUEIRA DA SILVA

USO DO VANT NO ATERRO DE RESÍDUOS SÓLIDOS DO JANGURUSSU –
FORTALEZA, CE – PARA FINS DE ANÁLISE DE RISCO POTENCIAL À EROSÃO

Monografia apresentada ao Curso de Geologia
do Departamento de Geologia da Universidade
Federal do Ceará, como requisito parcial para
obtenção do título de Bacharel em Geologia.

Orientador: Prof. Dr. José Antonio Beltrão
Sabadia

Coorientador: Prof. Dr. Daniel Dantas Moreira
Gomes – UPE

FORTALEZA – CE

2018

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Central do Campus do Pici

-
- R614u Rodrigues, Linara Ivina de Castro.
Uso do VANT no aterro de resíduos sólidos do Jangurussu – Fortaleza, CE – para fins de análise de risco potencial à erosão / Linara Ivina de Castro Rodrigues; Rayssa Magdyelli Nogueira da Silva. – 2018.
60 f. : il. color.
- Monografia (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências, Departamento de Geologia, Curso de Geologia, Fortaleza, 2018.
Orientação: Prof. Dr. José Antonio Beltrão Sabadia.
Coorientação: Prof. Dr. Daniel Dantas Moreira Gomes.
1. Aterros. 2. Mecânica do solo. 3. Sensoriamento remoto. I. Silva, Rayssa Magdyelli Nogueira da. II. Título.

CDD 551

Elaborado por: Wesleyne Sales CRB 03/1216

LINARA IVINA DE CASTRO RODRIGUES
RAYSSA MAGDYELLI NOGUEIRA DA SILVA

USO DO VANT NO ATERRO DE RESÍDUOS SÓLIDOS DO JANGURUSSU –
FORTALEZA, CE – PARA FINS DE ANÁLISE DE RISCO POTENCIAL À EROSÃO

Monografia apresentada ao Curso de Geologia
do Departamento de Geologia da Universidade
Federal do Ceará, como requisito parcial para
obtenção do título de Bacharel em Geologia.

Orientador: Prof. Dr. José Antonio Beltrão
Sabadia

Coorientador: Prof. Dr. Daniel Dantas Moreira
Gomes – UPE

Aprovada em: ____/____/____.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. José Antonio Beltrão Sabadia (Orientador)
UFC – Universidade Federal do Ceará

Prof. Dr. Daniel Dantas Moreira Gomes (Coorientador)
UPE – Universidade de Pernambuco – Campus Garanhuns

MSc. Alcione Moreira do Carmo
Doutoranda IGE Unicamp – Universidade Estadual de Campinas

MSc. Eduardo Viana Freires
Doutorando PPGG UFC – Universidade Federal do Ceará

AGRADECIMENTOS

A Deus por nos permitir terminar mais uma etapa de muitas que estão por vir.

Agradecemos, em especial, aos nossos familiares por estarem presentes desde o nosso início na Geologia. Amamos vocês.

Aos nossos amigos pelo apoio e companheirismo nos momentos de melancolia até os momentos de risadas no R.U. Os nomes não vão ser citados, mas deem um desconto! Afinal esses agradecimentos são de duas pessoas, não está sendo fácil!

Aos colegas do GEOCE pelo incentivo, tira-dúvidas e momentos de descontração.

Aos nossos orientadores e professores que se dispuseram em nos ajudar no desenvolvimento desse trabalho.

E também a todos que, direta ou indiretamente, contribuíram na nossa trajetória acadêmica. Não chegamos aqui sozinhas.

RESUMO

Com o avanço das novas tecnologias de Sensoriamento Remoto, o nível de detalhe dos levantamentos utilizando imagens aéreas também evoluíram. Na busca de ferramentas com maior eficiência e menor custo, o uso dos Veículos Aéreos Não Tripulados (VANT) destaca-se principalmente pela segurança, tempo e custo na execução de um mapeamento. Com isso, pretende-se utilizar técnicas de geoprocessamento para analisar as variáveis geomorfométricas do Aterro de Resíduos Sólidos do Jangurussu - Fortaleza-CE, derivadas de um Modelo Digital de Elevação (MDE) produzido a partir das imagens aéreas obtidas pelo uso de um VANT e, com isso, auxiliar na prevenção de riscos prováveis ao elaborar uma Carta de Avaliação do Risco Morfológico à Erosão (CARMOE). O voo foi executado com o VANT Phantom 4 da marca Dji. O Pré processamento dos dados do voo foi realizado no *software* Agisof PhotoScan para geração do MDE. A modelagem dos mapas temáticos foi elaborada utilizando ferramentas do *software* ArcGis® 10.3.1, onde foram extraídas, a partir do MDE, quatro variáveis geomorfométricas (declividade, orientação de vertentes e curvaturas vertical e horizontal). Estas variáveis ao serem analisadas mostraram, no geral, um resultado que auxiliou na interpretação da geomorfometria da área de estudo e, quando integradas, a confecção da CARMOE, onde foi possível classificar as áreas em graus de risco à erosão. O processamento das imagens possibilitou um MDE com um pixel de 63,5 cm, o que comprova a alta resolução espacial definida pelo uso do VANT, além da facilidade, rapidez e baixo custo da aquisição dos dados. Ao analisar a carta de risco à erosão, as vertentes sul, leste, sudeste e parte da vertente norte apresentaram graus de risco alto e muito alto, que coincidem com áreas onde foram construídas residências dentro dos limites do aterro e onde a aproximadamente 25 metros encontram-se as margens do Rio Cocó. Apesar de não terem sido encontradas ocorrências de movimentos de massa mediante a análise das imagens, não se pode descartar a influência das vertentes de maior risco e de fatores antrópicos na deflagração de riscos em um aterro que se encontra desativado, mas que está em um contexto densamente urbanizado de uma grande capital.

Palavras-chave: Aterro. VANT. Variáveis geomorfométricas. Risco à erosão.

ABSTRACT

With the growth related to new technologies of Remote Sensing, the detail level of the surveys using aerial photographic also evolved. In the search for tools with higher efficiency and lower cost, the use of Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) stands out mainly for safety, time and low operating costs in executing a mapping. Therefore, it is intended to use geoprocessing techniques to analyze the geomorphometric variables of the solid waste landfill of Jangurussu - Fortaleza-CE. These variables are derived from a Digital Elevation Model (DEM) produced from the aerial photographic obtained by the use of a UAV and thereby help prevent probable risks by creating a Morphological Erosion Risk Map (MERM). The flight was performed with the DJI's UAV Phantom 4. Pre-processing flight data was performed in the software Agisoft PhotoScan for DEM generation. The modeling of the thematic maps was elaborated using tools of the software ArcGis® 10.3.1, where four geomorphometric variables (slope, aspect and profile and plan curvatures) were extracted from the DEM. These variables analyzed showed in general a result that assist in the interpretation of the geomorphometry at the study area and when integrated it was possible to make the Morphological Erosion Risk Map where it was allowed to classify the areas in degrees of erosion risk. The image processing provided a DEM with a pixel of 63,5 cm, which proves the high spatial resolution defined by the use of the UAV and an easy, fast and low cost data acquisition. When analyzing the erosion risk map, the south, east, southeast and part of the north slope presented high and very high risk levels, which coincide with areas where residences were built inside the limits of the landfill and with a distance of the river banks of approximately 25 meters. Although there were no occurrences of mass movements through the analysis of the images, we cannot exclude the influence of the higher risk slopes and anthropogenic factors causing these movements in a landfill that is disabled but is in a densely urbanized context of a large capital.

Keywords: Landfill. UAV. Geomorphometric variables. Erosion risk.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Mapa de Localização.....	2
Figura 2 – Aterro do Jangurussu e seu entorno no ano de 1995.....	3
Figura 3 – Esboço geológico do município de Fortaleza, CE.	6
Figura 4 - Precipitação Total de 2017, Estação Fortaleza.	9
Figura 5 – Exemplos de VANT Multirotor (A) e Asa Fixa (B)	13
Figura 6 – Nomenclaturas para VANT seguindo descrições militares.	14
Figura 7 – Modos de operação de uma RPA.....	16
Figura 8 – Algumas aplicações dos RPAS.	20
Figura 9 – Geomorfometria e sua relação com as disciplinas de origem e aplicações.....	23
Figura 10 – Variáveis geomorfológicas derivadas da altimetria.	24
Figura 11 – VANT Phantom 4 da marca Dji.....	28
Figura 12 – Ortomosaico com zonas de detalhe da superfície.	34
Figura 13 – Declividade da área.	36
Figura 14 – Orientação de Vertentes da área.....	37
Figura 15 – Curvatura Vertical da área.	38
Figura 16 – Curvatura Horizontal da área.	39
Figura 17 – Carta de Avaliação do Risco Morfológico à Erosão (CARMOE).....	42

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Bacias Hidrográficas de Fortaleza	10
Tabela 2 – Classificação de RPA de acordo com a ANAC.....	17
Tabela 3 – Principais especificações do VANT Phantom 4.	29
Tabela 4 – Classes de Declividade.	35
Tabela 5 – Notas atribuídas para cada atributo das variáveis.....	40
Tabela 6 – Peso de Influência para cada variável.....	41

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	Apresentação	1
1.2	Localização	1
1.3	Histórico do Aterro	2
1.4	Justificativa	4
1.5	Objetivos	5
<i>1.5.1</i>	<i>Objetivo Geral</i>	<i>5</i>
<i>1.5.2</i>	<i>Objetivos Específicos</i>	<i>5</i>
2	ASPECTOS GEOLÓGICOS E FISIAGRÁFICOS	6
2.1	Geologia	6
<i>2.1.1</i>	<i>Rochas pré-cambrianas</i>	<i>7</i>
<i>2.1.2</i>	<i>Rochas cenozoicas</i>	<i>7</i>
2.2	Geomorfologia	8
2.3	Clima	8
2.4	Hidrografia	9
2.5	Solo	10
2.6	Vegetação	10
3	REFERENCIAL TEÓRICO	12
3.1	VANT - RPA	12
<i>3.1.1</i>	<i>Algumas especificações</i>	<i>13</i>
<i>3.1.2</i>	<i>Regulamentação no Brasil</i>	<i>16</i>
<i>3.1.3</i>	<i>Vantagens e Aplicações</i>	<i>19</i>
3.2	Geoprocessamento	20
3.3	Sensoriamento Remoto	21
3.4	Modelagem Numérica do Terreno (MNT)	21
3.5	Geomorfometria	22
<i>3.5.1</i>	<i>Declividade</i>	<i>24</i>
<i>3.5.2</i>	<i>Orientação de Vertentes</i>	<i>24</i>
<i>3.5.3</i>	<i>Curvatura Vertical</i>	<i>25</i>
<i>3.5.4</i>	<i>Curvatura Horizontal</i>	<i>25</i>
3.6	Geomorfometria aplicada a Análise de Risco	26
4	MATERIAIS E MÉTODOS	28

4.1	Pré-Voo	28
4.2	Execução do Voo	28
4.3	Processamento dos Dados	29
4.3.1	<i>PhotoScan – Pré processamento e geração do MDE</i>	29
4.3.2	<i>Derivação Geomorfométrica</i>	30
4.3.2.1	<i>Declividade</i>	30
4.3.2.2	<i>Orientação de vertentes</i>	31
4.3.2.3	<i>Curvaturas vertical e horizontal</i>	31
4.3.3	<i>Reclassificação</i>	32
4.3.4	<i>Álgebra de Mapas</i>	32
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	34
5.1	Declividade	35
5.2	Orientação de Vertentes	36
5.3	Curvatura Vertical e Horizontal	37
5.4	CARMOE	39
6	CONCLUSÕES	44
	REFERÊNCIAS	46

1 INTRODUÇÃO

1.1 Apresentação

Segundo a Instituição Global Urban Development (2010), as atividades realizadas nas cidades, onde boa parte dos recursos naturais são utilizados e os resíduos são gerados, correspondem à 85% do Produto Interno Bruto mundial, mas também são responsáveis pelo consumo de 75% dos recursos naturais utilizados no planeta e pela geração de 75% dos resíduos.

Em 2016, o Brasil gerou 78,3 milhões de toneladas apenas de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU), sendo que desse total, 91,0 % foi coletado, deixando de ser recolhido cerca de 7 milhões de toneladas de RSU. Com relação a disposição final, no ano de 2016, 58,4 % dos resíduos foram dispostos de forma adequada, totalizando 29,7 milhões de toneladas que foram dispostos de forma inadequada em lixões ou aterros controlados (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS, 2016).

Após o encerramento das operações de um aterro sanitário, o processo de decomposição dos resíduos pode se estender por algumas décadas. Essa decomposição leva a redução do volume do aterro e, conseqüentemente, a movimentos de massa. Essas alterações incidem tanto nas vertentes quanto na porção do topo do aterro, sendo necessário o monitoramento frequente dessas áreas, que podem ser supervisionados por meio de técnicas de sensoriamento remoto.

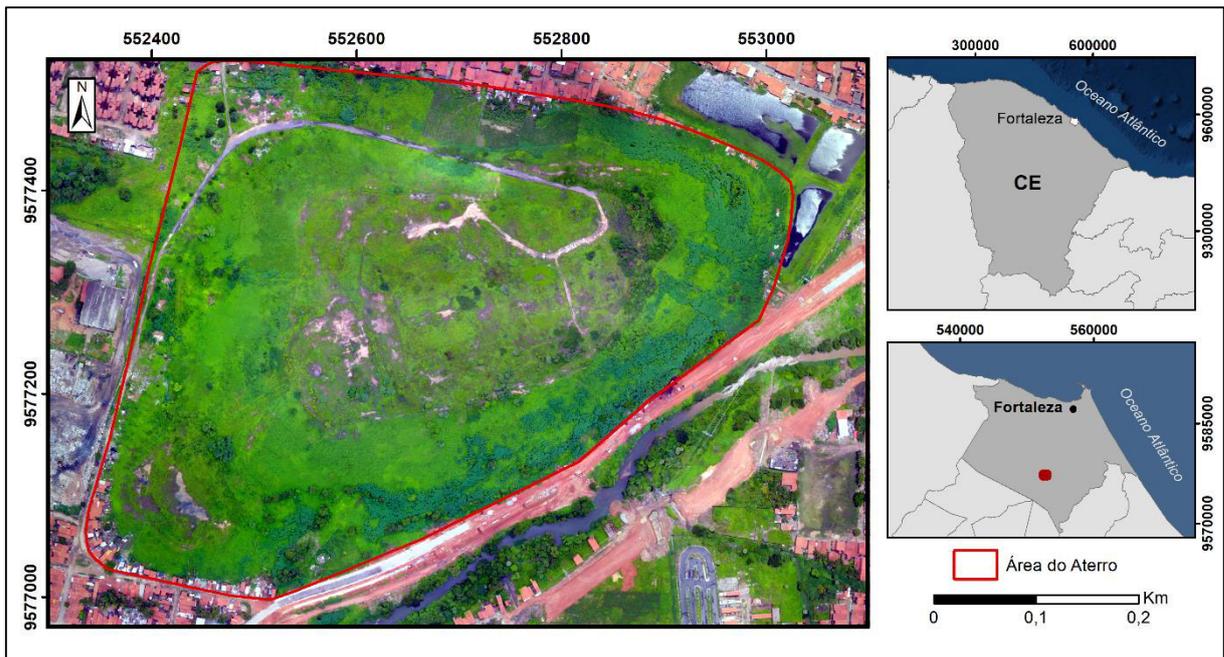
Com o avanço das novas tecnologias de Sensoriamento Remoto, o nível de detalhe dos levantamentos utilizando imagens aéreas também evoluíram. De sensores com resoluções espaciais de 30m a sensores com resoluções de 50 cm.

Na busca de ferramentas com maior eficiência e menor custo, o uso dos Veículos Aéreos Não Tripulados (VANT) destaca-se principalmente pela segurança, tempo e custo na execução de um mapeamento. A alta resolução espacial dessas novas tecnologias podem gerar produtos de elevada acurácia (SILVA, 2015).

1.2 Localização

O Aterro de Resíduos Sólidos do Jangurussu está localizado no Bairro Passaré, no centro-sul da cidade de Fortaleza no estado do Ceará (Figura 1), próximo aos bairros Barroso e Jangurussu, e possui uma área aproximada de 21,6 hectares (DIÁRIO DO NORDESTE, 2009).

Figura 1 – Mapa de Localização



Fonte: Elaborado pelas Autoras.

1.3 Histórico do Aterro

Com o objetivo de criar um local apropriado para a destinação final dos resíduos sólidos de Fortaleza, foi criado em 1978, o Aterro Sanitário do Jangurussu. O aumento da população urbana na década de 1970 foi um fator que acelerou ainda mais a implantação do aterro, que recebia os resíduos da capital e das sedes municipais adjacentes (CAVALCANTE E FRANCO, 2007).

O Aterro Sanitário do Jangurussu permaneceu operante, oficialmente, como aterro controlado até 1986 quando se iniciou o seu funcionamento como lixão, o qual durou até julho de 1998 (na Figura 2 pode-se ver o aterro e seu entorno no ano de 1995). De acordo com Cury (2004 *apud* Gonçalves, 2006), o aterro chegou a atingir uma quota de lixo de quarenta metros de altura, gerando um problema na questão socioambiental.

Figura 2 – Aterro do Jangurussu e seu entorno no ano de 1995.



Fonte: Retirado de SABADIA *et al.* (2000).

A grande motivação para a desativação do aterro foi a questão turística, pois a imagem de uma metrópole com um sistema de disposição de lixo tão rudimentar prejudicava o turismo e impedia investimentos internacionais (CAVALCANTE E FRANCO, 2007), assim como era um obstáculo a internacionalização do aeroporto, localizado próximo ao aterro, por conta da quantidade de urubus que sobrevoava a região. A destinação final dos resíduos sólidos da capital e das regiões metropolitanas foram então encaminhados para o aterro sanitário criado no município de Caucaia (Aterro Sanitário Metropolitano Oeste de Caucaia – ASMOC).

Até agora, mesmo após a sua desativação, o antigo lixão ainda gera impactos sociais (LIMA, 2013) e ambientais na região, como os apontados por Sabadia *et al.*, (2000) e Cavalcante *et al.*, (2007), os quais analisaram poços da área, que é a forma de abastecimento da maioria da população local, onde alguns parâmetros analisados excederam os limites

estabelecidos. Os efluentes do Jangurussu representam, segundo Brandão (1998) e Cavalcante (1998), o principal vetor de poluição do rio Cocó, que corre a leste da área.

O tratamento do chorume produzido é de responsabilidade de uma Estação da Companhia de Água e Esgoto do Ceará (Cagece) instalada no local, porém falhas na impermeabilização e na própria drenagem do chorume que está sob o lixo podem estar impedindo a chegada do mesmo na Estação, fazendo com que o líquido seja desviado para o rio Cocó e para as águas subterrâneas (DIARIO DO NORDESTE, 2015).

1.4 Justificativa

Projetado para uma vida útil de 10 anos, o antigo Aterro do Jangurussu, que funcionou por mais de 20 anos, era o responsável por receber os resíduos domésticos e até hospitalares da região de Fortaleza. Esses resíduos foram dispostos sem nenhum controle técnico, gerando chorume e gases tóxicos e inflamáveis que até hoje contaminam o lençol freático e põem em risco a população que reside em seu entorno (TEIXEIRA *et al.*, 2016).

Segundo os estudos de Sabadia *et al.* (2016), o aterro possui uma permeabilidade elevada e uma cobertura, quando não ausente, formada de uma fina camada de sedimentos e sulcos de drenagem, o chorume produzido pode atuar ainda como fluido lubrificante. Essas propriedades, quando aliadas a precipitações intensas e concentradas, podem gerar diversos problemas de instabilidade geotécnica.

Estima-se que mais de 16.000 pessoas vivem a uma distância de menos de 50 metros do lado norte do aterro, onde foi constatado por Sabadia *et al.* (2016), como sendo a área com as pendentes mais acentuadas e, conseqüentemente, a com maior risco de escorregamentos ou desestabilização.

De acordo com Carmo (2014), as variáveis geomorfométricas são importantes instrumentos de análise geomorfológica, porque a partir dessas variáveis é possível estudar os processos de evolução e as formas do terreno. Os movimentos de massa, comuns em vertentes com declives acentuados, correspondem a um dos processos erosivos mais importantes na modelagem do relevo e que podem desencadear desastres naturais (SAUSEN E LACRUZ, 2015). Assim, a morfologia do relevo pode determinar o potencial de risco de uma região em relação a ação erosiva.

Os critérios de projetos de aterros atuais, no Brasil, foram estabelecidos na década de 90, a partir do acidente do aterro sanitário Bandeirantes (São Paulo) em 1991 (BENVENUTO, 2012), que também lista outros casos de escorregamentos em aterros:

- a) 2007: Aterro Sanitário Sítio São João – SP;
- b) 1994: La Coruña, Espanha (um morto) – 100.000 t;
- c) 1996: Rumpke, EUA – 1.200.000 m³;
- d) 1997: Dona Juana, Bogotá, Colômbia – 800.000 t;
- e) 2000: Payatas, Filipinas (278 mortos) – 16.000 m³;
- f) 2001: Navarro, Colômbia – 250.000 m³;
- g) 2005: Leuwigaiah, Bandung, Indonésia (147 mortos) – 2.700.000 m³.

Como apresentado acima, escorregamentos e rupturas em aterros sanitários ocorrem com baixa frequência e possuem um registro limitado na literatura, porém, quando acontecem, tendem a tomar grandes proporções. Portanto, áreas onde a ocorrência de desastres que estão relacionados a movimentos de massa necessitam de atenção em meio ao gerenciamento de risco, principalmente em áreas intensamente ocupadas.

Com isso, no presente trabalho, pretende-se utilizar técnicas de geoprocessamento para analisar variáveis geomorfométricas derivadas de um Modelo Digital de Elevação (MDE) produzido a partir das imagens aéreas obtidas pelo uso de um VANT e, com isso, auxiliar na prevenção de riscos potenciais.

1.5 Objetivos

1.5.1 Objetivo Geral

Analisar as principais variáveis geomorfométricas do Aterro de Resíduos Sólidos do Jangurussu, em Fortaleza, em um MDE gerado a partir de dados obtidos por um VANT, com vistas a análise de risco à erosão.

1.5.2 Objetivos Específicos

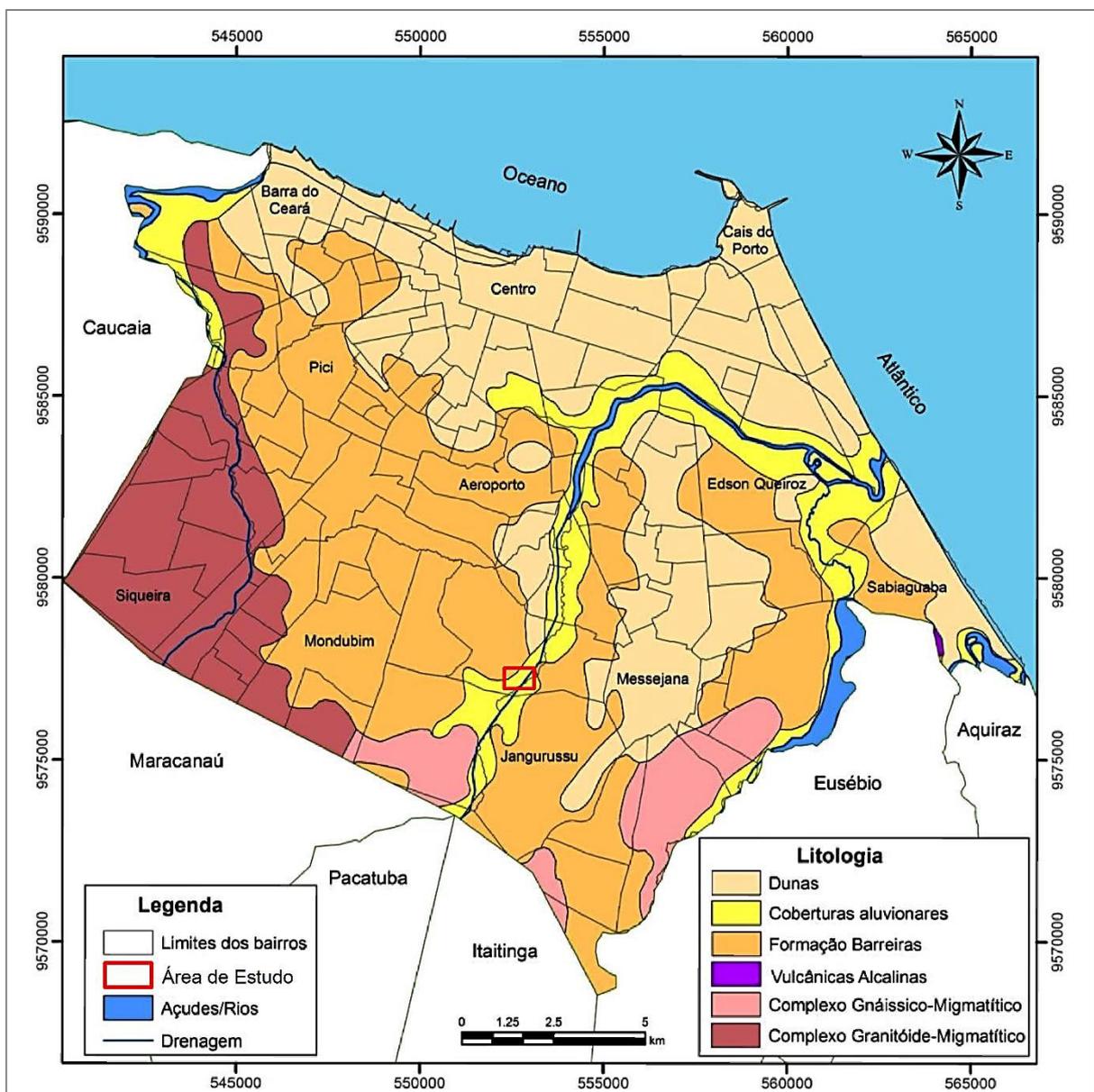
- Estabelecer uma rotina de aquisição, processamento e avaliação dos dados obtidos via VANT para análise geomorfométrica;
- Avaliar a aplicação do MDE produzido pelo processamento das imagens obtidas com VANT na geração das variáveis geomorfométricas;
- Elaborar uma Carta de Avaliação do Risco Morfológico à Erosão (CARMOE) a partir da integração das variáveis geomorfométricas.

2 ASPECTOS GEOLÓGICOS E FISIOGRAFICOS

2.1 Geologia

Em síntese, a região do município de Fortaleza é geologicamente formada por rochas pré-cambrianas e coberturas cenozoicas (Figura 3), sendo estas últimas as mais afetadas pela atividade antrópica, cobrindo cerca de 80% da área (GOMES, 2013).

Figura 3 – Esboço geológico do município de Fortaleza, CE.



Fonte: Modificado do Atlas Geológico do Ceará (2003) in Gomes (2013).

2.1.1 Rochas pré-cambrianas

Segundo Brandão (1998), as rochas pré-cambrianas distribuem-se em rochas ortoderivadas do Complexo Granitoide-Migmatítico, alguns autores o posicionam no Arqueano, e paraderivadas do Complexo Gnáissico-Migmatítico do Proterozoico Inferior. O conjunto ortoderivado, subaflorante na porção sudoeste do município, exhibe na periferia rochas foliadas desde gnaisses/gnaisses migmatizados até migmatitos metatexíticos, passando para o interior, a migmatitos diatexíticos e núcleos granitoides nas porções centrais. Enquanto as rochas paraderivadas constituem-se de gnaisses aluminosos, em parte migmatizados e frequentemente intercalados por níveis quartizíticos e carbonáticos.

Numa pequena porção centro-leste da área ocorrem rochas vulcânicas alcalinas. Estas podem ocorrer sob a forma de diques e necks e são, predominantemente, classificadas como fonolitos e traquitos com pórfiros milimétricos de feldspato envoltos por uma matriz afanítica (BRANDÃO, 1998).

2.1.2 Rochas cenozoicas

Repousando sobre o embasamento em discordância angular, de idade miocênica superior a pleistocênica, estão os sedimentos areno-argilosos, não ou pouco litificados, da Formação Barreiras que acompanha a linha de costa, estando em retaguarda dos sedimentos eólicos antigos e atuais, adentrando no continente com espessura variável. Os sedimentos areno-argilosos têm coloração avermelhada, creme ou amarelada e variam de finos a médios contendo intercalações de níveis conglomeráticos, sendo frequentes horizontes lateríticos. Acredita-se que o paleoambiente é predominantemente continental onde os sedimentos foram depositados sob clima semi-árido, formando amplas faixas de leques aluviais coalescentes e recobrimo uma ampla plataforma, dado que o nível do mar era mais baixo que atualmente (BRANDÃO, 1998).

Os depósitos colúvio-eluviais assentam-se diretamente sobre o embasamento cristalino e são resultantes do intemperismo *in situ* ou com pequeno deslocamento gravitacional sendo caracterizados por um material areno-argiloso com horizonte laterizado na base e, muitas vezes, conservando resquícios de estruturas gnáissicas e fragmentos de veios de quartzo (BRANDÃO, 1998).

Sobre os sedimentos da Formação Barreiras estão paleodunas formadas por areias bem selecionadas quartzosas e/ou quartzo-feldspáticas, geralmente inconsolidadas, embora possa ocorrer áreas com maior grau de compactação. Estas são uma geração mais antiga de

dunas apresentando desenvolvimento de processos pedogenéticos e fixação de revestimento vegetal de maior porte (BRANDÃO, 1998).

As dunas móveis – acumulações de sedimentos removidos da face praial – distribuem-se como um cordão contínuo paralelo à linha de costa possuindo largura média de 2 a 3 Km e espessura de 20 m. Sua continuidade pode ser interrompida por planícies fluviais e flúvio-marinhas ou ainda por sedimentos da Formação Barreiras e elevações rochosas formadas por cangas lateríticas e quartzitos. Geralmente há a ausência de vegetação (BRANDÃO, 1998).

Tem-se ainda os depósitos flúvio-aluvionares e de mangues que compreendem sedimentos fluviais, lacustres ou estuarinos recentes. Nas áreas de curso d'água sobre terrenos cristalinos, esses depósitos são formados por sedimentos de granulometria grossa, em canais ativos, ou mais fina, nas planícies de inundação. Em terrenos sedimentares, com o retrabalhamento da Formação Barreiras, resultam em acumulações de areais, siltes e argilas. Nas lagoas são predominantes a deposição de sedimentos pelíticos e matéria orgânica enquanto nos estuários formam-se depósitos síltico-argilosos com matéria orgânica associada (BRANDÃO, 1998).

2.2 Geomorfologia

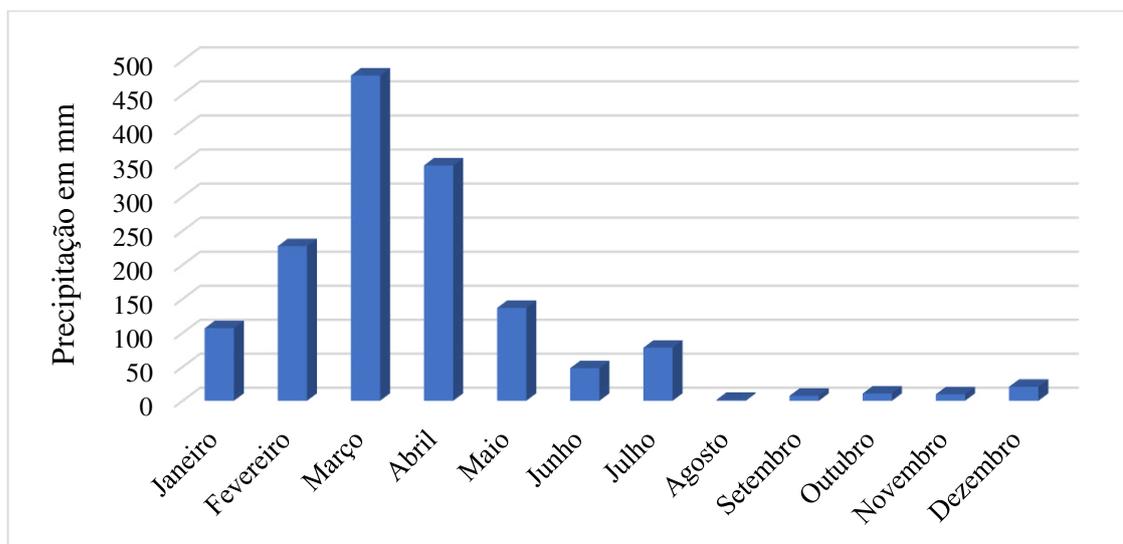
A geomorfologia da região de Fortaleza, é classificada pelo Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará (2018) em dois domínios: Planície Litorânea e Tabuleiros Pré-Litorâneos. Segundo Brandão e Freitas (2014), a Planície Litorânea situa-se entre a linha de costa e os Tabuleiros Litorâneos e apresenta um conjunto de relevos deposicionais de origem eólica, fluvial e marinha, destacando-se os campos de dunas, com dunas móveis e fixas, e as planícies fluvio-marinhas sob a forma de mangues na desembocadura dos principais rios, como ocorre no Rio Cocó. Já os Tabuleiros Litorâneos exibem extensos topos planos, em geral pouco litificados, com baixa susceptibilidade à erosão nos topos e moderada a forte nas vertentes. Há o domínio de pedogênese formando solos espessos e bem drenados. Os tabuleiros representam antigas superfícies deposicionais apresentando gradientes extremamente suaves em direção à linha de costa.

2.3 Clima

O clima da área é o Tropical Quente Sub-úmido (INSTITUTO DE PESQUISA E ESTRATÉGIA ECONÔMICA DO CEARÁ, 2018), apresentando altos índices de umidade

relativa do ar, variando de 73% a 82,5%, com influência marinha e alta taxa de evaporação, atingindo a máxima em outubro. A temperatura é elevada durante todo o ano, apresentando média anual de 26,06 °C (MMA, 2006). As chuvas concentram-se no primeiro semestre, como pode ser observado no Figura 4, sendo março e abril os meses mais chuvosos.

Figura 4 - Precipitação Total de 2017, Estação Fortaleza.



Fonte: Valores retirados do Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (BDMEP) do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) disponível em <http://www.inmet.gov.br/projetos/rede/pesquisa/>.

2.4 Hidrografia

Segundo a Secretaria Municipal de Urbanismo e Meio Ambiente (2015), o município de Fortaleza compreende total ou parcialmente as bacias da Vertente Marítima, do Rio Cocó, do Rio Maranguapinho e do Rio Pacoti, todas do grupo de Bacias Hidrográficas Metropolitanas do Ceará.

A Bacia da Vertente Marítima, inserida totalmente na zona urbana de Fortaleza e influenciada por ações antrópicas de ocupação, corresponde à faixa de dunas entre as bacias do Maranguapinho e do Cocó com escoamento das águas para o mar. A Bacia do Rio Cocó, que inclui a maior parte do município, é dividida em três sub-bacias: uma controlada pelo açude Gavião, outra compreendendo a área a jusante do rio e a área drenada pelo riacho Lameirão, e a última referente ao Rio Coaçu. A Bacia do Rio Maranguapinho, maior afluente do Rio Ceará, é a segunda maior bacia da Região Metropolitana de Fortaleza (RMF), onde localizam-se 36 bairros. A Bacia do Rio Pacoti, maior curso d'água que atravessa a RMF, mede 240 km de perímetro e tem relevo fortemente ondulado na sua parte superior (SECRETARIA

MUNICIPAL DE URBANISMO E MEIO AMBIENTE, 2015). Na Tabela 1 encontram-se as medidas de área e extensão do Talvegue Principal dessas bacias que estão inseridas totalmente ou parcialmente no município.

Tabela 1 – Bacias Hidrográficas de Fortaleza

Bacia Hidrográfica	Área (Km²)	Extensão do Talvegue Principal (Km)
<i>Bacia da Vertente Marítima</i>	34,54	23
<i>Bacia do Rio Cocó</i>	209,63	97
<i>Bacia do Rio Maranguapinho</i>	86,84	100
<i>Bacia do Rio Pacoti</i>	5,02	3

Fonte: Secretaria Municipal de Urbanismo e Meio Ambiente (2015).

2.5 Solo

Na região ocorrem Areias Quartzosas Marinhas, ao longo da faixa litorânea, Planossolos Solódico, Podzólicos Vermelho-Amarelo e Solonchak (INSTITUTO DE PESQUISA E ESTRATÉGIA ECONÔMICA DO CEARÁ, 2018). Planossolos Solódico são relativamente rasos e de baixa permeabilidade, sofrendo encharcamento e fendilhamento nos períodos chuvosos e secos, respectivamente. Podzólicos Vermelho-Amarelo são profundos ou medianamente profundos, geralmente bem drenados, ácidos, porosos e de textura variando de média a argilosa (BRANDÃO, 1998). Por fim, os Solonchak ou Gelissolos Sálidos estão associados aos mangues e ao longo do curso dos rios, podendo sofrer gleização. Possuem altas concentrações de sais solúveis (AGÊNCIA EMBRAPA DE INFORMAÇÃO TECNOLÓGICA, 2018).

2.6 Vegetação

A vegetação predominante na cidade de Fortaleza insere-se no Complexo Vegetacional da Zona Litorânea e na Floresta Perenifólia Paludosa Marítima (INSTITUTO DE PESQUISA E ESTRATÉGIA ECONÔMICA DO CEARÁ, 2018). Segundo Matias e Nunes (2001 *apud* SEMACE, 2016) o Complexo Vegetacional é composto pela vegetação pioneira psamófila – Restinga – e pela Mata de Tabuleiro. A Restinga, por receber influência marinha e eólica, destaca-se com a presença de talos e folhas suculentas, grande desenvolvimento radicial, brotação por ramos e rizomas. Além disso, essa vegetação estabiliza o processo de deflação das

áreas de pós-praia e campos de dunas móveis e em processo de fixação, ocasionando uma fixação do substrato arenoso (SUPERINTENDÊNCIA ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE, 2016). A Mata de Tabuleiro ocorre geralmente no domínio da Formação Barreiras e pode se diferenciar em floresta de tabuleiro, dominante na fácies argilosa, e em uma associação de caatinga/cerrado em fácies arenosa (BRANDÃO, 1998). Por fim, a Floresta Perenifolia Paludosa Marítima, correspondente ao mangue, é típica de regiões estuarinas e apresenta influência fluviomarinha, normalmente em terrenos com declividade muito baixa (MATIAS; NUNES, 2001 *apud* SUPERINTENDÊNCIA ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE, 2016).

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 VANT - RPA

Nos últimos anos tem-se observado o uso crescente de aeronaves não tripuladas na aerofotogrametria pela sociedade científica e comercial em diversas aplicações. Porém, essa tecnologia e sua evolução adveio por necessidades militares e há quem defenda que surgiu antes mesmo dos aviões tripulados (WATTS, AMBROSIA E HINKLEY, 2012) como ocorreu em Veneza, em 1849, quando o exército austríaco atacou a cidade usando balões carregados de explosivos (PECHARROMÁN; VEIGA, 2017).

Inicialmente, essas aeronaves foram pensadas para mitigar riscos em atividades perigosas, sujas e monótonas, porém, com as melhorias alcançadas nas capacidades de reconhecimento e orientação durante a Guerra Fria, a sociedade científica viu o quanto essa tecnologia seria interessante em missões científicas com riscos similares (WATTS, AMBROSIA E HINKLEY, 2012). Mas foi apenas nos anos 2000 que o preço caiu e civis tiveram mais chance de utilizar a tecnologia (MOUTINHO, 2015).

Recentemente, as evoluções rápidas e radicais nessas aeronaves, trazendo processo de miniaturização associado ao desenvolvimento da alta performance de sensores que podem ser acoplados, ocasionam significativo impulso ao mercado e público civil por incorporar recursos avançados, confiáveis e, relativamente, baratos (CIFALDI, 2016).

As aeronaves não tripuladas são largamente conhecidas no Brasil como *Drones*, termo oriundo do inglês que significa zangão, pelo som produzido por muitos modelos que se assemelha ao zunido desse inseto, sendo um termo genérico, sem amparo técnico ou definição na legislação. Há ainda o termo VANT, nomenclatura oriunda do termo *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV), considerado obsoleto na comunidade aeronáutica internacional (BRASIL, 2016), porém bastante conhecido e utilizado nos diversos trabalhos que compõem a bibliografia desse trabalho e na sociedade científica.

Todavia, de acordo com as definições impostas pela Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC) através da norma aprovada em 02/05/2017 (Regulamento Brasileiro de Aviação Civil Especial – RBAC – E nº 94) e elaborada seguindo as definições de outras autoridades de aviação civil como *Federal Aviation Administration* (FAA), *Civil Aviation Safety Authority* (CASA) e *European Aviation Safety Agency* (EASA), reguladores dos Estados Unidos, Austrália e da União Europeia, respectivamente, as aeronaves não tripuladas são divididas em aeromodelos, usados para fins recreativos, e Aeronaves Remotamente Pilotadas (RPA – sigla

traduzida do inglês – *Remotely Piloted Aircraft*), utilizadas para operações comerciais, corporativas ou experimentais. Esta norma torna-se complementar aos normativos de outros órgãos públicos como o Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA) e da Agência Nacional de Telecomunicações (ANATEL).

Seguindo as observações acima, uma RPA pode ser considerada uma subcategoria do VANT, sendo definida como uma aeronave, independentemente de sua forma, peso e tamanho, remotamente pilotada através de interfaces como computador, controle remoto, simulador, dispositivo digital, entre outros. Outra subcategoria é a Aeronave Autônoma que, uma vez programada, não permite intervenção externa durante o voo. Esta última ainda é proibida no Brasil (SPADOTTO, 2016).

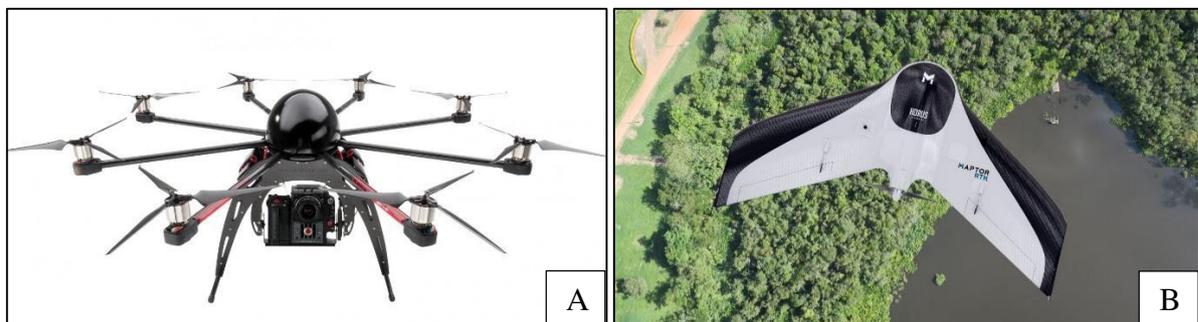
Em adição, o termo RPAS (*Remotely Piloted Aircraft Systems*) refere-se a um sistema de RPA englobando não só a aeronave, mas também todos os recursos do sistema que a faz voar como a estação de pilotagem remota, o link ou enlace de comando que possibilita o controle da aeronave, seus equipamentos de apoio, etc (PECHARROMÁN; VEIGA, 2017).

Diante de tantos termos, optou-se por utilizar, nesse trabalho, o termo VANT por ser mais conhecido pela sociedade civil.

3.1.1 Algumas especificações

Os dois principais modelos de VANT são os Multirotores e os Asas Fixas, ambos exemplificados na Figura 5.

Figura 5 – Exemplos de VANT Multirotor (A) e Asa Fixa (B)



Legenda: (A) Multirotor G4 Skycrane; (B) Asa Fixa Horus Maptor Agro.

Fonte: (A) em <https://www.multirotor.net> e (B) em <https://horsaeronaves.com>.

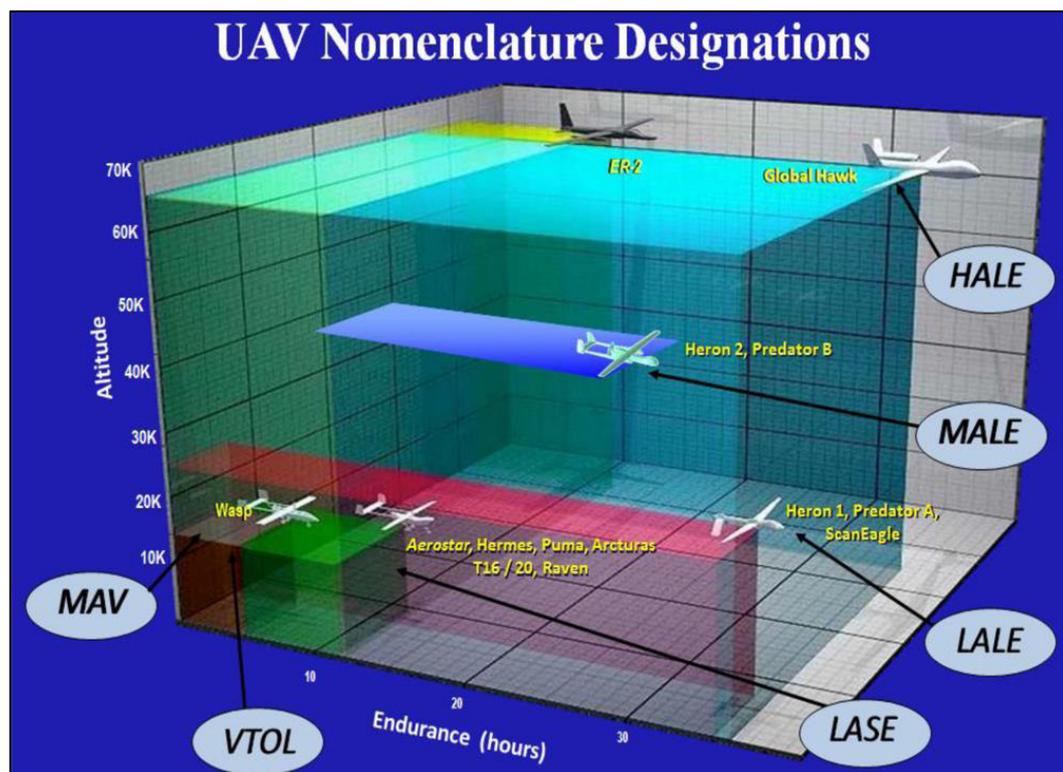
Moutinho (2015) explica que os multirotores são mais complexos por requerem um certo nível de processamento e sincronização para fornecer pequenos ajustes para cada motor a

dependem da situação em que a aeronave esteja submetida. Estes veículos possuem capacidade de flutuar e decolar/pousar verticalmente, sendo útil em locais apertados. Além disso, são interessantes na geração de produtos em 3D pelo seu movimento vertical. A principal desvantagem é o tempo de voo pelo maior consumo de energia.

Enquanto um Asa Fixa, que tem asas similares aos dos aviões, geralmente são maiores e tem maior duração de voo pelo aproveitamento do vento e por possuir apenas um motor. Este é mais interessante para cobrir áreas maiores como cidades ou campos de cultivo (MOUTINHO, 2015).

Outra classificação conhecida para essas aeronaves, de acordo com descrições militares, seguindo características de tamanho, habilidades e resistência e altura de voo, como explicam Watts, Ambrosia e Hinkley (2012), seria a inserida na Figura 6:

Figura 6 – Nomenclaturas para VANT seguindo descrições militares.



Fonte: Imagem cedida pelo Departamento de Segurança Interna dos EUA in Watts, Ambrosia e Hinkley (2012).

Resumidamente, explicando cada nomenclatura, segundo os mesmos autores:

- MAV ou *Micro Air Vehicles*: são pequenos, voam em baixas altitudes (<330 m) e têm tempos de voo curtos (5 a 30 minutos);

- b) VTOL ou *Vertical Take-off & Landing*: não necessitam de corrida de decolagem e pouso, operam em altitudes variáveis, mas predominantemente em baixas altitudes, e em voos flutuantes há limitação na duração do voo;
- c) LASE ou *Low Altitude, Short-Endurance*: também não necessitam de pista para decolagem. Os componentes da aeronave pesam de 2 a 5 Kg com envergaduras < 3m permitindo o lançamento por catapulta em miniatura ou manualmente;
- d) LASE *Close*: exigem pista, mas o tamanho e peso maiores conferem maior capacidade. Operam em até 1500 metros de altitude e permanecem no ar por várias horas;
- e) LALE ou *Low Altitude, Long Endurance*: podem transportar cargas úteis de vários Kg por longos períodos;
- f) MALE ou *Medium Altitude, Long Endurance*: são maiores que os de baixa altitude e operam em até 9000 m de altitude a centenas de km de suas estações terrestres, por horas;
- g) HALE ou *High Altitude, Long Endurance*: são os maiores e mais complexos entre as categorias. Voam em altitudes de 2000 m ou mais e algumas aeronaves superam 30 horas de voo.

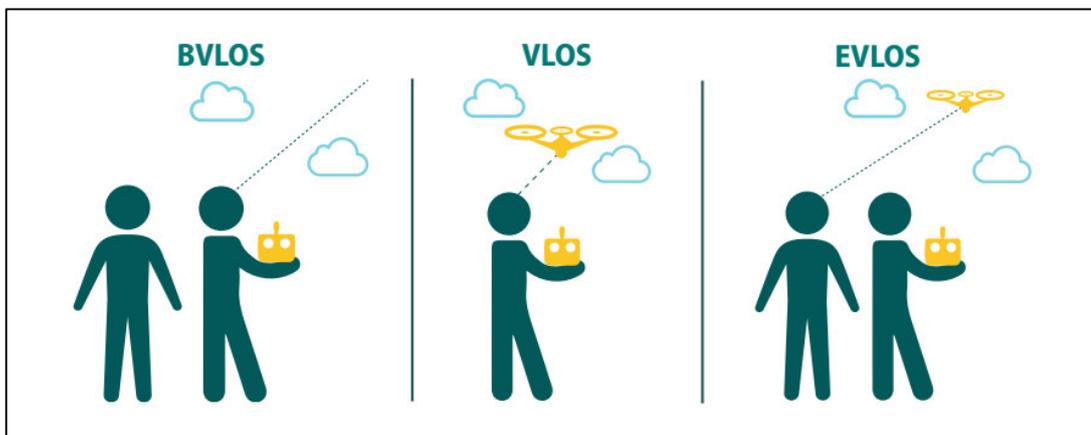
Segundo o DECEA (2018), atualmente, surgiram os HAPS ou High Altitude Pseudo Satellite, que alcançam voos acima de 60.000 ft, com enorme autonomia, podendo voar por mais de 80 horas, tendo o objetivo de funcionar como um repetidor na transmissão de dados.

No âmbito que inclui os sensores que podem ser acoplados às aeronaves, a contínua evolução da tecnologia é evidente e animadora. Segundo Moutinho (2015), as câmeras multiespectrais e termais já são comuns no mercado dos RPA e câmeras hiperespectrais estão iniciando no mesmo caminho. Os sensores ativos como os lasers, radares de abertura sintética (SAR) – estes requerem maior capacidade de carga por parte do RPA – e sonares também são possíveis.

Em outro contexto, os receptores GNSS (*Global Navigation Satellite System*) fornecem localização e navegação. Os mais usados são de uma única frequência, porém, recentemente, fabricantes de RPA introduziram soluções RTK (*Real Time Kinematic*) com receptores de dupla frequência o que permite um fluxo constante de informações de alta qualidade, facilitando levantamentos ao nível do solo com precisão de centímetros (MOUTINHO, 2015).

Se tratando do modo de operação de uma RPA, existem três maneiras (Figura 7). Na operação Além da Linha de Visada Visual (BVLOS ou *Beyond Line of Sight*), o piloto não consegue manter a RPA dentro de seu alcance visual, mesmo com a ajuda de um observador. Enquanto na operação em Linha de Visada Visual (VLOS ou *Visual Line of Sight*), o mesmo consegue manter contato visual direto com o equipamento, sem auxílio. Por último, na operação em Linha de Visada Visual Estendida (EVLOS ou *Extended Visual Line of Sight*), o piloto só consegue manter contato visual com a RPA com auxílio de lentes ou outros equipamentos e do observador (AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL, 2017).

Figura 7 – Modos de operação de uma RPA.



Fonte: Agência Nacional de Aviação Civil (2017).

Quanto ao alcance das comunicações para operação da aeronave, existem duas classificações: Linha de Visada Rádio (RLOS ou *Radio Line-of-Sight*), caracterizada pela ligação direta – ponto a ponto – entre a Estação de Pilotagem Remota e a RPA, e Além da Linha de Visada Rádio (BRLOS ou *Beyond Radio Line-of-Sight*), aplicável onde o enlace de pilotagem não seja direto entre a Estação de Pilotagem Remota e a RPA, necessitando de um enlace eletrônico indireto por meio de outros equipamentos (MUNARETTO, 2017).

3.1.2 Regulamentação no Brasil

Atualmente, o Governo atua nesse segmento através de agências nacionais e pelo DECEA. Estando cada um encarregado de diferentes funções (PECHARROMÁN; VEIGA, 2017):

A Agência Nacional de Telecomunicações (ANATEL) é responsável pelas certificações dos equipamentos de enlace rádio e pela alocação de espectro. Os módulos transmissores de radiofrequências nos controles remotos e, em alguns casos, no próprio veículo aéreo, para a transmissão de imagens requerem certificação emitida pela Anatel.

A Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC) regula apenas a operação de equipamentos civis, os militares estão fora de seu escopo. Todo VANT deve ser registrado na ANAC, sendo que a operação normal de equipamentos totalmente autônomos não é permitida pela legislação brasileira e internacional.

O DECEA, órgão do Comando da Aeronáutica, é responsável pelo controle do espaço aéreo e autorizações de voos.

Com isso, a ANATEL disponibiliza, em seu site, o Manual de Orientações – Homologação de Drones que mostra os procedimentos necessários para tal, por Declaração de Conformidade, e o uso do Sistema de Certificação e Homologação (SCH), aplicando-se aos produtos de uso pessoal, sem direito à comercialização, e que não possuem homologação da Anatel.

Referente a ANAC, foi aprovado o RBAC – E nº94, já mencionado no trabalho, que traz uma série de informações importantes sobre RPA (classificação, idade mínima para pilotagem, cadastro, documentos obrigatórios durante as operações, entre outras). A regra geral exposta é que aeronaves com mais de 250g só poderão voar em áreas distantes de terceiros, no mínimo 30m horizontais, com exceção do caso em que houver uma barreira entre o equipamento e as pessoas. Além disso, o piloto deve seguir as regras de utilização do espaço aéreo do DECEA. Interessante destacar que as operações de RPAs por órgãos públicos de segurança, saúde e fiscalização são permitidas pela ANAC sem observar os critérios de distanciamento, devendo ocorrer sob total responsabilidade do órgão operador e com posse de avaliação de risco operacional.

Esse documento classifica essas aeronaves em três classes de acordo com o peso máximo de decolagem do equipamento e coloca exigências de aeronavegabilidade diferentes para cada uma, como mostrado na tabela abaixo:

Tabela 2 – Classificação de RPA de acordo com a ANAC.

Classe	Peso Máximo de Decolagem	Exigência de Aeronavegabilidade
<i>Classe 1</i>	Acima de 150Kg	Processo de certificação similar ao existente para as aeronaves tripuladas, com ajustes dos requisitos de acordo com a situação, e sujeito ao Registro Aeronáutico Brasileiro e identificação com as marcas de nacionalidade e matrícula.

Classe 2	Acima de 25Kg e abaixo ou igual a 150Kg	O regulamento estabelece os requisitos técnicos que devem ser observados pelos fabricantes e determina que a aprovação de projetos ocorrerá apenas uma vez. Sujeito ao Registro Aeronáutico Brasileiro e identificação com as marcas de nacionalidade e matrícula.
Classe 3	Abaixo ou igual a 25 Kg	RPAs que operam BVLOS ou acima de 120m devem ser de um projeto autorizado pela ANAC e registradas e identificadas com suas marcas de nacionalidade e matrícula. As que operam em até 120m em operação VLOS não precisam ser de projeto autorizado, mas devem ser cadastradas na ANAC (sistema SISANT) com informações sobre o operador e equipamento. Já as RPAs com até 250g não precisam de cadastro ou registro, independentemente de sua finalidade.

Fonte: Adaptado de Agência Nacional de Aviação Civil (2017).

O cadastro das aeronaves com peso máximo de decolagem superior a 250g é obrigatório e pode ser feito pelo Sistema de Aeronaves Não Tripuladas (SISANT) da ANAC. Nesse processo é gerado um número de identificação que deve estar acessível na aeronave, de preferência. Sobre licença e habilitação para operação, são obrigatórias para pilotos de RPA das classes 1 ou 2 e de Classe 3, se houver pretensão de voar acima de 120m. Há ainda o Certificado Médico Aeronáutico (CMA) emitido pela ANAC e o CMA de terceira classe do DECEA, onde os pilotos remotos de RPAs das classes 1 e 2 devem possuir um dos dois. Os pilotos remotos e os observadores auxiliares devem ter no mínimo 18 anos.

Por sua vez, o DECEA traz a Instrução do Comando da Aeronáutica (ICA) 100-40 que trata dos RPAS e o Acesso ao Espaço Aéreo Brasileiro que está sujeito também à autorização dos Órgãos Regionais do DECEA. Se o RPAS for utilizado para operações de aerolevanteamento, há a necessidade de emissão de autorização de sobrevoo (AVOMD) pelo Ministério da Defesa, segundo a Portaria Normativa nº 953/MD.

O cadastro é feito no Sistema de Acesso ao Espaço Aéreo Brasileiro (SARPAS) pela internet, na página do DECEA, anexando a documentação emitida pela ANATEL e ANAC. Os prazos para obtenção da autorização de voo podem variar de 45 minutos a 18 dias de acordo com as características da operação pretendida (DEPARTAMENTO DE CONTROLE DO ESPAÇO AÉREO, 2018).

O Circular de Informações Aeronáuticas (AIC) N 17/18 do DECEA regulamenta os procedimentos e responsabilidades necessários para o acesso ao Espaço Aéreo Brasileiro por aeromodelos, ou seja, de uso recreativo. O AIC-N 23/18 regulamenta as RPA com uso exclusivo voltado às operações dos Órgãos ligados aos Governos Federal, Estadual e Municipal. E o AIC-N 24/18 condiz com as RPA de uso exclusivo dos Órgãos de Segurança

Pública (OSP), da Defesa Civil (DC) e de Fiscalização da Receita Federal do Brasil (RFB). Todos eles em vigor desde 02 de janeiro de 2018.

3.1.3 *Vantagens e Aplicações*

Segundo o Pecharromás e Veiga (2017), por consequência dos avanços em termos de capacidades tecnológicas dos RPAS, regulamentação e apoio de investimento, as aplicações e áreas de uso só tendem a aumentar. As aeronaves estão se tornando mais capazes de transportar cargas úteis (*payloads*) mais pesadas e de voar distâncias mais longas ao passo que os *payloads* também diminuem e tornam-se mais leves permitindo uma combinação de avanços complementares que abrirão inúmeras oportunidades nos próximos anos.

Além disso, as vantagens são interessantes, como algumas listadas abaixo (PECHARROMÁN; VEIGA, 2017):

- a) Rapidez na aquisição de dados;
- b) Fornecimento de dados em tempo real;
- c) Baixo custo (a depender dos sensores utilizados e modelo);
- d) Sobrevoa variados tipos de terrenos;
- e) Útil em lugares remotos e de difícil acesso;
- f) Redução da exposição humana a riscos;
- g) Benefícios ambientais (redução do consumo de combustível, menos emissões de CO₂);
- h) Vídeos e imagens de alta resolução a dados para modelagem em 3D e criação de MDT e MDS;
- i) Uso de diferentes sensores (hiperspectrais, multiespectrais ou térmicos) ou outros recursos especiais a depender da finalidade;
- j) Menor interferência atmosférica comparado com a sofrida pelo sensoriamento remoto de alta altitude ou orbital.

Por todos esses fatores, os VANTS têm sido aplicados nas mais diversas áreas (Figura 8). Na Geologia, auxilia em mapeamentos, cartografia e monitoramentos, principalmente em levantamentos locais de precisão, pela geração de produtos de sensoriamento remoto de grande acurácia, alta resolução espacial e temporal (SILVA, 2015). Importante se atentar à precisão, aplicação e objetivos do projeto para a escolha dos equipamentos a serem utilizados e planejamento da missão, incluindo a definição do tamanho do GSD (*Ground Sample Distance*), ou seja, o tamanho que uma célula de pixel representa no

terreno, altura do voo, escolha da câmera e sensores, se serão necessários pontos de controle e ainda sobre os parâmetros de processamento e procedimentos nos softwares que transformam as fotografias digitais nos mais diversos produtos, como MDE e Ortomosaicos (LONGHITANO, 2017).

Figura 8 – Algumas aplicações dos RPAS.



Fonte: Elaborado pelas Autoras.

3.2 Geoprocessamento

Técnicas de Geoprocessamento foram empregadas para analisar as variáveis geomorfométricas do Aterro de Resíduos Sólidos do Jangurussu a partir de um MDE, produzido a partir das imagens aéreas obtidas pelo uso de um VANT.

O Geoprocessamento utiliza os conceitos de diversas ciências (Geodésia, Cartografia, Matemática, Estatística, Informática, etc.) para gerar e disponibilizar informações essenciais no processo decisório, tanto no nível de planejamento, como de execução de ações de gestão ambiental (BURROUGH, 1991 *apud* BATISTA, 2014).

De acordo com Amaro *et al.* (2012), Geoprocessamento é o conjunto de tecnologias relacionadas a toda informação com algum vínculo geográfico que permite a sua localização, conceito que abrange a aquisição, processamento, análise e interpretação de dados ou informações espacialmente referenciadas, onde se incluem: Sensoriamento Remoto, Geodésia, Sistema de Informação Geográfica (SIG), Topografia, Cartografia Digital, entre outros.

Segundo Souto (2009), as técnicas de Geoprocessamento são uma importante ferramenta aplicada ao monitoramento, planejamento e na tomada de decisões voltadas às atividades antrópicas e ambientais, a partir de dados georreferenciados. Esse conjunto de tecnologias baseia-se na coleta, tratamento, manipulação e apresentação de informações espaciais voltado para um objetivo específico (RODRIGUES, 1990).

3.3 Sensoriamento Remoto

Sensoriamento Remoto é uma das tecnologias do Geoprocessamento que permite a obtenção de imagens, entre outros tipos de dados, da superfície terrestre. Nesta técnica a informação é obtida à distância sobre um objeto/superfície, sem contato físico direto com o mesmo, baseando-se na análise do comportamento da refletância espectral dos materiais (JENSEN, 2011).

Os dados de sensoriamento remoto podem ser grandes aliados no estudo, monitoramento e prevenção de desastres naturais, porém, segundo Sausen e Lacruz (2015), nem 10% do seu potencial é utilizado pelos profissionais e pesquisadores, ressaltando ainda que, inicialmente, esses dados foram quase exclusivamente usados na fase de resposta ao desastre, mas com o aumento da preocupação da gestão do desastre, eles estão sendo empregados em todas as fases.

Hong, Adler e Huffman (2007) aplicaram os dados de sensoriamento remoto na elaboração de mapas de suscetibilidade global a deslizamentos no qual derivaram quatro fatores que, segundo eles, são relevantes e controladores de deslizamentos com base em dados de sensoriamento remoto: declividade, elevação, cobertura do terreno e densidade de drenagem.

3.4 Modelagem Numérica do Terreno (MNT)

Para representar os dados obtidos a partir do voo com o VANT, escolheu-se a Modelagem Numérica do Terreno (MNT), que, segundo Felgueiras e Câmara (2001), é uma representação matemática computacional da distribuição de um fenômeno espacial que ocorre

dentro de uma região da superfície terrestre, como dados de relevo, informações geológicas, levantamentos de profundidades do mar ou de um rio, informações meteorológicas, dados geofísicos e geoquímicos.

É importante citar que existe uma série de diferenças nas divisões de um modelo digital, como os termos utilizados por Andrade (1998) e Wolf e Dewitt (2004), onde o termo Modelo Digital do Terreno (MDT) é utilizado para descrever apenas a elevação da superfície do terreno e o termo Modelo Digital de Elevação (MDE) significando um modelo mais completo, incluindo outras feições, tais como: casas, prédios, vegetação, árvores.

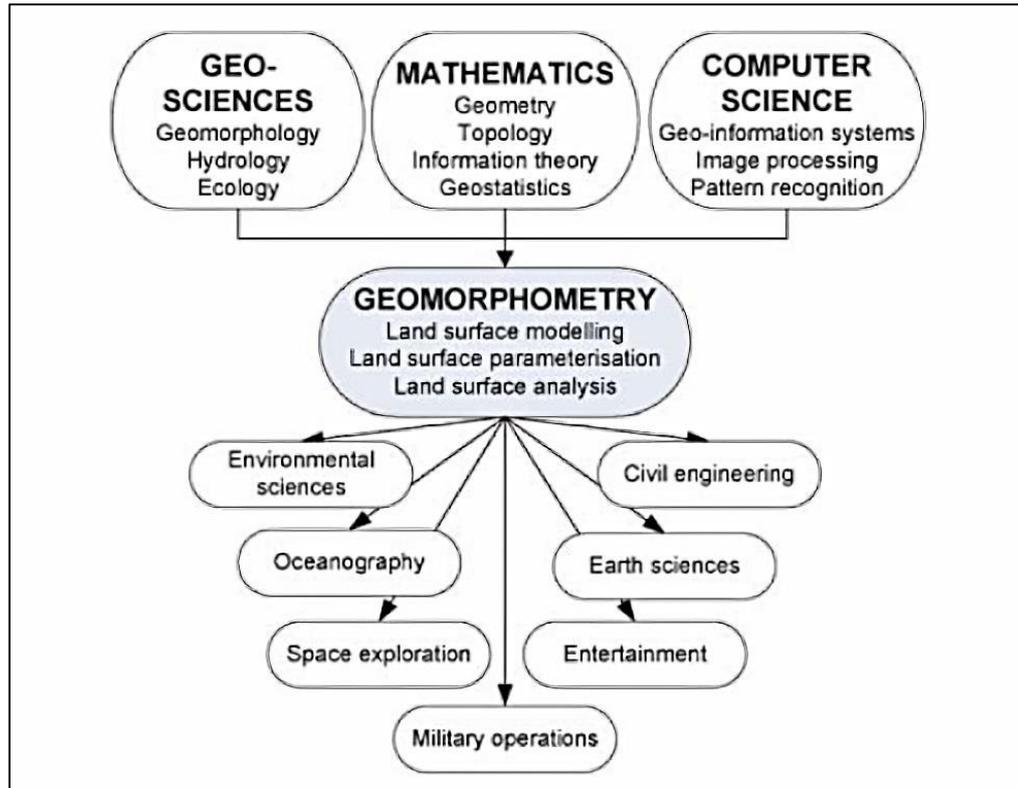
Para criação de um MDE existem vários métodos que combinam diferentes malhas ou modelos de grade e diferentes interpoladores. Os tipos de grade utilizados são de Bases Regulares Retangulares (GRID) ou Redes Irregulares Triangulares (TIN), além da utilização de diferentes algoritmos de interpolação para a construção do modelo (SOUZA, *et al.*, 2008). Os arquivos devem conter registros altimétricos estruturados em linhas e colunas georreferenciadas, como uma imagem com um valor de elevação em cada pixel. Os registros altimétricos devem ser valores de altitude do relevo, para que o MDE seja uma representação da topografia (VALERIANO, 2008). Assim, o processo para modelar o terreno é baseado em termos matemáticos, a partir da modelagem da superfície através de uma função que forneça a elevação de cada ponto do terreno (FELGUEIRAS E CÂMARA, 2001).

Uma das aplicações mais utilizadas com o MDE, e o foco desse trabalho, é extrair as variáveis geomorfométricas, principalmente para declividade, orientação de vertentes, curvaturas vertical e horizontal para posterior geração de Cartas de Avaliação de Risco.

3.5 Geomorfometria

Trata-se de uma área interdisciplinar – para modelagem, parametrização e análise do terreno – que tem evoluído através da matemática, geociências e, mais recentemente, da computação (HENGL; REUTER, 2008), como mostrado na Figura 9.

Figura 9 – Geomorfometria e sua relação com as disciplinas de origem e aplicações.

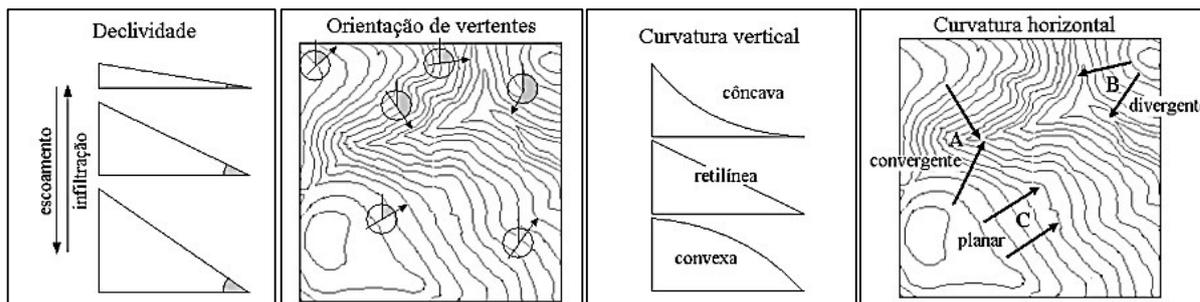


Fonte: Hengl e Reuter (2008).

Segundo Wilson (2012), a Geomorfometria Moderna extrai parâmetros de medida e feições espaciais da topografia digital, ou seja, analisa a superfície topográfica de forma quantitativa (VASCONCELOS *et al.*, 2012). A descrição numérica da superfície, amplamente utilizada na Geomorfologia Moderna, torna-se uma fonte de informação cada vez mais confiável para a estimativa de diversos fenômenos, como erosão e fluxo de água, e suas variáveis morfométricas têm grande relevância para o estudo das formas e evolução do relevo (VASCONCELOS *et al.*, 2012; CARMO, 2014).

A integração dos dados desses parâmetros geomorfométricos, para fins de análise morfológica pode ser realizada em ambiente SIG (CARMO, 2014). No presente trabalho, as variáveis geomorfométricas escolhidas para a geração dos produtos de análise morfológica do terreno foram: declividade, orientação de vertentes, curvatura vertical e curvatura horizontal (Figura 10).

Figura 10 – Variáveis geomorfométricas derivadas da altimetria.



Fonte: Valeriano, 2008.

3.5.1 Declividade

Essa variável é definida como o ângulo de inclinação da superfície do terreno em relação à superfície horizontal e pode ser expressa em ângulos, de 0° a 90° , ou em porcentagem, de zero a infinito, sendo essa última mais frequente. De acordo com as metodologias usadas para o seu cálculo, a declividade é a primeira derivada da elevação em relação a distância horizontal e esse resultado depende do intervalo de derivação ou a distância entre os pontos altimétricos (VALERIANO, 2008).

A declividade torna-se básica nos procedimentos de análise geomorfológica e planejamento territorial. Quando associada a outros fatores, como o clima e orientação de vertentes, auxilia na previsão de riscos pela sua relação estreita com processos de transporte gravitacional, como escoamento, deslizamento e movimentos de massa, permitindo entender a dinâmica dos materiais que transitam na vertente. (VALERIANO, 2008; CARMO 2014).

Além disso, a declividade é um fator importante para definir o maior ou menor escoamento e infiltração no terreno (CARMO, 2014). Com isso, há uma proporção direta entre a declividade e o escoamento e uma proporção inversa entre a mesma variável e a infiltração, como mostrado na Figura 10.

3.5.2 Orientação de Vertentes

Também chamada de exposição ou direção, a orientação de vertentes é o ângulo azimutal correspondente a maior inclinação do terreno, no sentido descendente, e pode ser expressa em graus, de 0° a 360° (VALERIANO, 2008). Essa variável é importante para entender a direção das linhas de fluxo de água e sedimentos e, depois de definida, para contribuir na previsão da direção de deslocamento de movimentos gravitacionais (Figura 10). Diferentes

orientações de vertentes em regiões com umidade variável, favorecem a diferenciação dos processos que modelam o relevo em uma mesma formação geomorfológica (CARMO, 2014).

Há uma relação funcional entre essa variável e a declividade quando observamos a ação do relevo em projeção horizontal. Ou seja, em termos de deslocamentos oriundos de transporte gravitacional, a orientação de vertentes é a direção do vetor e a declividade seu módulo. Com isso, é necessário um cuidado com a determinação dessa variável em terrenos planos por ser difícil ou dispensável, pois, nesse caso, o módulo da declividade é nulo ou quase nulo (VALERIANO, 2008).

3.5.3 Curvatura Vertical

Entra no grupo de variáveis morfométricas definidas como segunda derivada da altitude. Ela expressa o formato da vertente quando observada em perfil, referindo-se ao caráter convexo/côncavo do terreno (Figura 10), e descreve a variação da declividade ao longo de uma determinada distância, podendo ser expressa em graus por metro (VALERIANO, 2008). Os tipos de curvatura vertical no terreno associados à declividade, clima e substrato rochoso podem ajudar a inferir o tipo de solo a ser formado na encosta, sua movimentação e prováveis pontos de acumulação (CARMO, 2014). Além disso, influencia na distribuição local do regime hídrico e, conseqüentemente, o regime térmico (VALERIANO, 2008).

Teoricamente, as curvaturas podem apresentar valores positivos correspondentes a terrenos convexos, negativos para terrenos côncavos (ou vice-versa) e nulos para terrenos retilíneos, sendo esse último caso mais raro, pois geralmente admite-se uma margem de valores em torno de zero para que as vertentes retilíneas possam ser evidenciadas (VALERIANO, 2008).

3.5.4 Curvatura Horizontal

Essa variável apresenta o formato da vertente em projeção horizontal, se traduzindo no caráter de divergência ou convergência das linhas de fluxo (Figura 10). Ela é definida como uma derivada de segunda ordem das curvas de nível e pode ser descrita como a variação de orientação de vertentes ao longo de uma determinada distância, sendo expressa em graus por metro, geralmente. A curvatura horizontal está associada à intensidade dos processos de migração e acúmulo de água, minerais e matéria orgânica no solo através da superfície pela gravidade (VALERIANO, 2008).

Segundo Carmo (2014), o caráter divergente da curvatura mostra o alargamento das linhas de fluxo, podendo indicar topografia mais suave ou vales abertos, enquanto o aspecto convergente sugere um estreitamento das linhas fluxo formando vales mais fechados.

3.6 Geomorfometria aplicada a Análise de Risco

A Geomorfometria, obtida a partir dos métodos indiretos de sensoriamento remoto, é um recurso indispensável quando se deseja trabalhar com mapeamento geológico-geotécnico. Segundo Sausen e Lacruz (2015) o potencial que os produtos de sensores remotos têm no processo de investigação dos escorregamentos pode ser dividido em três fases: detecção e classificação dos escorregamentos; monitoramento de áreas sujeitas a escorregamentos; e análise espacial e temporal de áreas de risco de escorregamentos. No último são geradas informações fundamentais para a prevenção de escorregamentos, é possível ainda avaliar as consequências diretas dos movimentos de massa por meio da identificação e da mensuração da área de abrangência.

Os mapas de suscetibilidade podem ser elaborados de formas qualitativas e quantitativas, utilizando modelos que empregam conceitos de probabilidade, onde, para cada entrada de dados, existiram várias saídas, ou modelos determinísticos, em que o comportamento dos processos é controlado por leis naturais. As relações entre as variáveis desses modelos podem ainda ser empíricos ou baseados em processos físicos.

O modelo utilizado no presente relatório será o método empírico onde os relacionamentos espaciais entre as variáveis de estudo são estimados por critérios estatísticos, isto é, com base em amostras de uma região experimental ou em um conjunto de classes, com os limites das classes sendo definidos por especialistas (CÂMARA *et al.*, 2001).

Ainda de acordo com Câmara *et al.* (2001), os modelos empíricos se dividem em: modelos baseados em conhecimento, que são realizados com base no conhecimento dos especialistas, e modelos baseados em dados, onde são processados com base em um conjunto de dados observados. Entre os modelos baseados em conhecimento, o adotado para o presente trabalho será o de operadores ponderados, que segundo Eastman *et al.* (1995), é a técnica mais utilizada em projetos que envolvam análise espacial. Neste método cada mapa de entrada será utilizado como uma evidência, que receberá um peso diferente dependendo da importância da hipótese sobre consideração. Neste caso cada plano de informação receberá pesos diferentes, bem como as respectivas classes dos planos de informação. O resultado será uma Carta de Avaliação do Risco Morfológico à Erosão (CARMOE), baseado em Carmo (2014), com áreas

que expressam um grau de importância relativa através dos valores numéricos de saída.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia do trabalho envolveu três etapas: pré-voo, execução do voo e processamento dos dados em laboratório. A seguir, serão explanadas cada etapa e os materiais utilizados.

4.1 Pré-Voo

Baseado em Silva (2015), o planejamento do voo incluiu a definição do alvo a ser sobrevoado, observação das condições necessárias para a execução do voo e autorização dos órgãos competentes.

Inicialmente fez-se um levantamento quanto a segurança para a equipe envolvida através de informações levantadas pela internet e com os próprios trabalhadores do local. Assim, foi decidido que o voo teria de ser dentro da área da direção do aterro, pela violência no bairro em questão, sendo inviável a medição de pontos de apoio com um GPS geodésico. Em adição, houve o monitoramento dos fatores meteorológicos, principalmente as taxas de precipitação e velocidades do vento, para escolha do dia do voo. A autorização do voo foi requisitada à direção do aterro por meio de declaração da universidade explicando a natureza e finalidade do trabalho.

Mesmo com o monitoramento meteorológico, o voo teve de ser feito manualmente em razão da velocidade maior do vento. Assim, o voo não teve uma rota pré-definida, o que é dado geralmente por um aplicativo móvel.

4.2 Execução do Voo

O voo foi realizado com o VANT Phantom 4 da marca Dji (Figura 11) com as principais especificações expressas na Tabela 3.

Figura 11 – VANT Phantom 4 da marca Dji.



Tabela 3 – Principais especificações do VANT Phantom 4.

Aeronave	Peso Total (com bateria)	1380 g
	Velocidade máx. de subida	6 m/s (modo esporte)
	Velocidade máx. de descida	4 m/s (modo esporte)
	Velocidade máx.	20 m/s (modo esporte)
	Tempo de voo máx.	28 minutos
	Sistemas de Posicionamento por Satélite	GPS/GLONASS
	Faixa de precisão	Vertical: ±0.1 m (com posicionamento de visão) ±0.5 m (com posicionamento GPS) Horizontal: ±0.3 m (com posicionamento de visão) ±1.5 m (com posicionamento GPS)
Bateria	Capacidade	5350 mAh
	Voltagem	15.2 V
	Tipo de bateria	LiPo 4S
	Energia	81.3 Wh
Controle Remoto	Frequência de operação	2.400 - 2.483 GHz
	Distância máx. de frequência	FCC Compliant: 3.1 mi (5 km) CE Compliant: 2.2 mi (3.5 km) (desobstruída, livre de interferência)
	Bateria	6000 mAh LiPo 2S
Câmera	Sensor	1/2.3" CMOS Pixels efetivos: 12.4 M
	Lente	20 mm com f/2.8 e campo de visão de 94°
	ISO	100-3200 (vídeo) 100-1600 (foto)
	Velocidade do Obturador eletrônico	8 - 1/8000 s
	Tamanho da imagem	4000×3000

Fonte: Adaptado de Dji (2018).

O voo foi executado a uma altura de 210 metros, por questão de segurança, permitindo cobrir uma área de 0,757 Km² com uma resolução espacial de 7,93 cm/pix. Foram obtidas 661 imagens.

4.3 Processamento dos Dados

4.3.1 PhotoScan – Pré processamento e geração do MDE

Esse estágio da pesquisa contou com o *software* Agisof PhotoScan para geração de dados 3D a partir do processamento fotogramétrico das imagens geradas pelo VANT.

Inicialmente, fez-se uma avaliação dos dados coletados observando a qualidade das imagens, se toda a trilha do voo foi gravada e se houve perda no recobrimento lateral das fotografias. Através da ferramenta *Fluxo de Trabalho*, pôde-se seguir etapas básicas, sendo elas:

- a) Calibração e otimização da câmera;
- b) Alinhamento das fotografias;
- c) Geração da nuvem de pontos (x, y, z) pelas medições de similaridade entre as imagens sobrepostas;
- d) Densificação e classificação da nuvem de pontos;
- e) Geração do MDE;
- f) Geração do ortomosaico;
- g) Análise da qualidade dos produtos gerados;
- h) E exportação dos produtos.

4.3.2 Derivação Geomorfométrica

A modelagem dos mapas temáticos foi realizada utilizando ferramentas do *software* ArcGis® 10.3.1 utilizando a ferramenta *spatial analysis* para a produzir os seguintes dados cartográficos:

4.3.2.1 Declividade

Foi confeccionada a partir do MDE utilizando a ferramenta *slope* do *spatial analysis*.

No dado de entrada para o tipo de cálculo da declividade, foi escolhido a opção *Percent Rise* (porcentagem), onde o resultado final será calculado em porcentagem, nesse caso, o arquivo matricial de entrada deverá estar obrigatoriamente num sistema de coordenadas planas, caso contrário não será possível gerar a imagem.

Os valores de elevação foram convertidos para a mesma unidade do sistema de coordenadas horizontais do projeto, para isso foi aplicado o Fator Z de 0,000009 (conversão de graus para metros).

Nesse caso, o cálculo da declividade foi obtido pela Fórmula 1.

$$D = \left(\frac{dv}{dh}\right) \times 100 \quad (1)$$

Onde: dv é a distância vertical e dh é a distância horizontal.

Os valores de declividade da imagem são contínuos, portanto, visualizados em tons de cinza. Foi escolhido uma classificação da declividade, em rampa de cores, de acordo com para uma melhor visualização das classes de declividade.

4.3.2.2 Orientação de vertentes

Para o cálculo da orientação das vertentes foi utilizado a ferramenta *aspect*, também a partir do MDE.

A ferramenta *aspect* utiliza um algoritmo que agrupa os valores das oito células vizinhas, onde para cada célula no centro da janela é calculada um valor considerando os valores adjacentes. Os valores de cada célula no *raster* de saída indicam a direção da bússola que a superfície aponta. Ele é medido no sentido horário em graus de 0° (ao norte) para 360° (novamente para o norte), chegando a um círculo completo. Áreas planas sem direção de declividade recebem um valor de -1.

Conceitualmente, a ferramenta *aspect* ajusta um plano aos valores z de uma vizinhança de 3 x 3 células ao redor da célula central. A direção que o plano aponta é orientação da vertente da célula de processamento.

A orientação das vertentes foi calculada usando a Fórmula 2.

$$OV = 57,29578 \times \tan^{-1}\left(\frac{dz}{dy} - \frac{dz}{dx}\right) \quad (2)$$

Onde: OV é a orientação da vertente;

(dz/dx) é a taxa de mudança na direção x para a célula e ;

(dz/dy) é a taxa de mudança na direção y para a célula e .

4.3.2.3 Curvaturas vertical e horizontal

A ferramenta *curvature* calcula a curvatura de uma superfície *raster* e opcionalmente pode criar os arquivos de curvatura em perfil e curvatura plana.

Para cada célula, um polinômio de quarta ordem (Fórmula 3) é ajustado a uma superfície composta de uma janela 3x3. Os coeficientes a, b, c e assim por diante são calculados a partir dessa superfície. Nesse caso, também foi aplicado o Fator Z de 0,000009 (conversão de graus para metros).

$$Z = Ax^2y^2 + Bx^2y + Cxy^2 + Dx^2 + Ey^2 + Fxy + Gx + Hy + I \quad (3)$$

O dado de saída é a curvatura da superfície em uma base célula por célula, ajustada através dessa célula e seus oito vizinhos. A curvatura é a segunda derivada da superfície, ou a inclinação da inclinação. Os dois arquivos criados de forma opcional são:

Na curvatura vertical, um valor negativo indica que a superfície é convexa e um valor positivo que a superfície é côncava nessa célula, o valor zero sugere que a superfície é retilínea;

Na curvatura horizontal, um valor positivo indica um padrão divergente das linhas de fluxos e um padrão negativo aponta um padrão convergente, um valor de 0 mostra que a superfície é planar.

4.3.3 Reclassificação

Antes de confeccionar a CARMOE (CARMO, 2014), as variáveis geomorfométricas tiveram que ser reclassificadas para que fossem definidas notas que se relacionam com a probabilidade de promover erosão no terreno.

Essa reclassificação foi feita pela ferramenta *Reclassify* do *software* ArcGis® 10.3.1, onde os valores da célula de entrada são reclassificados ou alterados para os valores desejados de saída. É possível reclassificar um valor de cada vez ou grupos de valores de uma só; baseado em um critério, como intervalos específicos ou por área.

4.3.4 Álgebra de Mapas

Foi realizada na ferramenta *Raster Calculator* do *Spatial Analyst*. Essa ferramenta cria e executa uma expressão de álgebra de mapas usando uma sintaxe do Python em uma interface semelhante a uma calculadora.

A Álgebra de Mapas usada na *Raster Calculator* possui uma sintaxe ou um conjunto de regras que devem ser seguidas para criar uma expressão válida. Se essas regras não forem

seguidas, a expressão poderá ser inválida e não será executada, ou você poderá obter resultados que não esperava.

Os dados de entrada (variáveis) são calculados em uma equação, onde os pesos variam para cada variável de acordo com o grau de importância e com a correlação com o fenômeno que está sendo estudado, de forma que o total dos pesos some 100%. O dado de saída é então gerado em formato *raster*.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Através do processamento das imagens obtidas com o VANT, pôde-se gerar um ortomosaico tornando possível observar detalhadamente as feições da superfície em decorrência da alta resolução espacial de 7,93 cm (Figura 12).

Figura 12 – Ortomosaico com zonas de detalhe da superfície.



Fonte: Elaborado pelas Autoras.

Em seguida, com a geração do MDE, pôde-se extrair variáveis geomorfométricas que são analisadas nos tópicos a seguir.

5.1 Declividade

Nesse estudo adotou-se a classificação do relevo segundo o nível de declividade da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) exposta na Tabela 4.

Tabela 4 – Classes de Declividade.

Classe de Relevo	Declividade (%)
<i>Plano</i>	0 – 3%
<i>Suave Ondulado</i>	3 – 8%
<i>Ondulado</i>	8 – 20%
<i>Forte Ondulado</i>	20 – 45%
<i>Montanhoso</i>	45 – 75%
<i>Escarpado</i>	> 75%

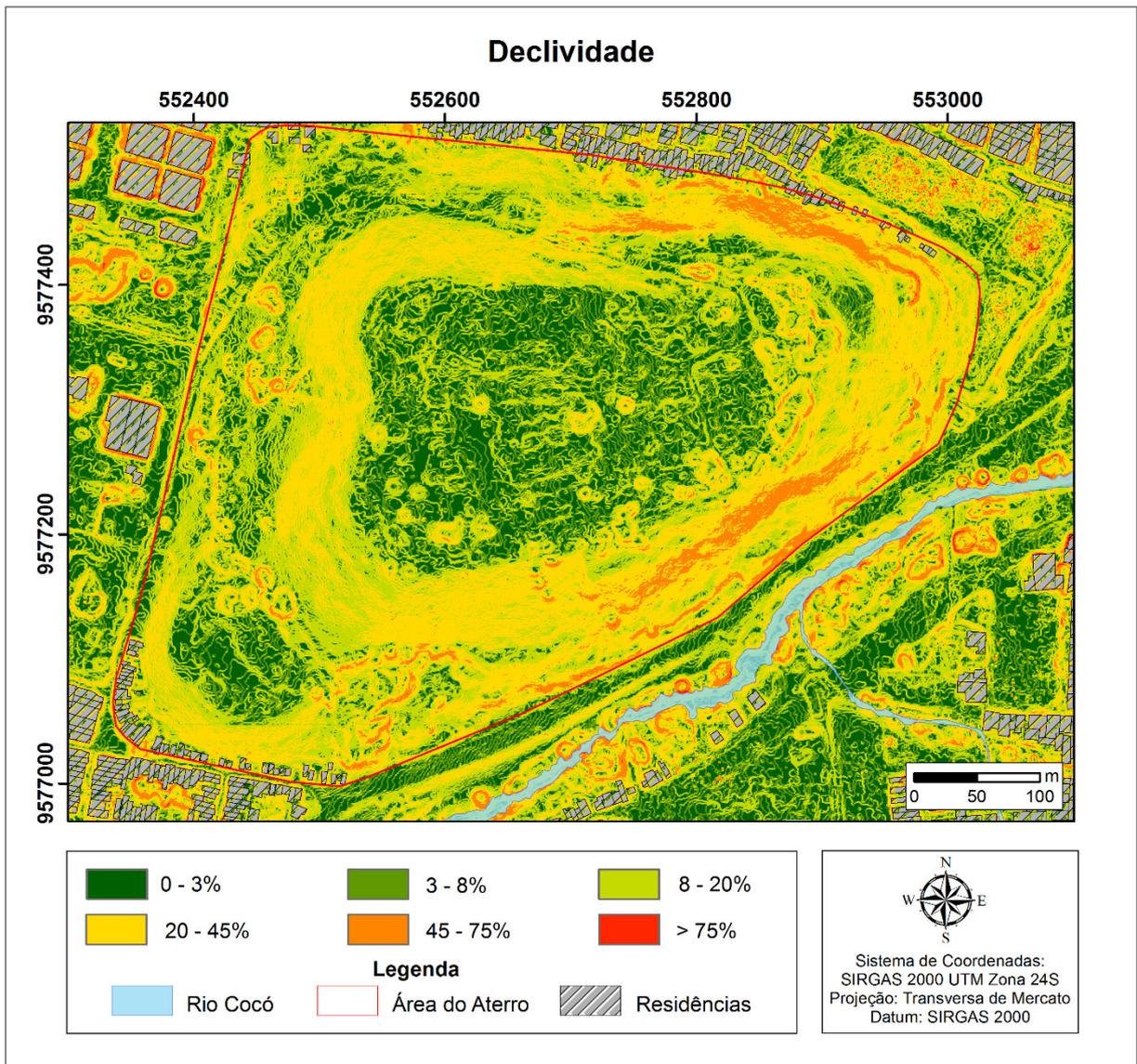
Fonte: EMBRAPA (1979).

A declividade da área, observada na Figura 13, expõe claramente o topo aplainado do aterro ao contrário do caráter mais íngreme dos taludes. O topo apresenta valores de declividade predominantemente nas classes de relevo plano e suave ondulado, onde pode haver uma maior infiltração da água, existindo alguns pontos pequenos na classe montanhoso relacionados provavelmente à copa de uma vegetação mais sobressaída.

Os taludes em geral têm declividade maior que 20% (>16°) variando de forte ondulado a montanhoso, onde os maiores declives, maior que 45% ou 35°, são observados nas vertentes NE do aterro, onde encontram-se residências no sopé da encosta, e SE, onde há proximidade com o curso do Rio Cocó na região. Essas superfícies de maior declividade podem exercer maior influência sobre movimentos de massa, relacionados à ação gravitacional, do que sobre a erosão, propagada pela componente hidráulica (BATISTA, 2014).

Observando as áreas vizinhas ao aterro, encontram-se formas bem delimitadas e angulares com declividades acentuadas, maior que 75%, relacionadas a edificações antrópicas (Figura 13). Isso ocorre pelo nível de detalhe devido ao pixel de 63,5 cm do MDE conseguido através do VANT.

Figura 13 – Declividade da área.

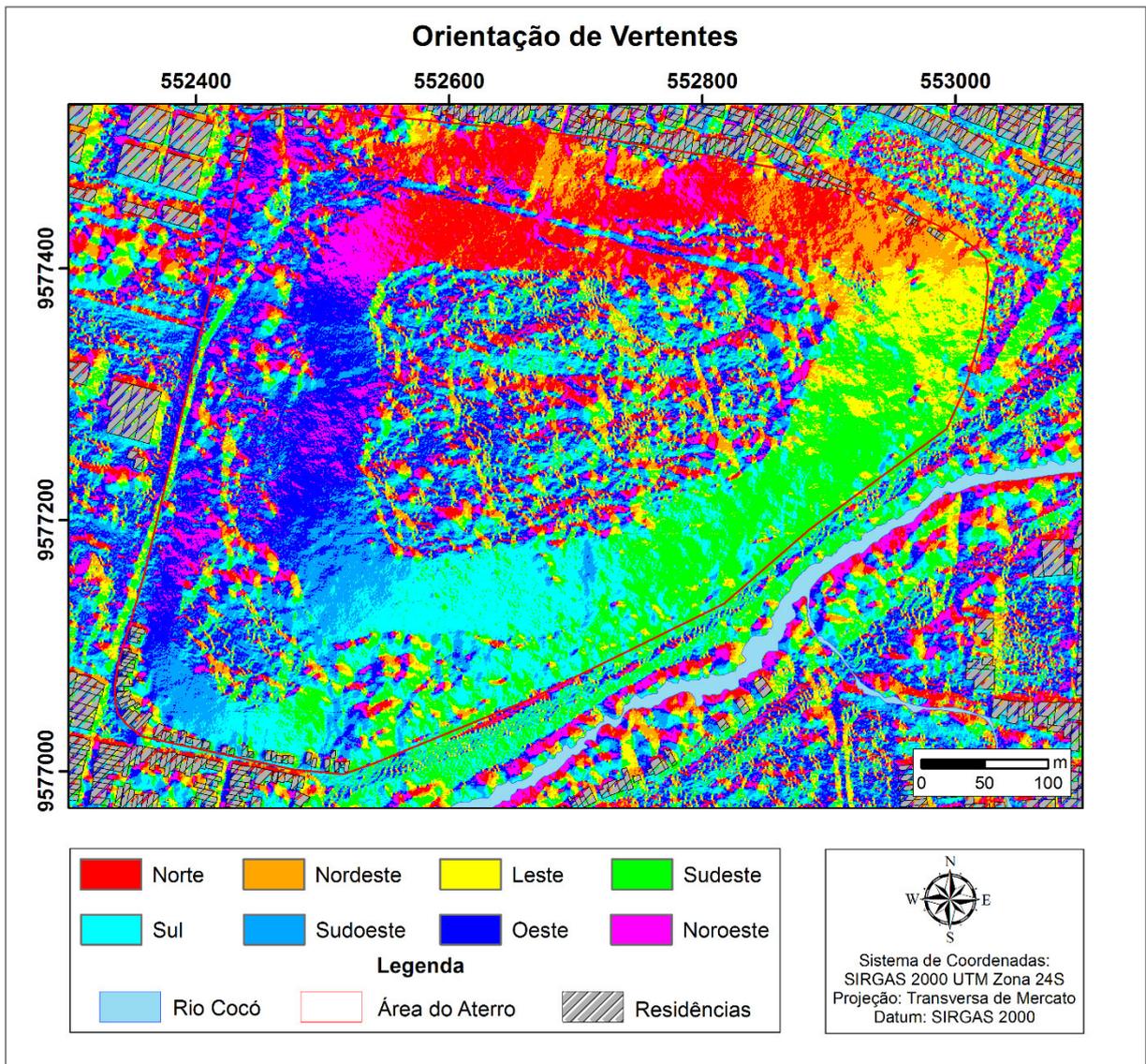


Fonte: Elaborado pelas Autoras.

5.2 Orientação de Vertentes

Observando a orientação de vertentes gerada para a área (Figura 14), fica explícito a conformidade das orientações com o formato do aterro o que justifica as orientações em todas as direções, o que já era esperado. Mesmo com o nível de detalhe, visualmente os resultados mostram-se homogêneos nos taludes indicando uma maior regularidade no sentido do escoamento, enquanto que no topo há uma variação maior, principalmente para Norte e Sul.

Figura 14 – Orientação de Vertentes da área.



Fonte: Elaborado pelas Autoras.

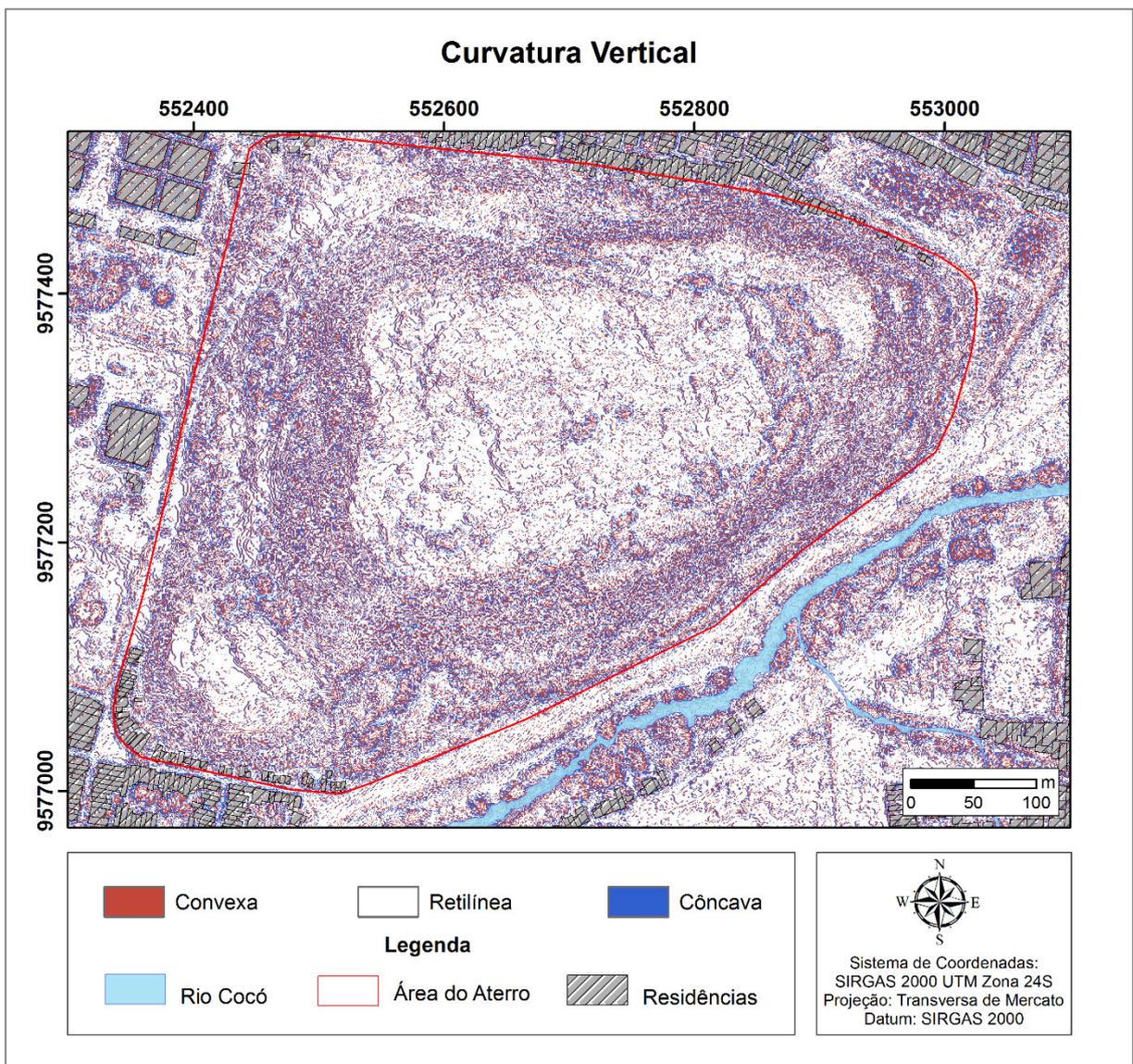
5.3 Curvatura Vertical e Horizontal

Através das curvaturas vertical e horizontal apresentadas nas Figuras 15 e 16, respectivamente, pode-se perceber a quantidade exagerada de informações em toda a área, acarretando numa dificuldade de visualização e interpretação dos dados por parte das autoras. Isso pode ter ocorrido pela alta resolução espacial do MDE, gerando um alto detalhamento das curvaturas do terreno e ocasionando uma difícil distinção entre valores positivos e negativos pelo aspecto homogêneo. Outra questão considerada para explicar a dificuldade na interpretação dos dados produzidos é a natureza dos taludes, que são artificiais e foram gerados sem nenhum controle técnico durante os anos de funcionamento do aterro.

Por outro lado, o nível alto de detalhe e a natureza dos taludes torna-se interessante para o modelo matemático utilizado na geração da carta final, com adição de informações imprescindíveis para um melhor resultado.

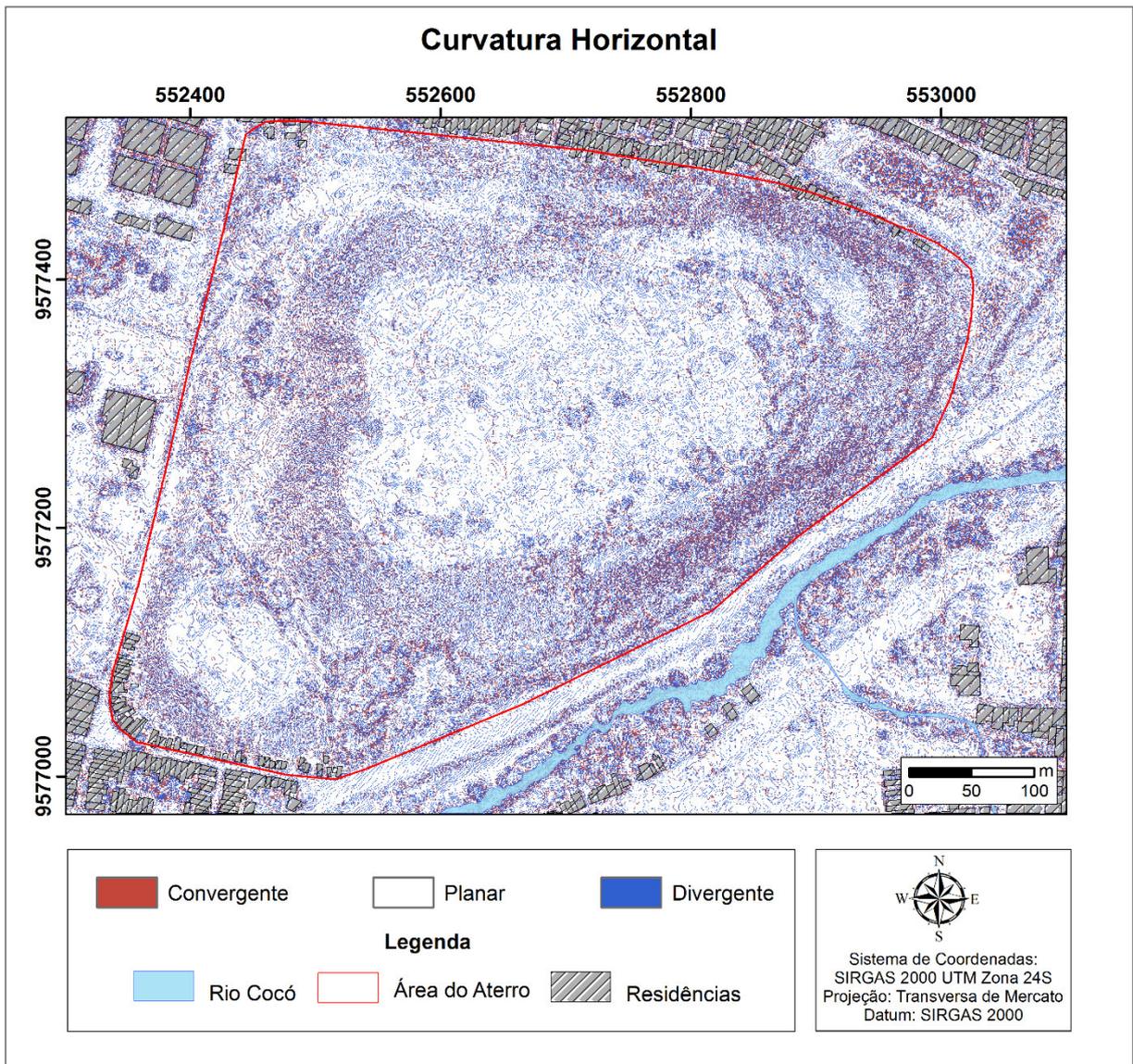
Na curvatura vertical e horizontal podem ser visualizados facilmente apenas as superfícies de curvatura retilínea e as superfícies de curvatura planar (indicando uma menor rugosidade do terreno), ambas coincidindo com as regiões menos íngremes.

Figura 15 – Curvatura Vertical da área.



Fonte: Elaborado pelas Autoras.

Figura 16 – Curvatura Horizontal da área.



Fonte: Elaborado pelas Autoras.

5.4 CARMOE

A Carta de Avaliação do Risco Morfológico à Erosão – CARMOE – foi confeccionada utilizando a morfologia e a geometria do terreno por meio da integração das quatro variáveis geomorfométricas acima citadas.

Os valores das notas e dos pesos para o cálculo final a partir da álgebra de mapas foram definidos pelas autoras tomando como base trabalhos de outros autores especializados em cada área, e em seus conhecimentos em relação as variáveis avaliadas e como elas se comportam na área estudada.

Inicialmente, antes da realização da operação de álgebra de mapas, cada atributo das variáveis foi reclassificado por meio de notas, de 0 a 10, de maneira que quanto maior a nota, maior a chance daquele atributo de ocasionar erosão. Os resultados das classificações podem ser vistos na Tabela 5.

Tabela 5 – Notas atribuídas para cada atributo das variáveis.

Variável	Atributo	Nota
<i>Declividade</i>	0 – 3%	0
	3 - 8%	2
	8 – 20%	4
	20 – 45%	6
	45 – 75%	8
	> 75%	10
<i>Curvatura Vertical</i>	Convexa	3
	Retilínea	6
	Côncava	9
<i>Curvatura Horizontal</i>	Divergente	3
	Planar	6
	Convergente	9
<i>Orientação de Vertentes</i>	Noroeste	1
	Oeste	1
	Norte	2
	Sudoeste	4
	Nordeste	5
	Sul	7
	Sudeste	8
	Leste	10

Fonte: Elaborado pelas Autoras.

Com a intenção de realizar o cálculo da operação de álgebra de mapas, foram atribuídos pesos de influência, que variam de modo a somar 100%. Esses pesos foram aplicados em cada variável, já reclassificadas, de acordo com a probabilidade das mesmas causarem maior ou menor nível de erosão (Tabela 6).

Para a declividade foi atribuída a maior influência, pois, dependendo do nível de inclinação do terreno, a probabilidade de processos de transporte gravitacional ocorrerem é maior, quando comparada às outras variáveis analisadas. A orientação de vertentes foi a segunda variável com maior influência após considerar a incidência das chuvas sobre determinada vertente. No caso da área em estudo, as maiores incidências estão concentradas na vertente leste, variando ocasionalmente de sul a sudeste, de acordo com a Plataforma de Coleta

de Dados (PCD) da FUNCEME (disponível em: <http://www.funceme.br/app/pcd/>). Por último, as menores influências foram atribuídas às curvaturas horizontal e vertical pela dificuldade de interpretação visual do terreno, porém destaca-se a relevância desse nível de detalhe para a geração do resultado final através do modelo matemático utilizado.

Tabela 6 – Peso de Influência para cada variável.

Variável	Peso de Influência (%)
<i>Declividade</i>	40
<i>Orientação de Vertentes</i>	25
<i>Curvatura Horizontal</i>	20
<i>Curvatura Vertical</i>	15

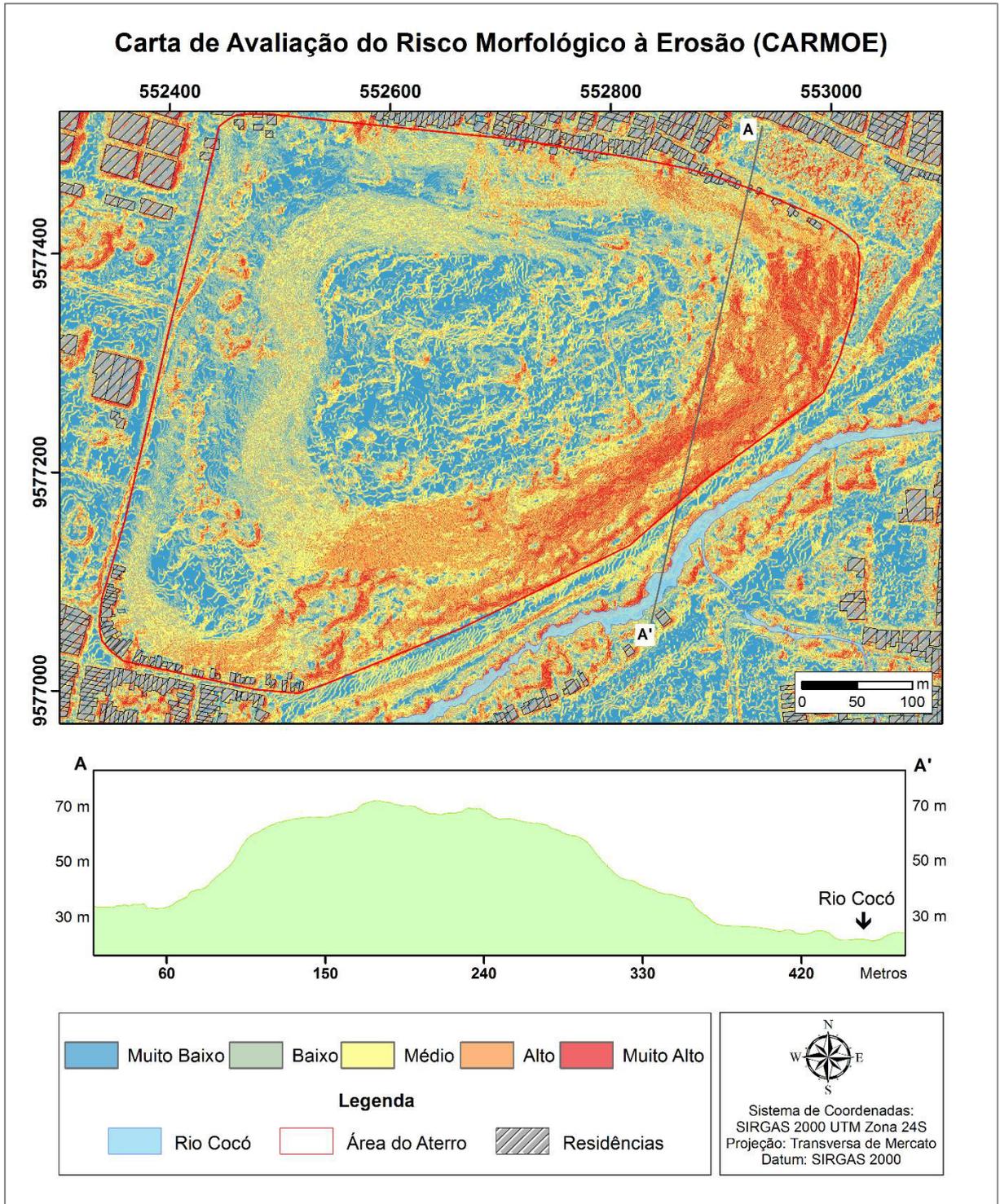
Fonte: Elaborado pelas Autoras.

Portanto, na produção da CARMOE foi utilizada a Fórmula 4.

$$Risco = (Declividade \times 0,4) + (Orientação de Vertentes \times 0,25) + (Curvatura Horizontal \times 0,2) + (Curvatura Vertical \times 0,15) \quad (4)$$

A carta final foi classificada em graus de risco muito baixo, baixo, médio, alto e muito alto (Figura 17). É possível observar a grande quantidade de setores marcados com os graus de risco alto e muito alto nas vertentes sul, leste, sudeste e em parte da vertente norte. Os graus médios a baixo são observados nas vertentes oeste, sudoeste e na fração restante da vertente norte. No topo do aterro, onde a forma de relevo apresenta um topo plano (tabuleiro), os riscos variam de baixo a muito baixo, salvo em algumas porções onde a presença de árvores com copas altas apresentou alguns resultados com um grau de risco falseado.

Figura 17 – Carta de Avaliação do Risco Morfológico à Erosão (CARMOE).



Fonte: Elaborado pelas Autoras.

É possível perceber que as declividades mais acentuadas possuem uma forte correlação com os graus de risco muito alto – perceptível no perfil A-A' da Figura 18 – sendo assim um fator preponderante na deflagração de movimentos de massa. As vertentes onde a

incidência da chuva é mais direta também coincidiram com os graus de risco elevado e as curvaturas vertical e horizontal contribuíram, de forma geral, na adição de informações relacionadas ao risco à erosão no mapa final pela grande quantidade de dados do terreno gerados devido à alta resolução do MDE.

As áreas mais preocupantes, em relação aos riscos sociais e ambientais, estão localizadas nas vertentes nordeste e sudoeste, onde verifica-se a proximidade com o Rio Cocó, em torno de 25 metros, com residências que foram construídas dentro dos limites do aterro, como observado na Figura 18.

Nas áreas classificadas com os graus de maior risco, não foram identificadas, a partir das imagens do VANT, feições que expressam a ocorrência de movimentos de massas, assim como na literatura não é apontado nenhum evento de deslizamento nos domínios do aterro. Talvez isso se deva ao fato da presença da ampla cobertura vegetal que recobre quase que completamente toda a sua área, tornando-se um agente estabilizador, já que contribui para fixação do solo e diminui a incidência direta da chuva no terreno. Porém a inserção de um agente deflagrador que pode trazer uma modificação maior do que causas naturais, como a construção de casas ou estradas cada vez mais próximas ao aterro, bem como o cultivo de diversos tipos de plantações, pode desencadear riscos para as comunidades que moram no seu entorno e nas águas do Rio Cocó.

Mesmo que não haja histórico de deslizamento e a área encontre-se teoricamente estabilizada, os valores de declividade representam um valor muito elevado para pilhas de rejeitos em aterros de lixo, principalmente quando considerando que esse aterro está em um contexto densamente urbanizado, dentro da capital do estado.

6 CONCLUSÕES

De forma geral, o estudo permitiu produzir variáveis geomorfométricas do Aterro de Resíduos Sólidos do Jangurussu para confecção de uma Carta de avaliação do Risco Morfológico à Erosão (CARMOE) subsidiado por dados obtidos a partir de um Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT).

O processamento das imagens possibilitou uma Ortofoto com resolução de 7,93 cm/pix e um Modelo Digital de Elevação (MDE) com um pixel de 63,5 cm, o que denota a alta resolução espacial condicionada pelo uso do VANT, além da facilidade, rapidez e baixo custo da aquisição dos dados.

Sobre a geração das variáveis geomorfométricas, é possível expor algumas conclusões. A declividade ficou bem representada adotando-se as classes da EMBRAPA, possibilitando a visualização da superfície aplainada do topo onde ocorre, provavelmente, maiores infiltrações de fluidos e das vertentes mais íngremes a NE e SE do aterro – com proximidade de residências e do Rio Cocó, respectivamente – exibindo declives maiores que 45% (>35°). As orientações das vertentes, que influem no sentido de escoamento de sedimentos e fluidos, variam em todas as direções seguindo o formato característico do aterro. Enquanto as variáveis de curvatura vertical e horizontal exibiram grande quantidade de informações por conta da resolução de 63,5 cm do MDE, impossibilitando uma interpretação e visualização adequada dos dados, onde, em ambas as curvaturas, só foi possível identificar as superfícies menos íngremes com os dados de curvatura retilínea e planar. Porém estas mesmas variáveis mostraram-se essenciais na geração do produto final quando integrada às outras variáveis, adicionando mais dados ao modelo matemático utilizado pelo *software*.

Através da confecção da CARMOE por meio da integração das variáveis geomorfométricas, tornou-se possível a visualização de áreas com diferentes graus de risco à erosão. As vertentes sul, leste, sudeste e parte da vertente norte apresentaram graus de risco alto e muito alto, enquanto nas demais vertentes o risco variou entre baixo e médio. O risco muito baixo e baixo se concentraram no topo aplainado do aterro. Todos esses graus foram influenciados em maior peso pela declividade e pela orientação dos ventos e chuvas nas vertentes. Porém, as curvaturas vertical e horizontal também deram contribuição ao resultado final, mesmo com a influência menor pela dificuldade na interpretação.

Apesar de não ter sido encontradas ocorrências de movimentos de massa mediante a análise das imagens, não se pode descartar a influência das vertentes de maior risco nas residências instaladas no limite NE e nas margens do Rio Cocó, que passa em torno de 25

metros a SE do aterro. Além dos altos valores de declividade e fatores antrópicos na deflagração de riscos em um aterro desativado em um contexto densamente urbanizado na cidade de Fortaleza.

Em razão da falta de segurança da área para os envolvidos no trabalho, optou-se por utilizar apenas o VANT como recurso, pois este permitiu uma distância entre o campo a ser sobrevoado e o operador, ficando inviável a coleta e estudo de outras informações importantes para a análise de risco como o solo, vegetação e mecânica dos resíduos sólidos. Em adição, recomenda-se estudos futuros de prospecção desses outros fatores para integrar aos dados morfológicos do aterro a fim de melhorar e adequar os resultados.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA EMBRAPA DE INFORMAÇÃO TECNOLÓGICA. EMBRAPA. Disponível em: <<http://www.agencia.cnptia.embrapa.br>>. Acesso em: 11 mar. 2018.

AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL. **Regras sobre drones**. Brasília, 2017. Disponível em: <http://www.anac.gov.br/noticias/2017/regras-da-anac-para-uso-de-drones-entram-em-vigor/release_drone.pdf>. Acesso em: 12 mar. 2018.

AMARO, V. E.; SANTOS, M. S. T.; SOUTO, M. V. S. **Geotecnologias aplicadas ao monitoramento costeiro: Sensoriamento Remoto e Geodésia de Precisão**. Natal: do Autor, 2012. 120 p.

ANDRADE, J. B. **Fotogrametria**. Curitiba: SBEE, 1998.

ANTIGO lixão **ainda gera impactos**: Desativada há 17 anos, a rampa de resíduos é área de risco e estima-se que o chorume de lá polui o Rio Cocó. **Diário do Nordeste**, Fortaleza, 22 maio 2015. Disponível em: <<http://diariodonordeste.verdesmares.com.br/cadernos/cidade/antigo-lixao-ainda-gera-impactos-1.1321532>>. Acesso em: 03 fev. 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil**. São Paulo, 2016. Disponível em: <<http://www.abrelpe.org.br/Panorama/panorama2016.pdf>>. Acesso em: 16 de maio de 2018.

BATISTA, C. T. **Geoprocessamento aplicado ao mapeamento geotécnico em escala regional – o caso da serra de Baturité, CE**. 2014. 218 f. Tese (Doutorado) - Curso de Pós-graduação em Geologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2014.

BENVENUTO, C. **Estabilidade geotécnica de aterros sanitários**. I Seminário sobre Geomecânica dos Resíduos Sólidos Urbanos, 2012.

BRANDÃO, R. L. Sistema de Informações para Gestão e Administração Territorial da Região Metropolitana de Fortaleza - Projeto SINFOR: **Diagnóstico geoambiental e os principais problemas de ocupação do meio físico da Região Metropolitana de Fortaleza**. 2. ed. Fortaleza: SER/REFO/CPRM, 1998. v. 01, 99 p.

BRANDÃO, R. L.; FREITAS, L. C. B. (Org.). **Geodiversidade do estado do Ceará**: Programa Geologia do Brasil. Levantamento da Geodiversidade. Fortaleza: CPRM, 2014. 214 p. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/113296/1/Geodiversidade-p37.pdf>>. Acesso em: 10 maio 2018.

BRASIL. Comando da Aeronáutica. Departamento de Controle do Espaço Aéreo. **Sistemas de Aeronaves Remotamente Pilotadas e o Acesso ao Espaço Aéreo Brasileiro**. ICA 100-40. Rio de Janeiro, 2016.

CÂMARA, G.; MOREIRA, F. R.; BARBOSA, C.; FILHO, R. A.; BONISCH, S. Técnicas de Inferência Geográfica. In: CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A. M. V. **Introdução à**

Ciência da Geoinformação. São José dos Campos: INPE, 2001. Cap. 9. p. 241-288.

CARMO, A. M. **Utilização do geoprocessamento como subsidio para análise morfométrica e de risco geológico das serras da porção sul do Maciço Central do Ceará.** 2014. 126 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-graduação em Geologia, Departamento de Geologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2014.

CAVALCANTE, I. **Fundamentos hidrogeológicos para a gestão integrada de recursos hídricos na região metropolitana de Fortaleza Estado do Ceará.** 1998. 91 f. Tese (Doutorado) - Curso de Geologia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1998.

CAVALCANTE, S.; FRANCO, M. F. A. Profissão perigo: percepção de risco à saúde entre os catadores do lixão do Jangurussu. **Mal-estar e Subjetividade**, Fortaleza, v. 7, n. 1, p.211-231, mar. 2007.

CIFALDI, C. **Remotely Piloted Aircraft Systems: Technical and operational risks.** Tricase: Youcanprint, 2016. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?id=2XYqDQAAQBAJ&printsec=copyright&hl=pt-BR&source=gbs_pub_info_r#v=onepage&q&f=false>. Acesso em: 26 abr. 2018.

DEPARTAMENTO DE CONTROLE DO ESPAÇO AÉREO. **Drone [RPAS].** Disponível em: <<https://www.decea.gov.br/drone/>>. Acesso em: 02 maio 2018.

DJI. **PHANTOM 4 SPECS.** Disponível em: <<https://www.dji.com/phantom-4/info#specs>>. Acesso em: 20 maio 2018.

EASTMAN, J. R.; JIN, W.; KYEM, P. A. K.; TOLEDANO, J. Raster Procedures for Multi-Criteria/Multi-Objective Decisions. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, New York, v. 5, n. 61, p.539-547, 1995.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Súmula da X Reunião Técnica de Levantamento de Solos.** Rio de Janeiro, 1979. 83p.

FELGUEIRAS, C. A.; CÂMARA, G. Modelagem Numérica de Terreno. In: CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A. M. V. **Introdução à Ciência da Geoinformação.** [s. l.]: Inpe, 2001. 36 p. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/>>. Acesso em: 25 abr. 2018.

GLOBAL URBAN DEVELOPMENT. Urban Development. 2010. Disponível em: <<http://www.globalurban.org/publications.htm>>. Acesso em: 16 de maio de 2018.

GOMES, M. C. R. **Análise situacional qualitativa sobre as águas subterrâneas de Fortaleza, Ceará – Brasil como subsídio à gestão dos recursos hídricos.** 2013. 216 f. Tese (Doutorado) - Curso de Geologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2013.

GONÇALVES, R. M. P. **A catação de lixo na (de)formação da criança como ser social.** 2006. 108 f. Tese (Doutorado) - Curso de Educação Brasileira, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2006.

HENGL, T.; REUTER, H. I. (Ed.). **Geomorphometry: Concepts, Software, Applications**. Oxford: Elsevier Science, 2008. Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?id=u33ArNw4BacC&pg=PA662&dq=General+geomorphometry,+derivatives+of+altitude,+and+descriptive+statistics&hl=pt-BR&sa=X&ved=0ahUKEwiXhfO-qq3bAhVKhpAKHZhIAB8Q6AEILTAB#v=onepage&q&f=false>>. Acesso em: 05 maio 2018.

HONG, Y.; ADLER, R.; HUFFMAN, G. Use of satellite remote sensing data in the mapping of global landslide susceptibility. **Natural Hazards**: [s.l.], v. 43, n. 2, p.245-256, 13 mar. 2007.

INSTITUTO DE PESQUISA E ESTRATÉGIA ECONÔMICA DO CEARÁ. **Perfil Municipal 2017**: Fortaleza. Fortaleza, 2018. Disponível em: <http://www.ipece.ce.gov.br/perfil_basico_municipal/2017/Fortaleza.pdf>. Acesso em: 07 maio 2018.

JANGURUSSU passou 20 anos em atividade. **Diário do Nordeste**. 27 jul. 2009. Disponível em: <<http://diariodonordeste.verdesmares.com.br/cadernos/cidade/jangurussu-passou-20-anos-em-atividade-1.328319>>. Acesso em: 10 fev. 2018.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento Remoto do Ambiente**: uma perspectiva em Recursos Terrestres. Traduzido de J. C. N. Epiphanyo. São Paulo: Parêntese, 2011. 598 p. Tradução de: Remote Sensing of the Environment An Earth Resource Perspective.

LIMA, C. R. G. **Análise socioambiental da área do lixão do Jangurussu (Fortaleza-CE) e os impactos na comunidade do entorno**. 2013. 78 f. Tese (Doutorado) - Curso de Geografia, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2013.

LONGHITANO, G. **Mapeamento com Drones possui vantagens e desafios a serem enfrentados**. **Entenda**. 2017. Disponível em: <<http://www.droneshowla.com/mapeamento-com-drones-possui-vantagens-e-desafios-serem-enfrentados-entenda>>. Acesso em: 27 abr. 2018.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Projeto Orla**: Plano de Gestão Integrada da Orla do Município de Fortaleza. Fortaleza, 2006. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/estruturas/orla/_arquivos/fortaleza_orla_11_08_06_verso_final_pdf_1_11.pdf>. Acesso em: 08 maio 2018.

MOUTINHO, O. **Evaluation of Photogrammetric Solutions for RPAS: Commercial vs Open Source**. 2015. 121 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ambiente e Ordenamento do Território, Departamento de Geociências, Universidade do Porto, Porto, 2015.

MUNARETTO, L. **VANT E DRONES**: A Aeronáutica ao alcance de todos. 2. ed. São José dos Campos: Edição Independente, 2017. 176 p.

PECHARROMÁN, J. M. P.; VEIGA, R. **Estudo Sobre a Indústria Brasileira e Europeia de Veículos Aéreos Não Tripulados**. Brasília, DF, 2017. 92 p. Disponível em: <http://www.mdic.gov.br/images/publicacao_DRONES-20161130-20012017-web.pdf>. Acesso em 11 maio 2018.

RODRIGUES, M. Introdução ao Geoprocessamento. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOPROCESSAMENTO, 1990, São Paulo. **Anais...** São Paulo: Universidade de São Paulo, 1990, 1-26p.

SABADIA, J. A. B.; CASAS, A.; SANTIAGO, M. M. F.; MENDES FILHO, J. A Problemática da Destinação Final de Resíduos Sólidos Urbanos: O Aterro do Jangurussu e os Recursos Hídricos Subterrâneos da Cidade de Fortaleza - Ceará. **Águas Subterrâneas**, São Paulo, v. 1. p. 1-18, 2000.

SABADIA, J. A. B.; DUARTE, C. R.; SOUTO, M. V. S.; SILVA NETO, T. A.; TERODORO FILHO, N. C. Evolução da Contaminação Produzida pelo Aterro do Jangurussu nos Recursos Hídricos da Cidade de Fortaleza (2001 a 2015) e Considerações de Estabilidade Geotécnica. In: CONGRESSO DE GEOQUÍMICA DOS PAÍSES DE LÍNGUA PORTUGUESA, 2016, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: Universidade Federal do Ceará, 2016.

SAUSEN, T. M.; LACRUZ, M. S. P. **Sensoriamento remoto para desastres**. São Paulo: Oficina de Textos, 2015. 288 p.

SECRETARIA MUNICIPAL DE URBANISMO E MEIO AMBIENTE. **Drenagem e Manejo das Águas Pluviais Urbanas do Município de Fortaleza**. Fortaleza: Prefeitura de Fortaleza, 2015. Disponível em: <https://urbanismoemeioambiente.fortaleza.ce.gov.br/images/urbanismo-e-meio-ambiente/infocidade/plano_municipal_de_drenagem.pdf>. Acesso em: 09 maio 2018.

SILVA, C. A. **Avaliação da acurácia dos ortomosaicos e modelos digitais do terreno gerados por VANT e sua aplicação no cálculo do volume de pilhas de rejeito da Pedra Cariri**. 2015. 148 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Geologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2015.

SOUTO, M. V. S. **Análise da evolução costeira do litoral setentrional do estado do Rio Grande do Norte, região sob influência da indústria petrolífera**. 2009. 89 f. Tese (Doutorado) - Curso de Geodinâmica e Geofísica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2009.

SOUZA, L. G.; SOUSA, G. M.; COURA, P. H. F.; FERNANDES, M. C. Avaliação de Modelos Digitais de Elevação para Estudos Geoecológicos no Maciço da Pedra Branca, Rio de Janeiro, Brasil. **Anuário do Instituto de Geociências**, Rio de Janeiro, v. 32, n. 1, p.21-33, maio 2008.

SPADOTTO, A. J. Análise Jurídica e Ambiental do uso de Drones em área urbana no Brasil. **Revista de Direito da Cidade**, [s.l.], v. 8, n. 2, p.611-630, 29 abr. 2016.

SUPERINTENDÊNCIA ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE. **Reestruturação e Atualização do Mapeamento do Projeto Zoneamento Ecológico-Econômico do Ceará – Zona Costeira e Unidades de Conservação Costeiras: Relatório Final de Caracterização Ambiental e dos Mapeamentos**. Fortaleza: Semace, 2016. Disponível em: <<http://www.semace.ce.gov.br/wp-content/uploads/2016/12/RELATÓRIO-CARACTERIZAÇÃO-AMBIENTAL-E-DOS-MAPEAMENTOS.pdf>>. Acesso em: 10 maio 2018.

TEIXEIRA, C. P. B.; SILVA NETO, T. A.; TERODORO FILHO, N. C.; SABADIA, J. A. B.; SOUTO, M. V. S.; DUARTE, C. R. Levantamento e Análise da Contaminação Produzida por Metais pelo Aterro de Resíduos Sólidos Urbanos e Industriais do Jangurussu nos Recursos Hídricos da Cidade de Fortaleza no período de 2001 a 2015. In: CONGRESSO DE GEOQUÍMICA DOS PAÍSES DE LÍNGUA PORTUGUESA, 2016, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: Universidade Federal do Ceará, 2016.

VALERIANO, M. M. **TOPODATA: Guia para utilização de dados geomorfológicos locais.** São José dos Campos: Inpe, 2008. 75 p.

VASCONCELOS, V.; JÚNIOR, O. A. C.; MARTINS, E. S.; JUNIOR, A. F. C.; GUIMARÃES, R. F.; GOMES, R. A. T. Sistema de classificação geomorfométrica baseado em uma arquitetura sequencial em duas etapas: árvore de decisão e classificador espectral, no Parque Nacional Serra da Canastra. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, [s. l.], v. 13, n. 2, p.171-186, 2012.

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**. Basel, p. 1671-1692. 08 jun. 2012. Disponível em: <<http://www.mdpi.com/2072-4292/4/6/1671/htm#b1-remotesensing-04-01671>>. Acesso em: 01 maio 2018.

WILSON, J. P. Digital terrain modeling. **Geomorphology**, Amsterdam, p. 107-121. jan. 2012.

WOLF, P.; DEWIT, B. **Elements of Photogrammetry with Applications in GIS.** New York: McGraw-Hill Education, 2004. 696 p.