

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE AERONÁUTICA



Luan Torres de Oliveira

**APOIO À SELEÇÃO DE SÍTIOS
AEROPORTUÁRIOS VIA MEDIÇÃO
AUTOMATIZADA DE CRITÉRIOS
CLASSIFICATÓRIOS USANDO
GEOINFORMAÇÃO**

Trabalho de Graduação
2019

Curso de Engenharia Civil-Aeronáutica

Luan Torres de Oliveira

**APOIO À SELEÇÃO DE SÍTIOS
AEROPORTUÁRIOS VIA MEDIÇÃO
AUTOMATIZADA DE CRITÉRIOS
CLASSIFICATÓRIOS USANDO
GEOINFORMAÇÃO**

Orientador

Prof. Dr Eduardo Moraes Arraut

Coorientador

Prof. Dr Evandro José da Silva

ENGENHARIA CIVIL-AERONÁUTICA

SÃO JOSÉ DOS CAMPOS
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE AERONÁUTICA

2019

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)

Divisão de Informação e Documentação

OLIVEIRA, Luan Torres de
Apoio à Seleção de Sítio Aeroportuário Via Medição Automatizada de Critérios Classificatórios Usando Geoinformação / Luan Torres de Oliveira.
São José dos Campos, 2019.
64f.

Trabalho de Graduação – Engenharia Civil-Aeronáutica – Instituto Tecnológico de Aeronáutica, 2019. Orientador: Prof. Dr Eduardo Moraes Arraut. Co-orientador: Prof. Dr Evandro José da Silva.

1. Sítio aeroportuário. 2. Geoinformação. 3. Classificação. 4. Terraplenagem. I. Instituto Tecnológico de Aeronáutica. II. Título

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

OLIVEIRA, L. T. **Apoio à Seleção de Sítios Aeroportuários Via Medição Automatizada de Critérios Classificatórios Usando Geoinformação**. 2019. 64f. Trabalho de Conclusão de Curso. (Graduação em Engenharia Civil-Aeronáutica) – Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos.

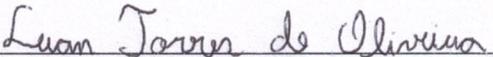
CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Luan Torres de Oliveira

TÍTULO DO TRABALHO: Apoio à Seleção de Sítios Aeroportuários Via Medição Automatizada de Critérios Classificatórios Usando Geoinformação.

TIPO DO TRABALHO/ANO: Graduação / 2019

É concedida ao Instituto Tecnológico de Aeronáutica permissão para reproduzir cópias deste trabalho de graduação e para emprestar ou vender cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte deste trabalho de graduação pode ser reproduzida sem a autorização do autor.



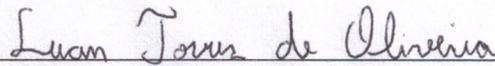
Luan Torres de Oliveira

Rua H8-B, 228, Campus do CTA

12228-461, São José dos Campos – SP – Brasil

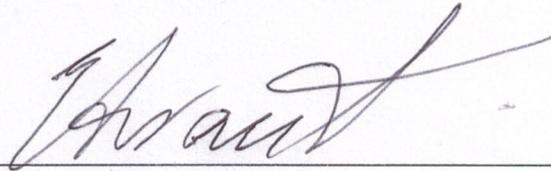
Apoio à Seleção de Sítios Aeroportuários Via Medição Automatizada de Critérios Classificatórios Usando Geoinformação

Essa publicação foi aceita como Relatório Final de Trabalho de Graduação



Luan Torres de Oliveira

Autor



Prof. Dr Eduardo Moraes Arraut

Orientador



Prof. Dr Evandro José da Silva

Coorientador



Prof. Dr Eliseu Lucena Neto

Coordenador do Curso de Engenharia Civil-Aeronáutica

São José dos Campos, 27 de novembro de 2019

Dedico este trabalho aos meus pais, aos professores que me orientaram e a todos que me ajudaram no caminho.

Agradecimentos

Agradeço, inicialmente, aos meus pais, por todos os sacrifícios feitos para que eu e meu irmão pudéssemos ter a melhor educação possível. Agradeço por sempre terem me dado suporte nos estudos para o vestibular apesar das dificuldades.

Agradeço ao meu grande amigo e colega de quarto Matheus Cavalcante, que me motivou durante todo o período do último semestre. Também agradeço aos meus amigos Thales Cavalcante, André Carvalho e Victor Lemos, pelos anos de amizade e suporte vividos estudando no ITA.

Por fim, agradeço ao meu orientador, Prof. Dr. Eduardo Moraes Arraut, e ao meu coorientador, Prof. Dr. Evandro José da Silva, pelo apoio durante todo o processo de desenvolvimento deste trabalho e pela orientação e passagem de conhecimento sobre geoprocessamento e aeroportos.

"Nós somos uma espécie avançada de macacos em um planeta menor de uma estrela mediana. Mas nós conseguimos entender o Universo. E isso nos torna muito especiais".

(Stephen Hawking)

Resumo

Este trabalho de graduação tem como objetivo auxiliar o processo de obtenção de métricas de critérios classificatórios para a Metodologia de Escolha de Sítios Aeroportuários (MESA), em desenvolvimento na divisão de Engenharia Civil do ITA (IEI/ITA). A metodologia MESA vem sendo desenvolvida em um projeto conjunto entre o Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA) e Secretaria de Aviação Civil (SAC) do Governo Federal e visa o aprimoramento da metodologia para escolha de novos sítios aeroportuários para aeroportos regionais. Para definição dos sítios aeroportuários concorrentes a escolha, critérios eliminatórios e classificatórios foram definidos com base em uma revisão bibliográfica que tinha como objetivo definir os critérios mais presentes na literatura. Para o suporte na obtenção das métricas estabelecidas, este trabalho de graduação se propôs a calcular, usando geoinformação, os valores dos critérios classificatórios: (i) distância do centro geométrico do sítio concorrente até o centro gerador de demanda via rodovias mais próximas, (ii) distância do centro geométrico do sítio concorrente até a rodovia mais próxima, (iii) distância do centro geométrico do sítio concorrente até a linha de transmissão de média ou alta tensão mais próxima e (iv) estimativa de movimentação de terra para terraplenagem do sítio concorrente. Além dos critérios classificatórios, critérios eliminatórios, que se resumem em áreas onde um sítio aeroportuário não pode ser implantado, foram medidos utilizando recortes das áreas citadas no modelo topográfico da área de busca. Para todos os critérios, menos para o cálculo de estimativas de movimentação de terra, foi empregado o ferramental em SIG para criação de mapas que possibilitasse a fácil visualização e obtenção dos valores desses critérios. Para movimentação de terra, por outro lado, foram calculadas estimativas de volume de corte e aterro, para sítios selecionados durante o projeto, através da criação de planos de corte do terreno.

Abstract

This undergraduate work aims to assist the process of measuring metrics of classification criteria for the airport sites selection methodology, abbreviated to MESA methodology. The MESA methodology has been developed in a joint Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA) and Secretaria de Aviação Civil (SAC) project and aims at upgrade the methodology for new airport sites choosing for regional airports. To define the competing airport sites, elimination and classification criteria were defined based on a bibliographic review that aimed to define the most present criteria in the literature. To support the measurement of the established metrics, this undergraduate study proposed to calculate, using geoinformation, the values of the classification criteria: (i) distance from the geometric center of the competing sites to the demand generating center via the nearest highways, (ii) distance from the geometrical center of the competing sites to the nearest road, (iii) distance from the geometrical center of the competing sites to the nearest medium or high voltage transmission line and (iv) estimated earthwork moving of the competing sites . In addition to the classification criteria, elimination criteria, which can be summarized in areas where an airport site cannot be implanted, were measured using clippings of the cited areas in the search area topographic model. For all criteria, except for the calculation of earthworks volume estimation, GIS tooling was used to create maps that allowed the easy visualization and obtaining of these criteria's values. For earthworks, on the other hand, cut and landfill volume estimation were calculated for sites selected during the project by creating land cut plans.

Lista de Figuras

FIGURA 1.1 – Objetivos para a rede de aeroportos brasileira (Fonte: Ministério da Infraestrutura (2018))	18
FIGURA 1.2 – Fluxograma para ranqueamento através do AHP (Fonte: ITA (2019a))	20
FIGURA 2.1 – Perfil de um terreno com plano horizontal (corte representado por (+) e aterro representado por (-))	26
FIGURA 2.2 - Perfil de um terreno com plano inclinado (corte representado por (+) e aterro representado por (-))	26
FIGURA 3.1 – Exemplo de área de busca.....	30
FIGURA 3.2 – Esquema de conversão em <i>raster</i> e recorte do mapa topográfico	31
FIGURA 3.3 – Conversão de vetor para <i>raster</i>	36
FIGURA 3.4 – Função distância <i>raster</i> (Fonte: QGIS)	37
FIGURA 3.5 – Processo de criação do <i>raster</i> de <i>iso-areas</i> a partir de uma malha de linhas e um ponto de partida	38
FIGURA 3.6 – Ferramenta QNEAT do QGIS (Fonte: QGIS)	39
FIGURA 3.7 – Superfície de corte de um sítio potencial (Imagem: Google Earth)	40
FIGURA 4.1 – Antes/Depois do recorte de APP, Reserva Legal e Hidrografia.....	43
FIGURA 4.2 – Antes/Depois do recorte de rodovias federais e estaduais.....	44
FIGURA 4.3 – Antes/Depois do recorte de linhas de transmissão e dutovias	45
FIGURA 4.4 – Mapa topográfico da região de busca de Francisco Beltrão/Pato Branco com todos os recortes	46
FIGURA 4.5 – Mapa topográfico da região de busca de Francisco Beltrão/Pato Branco com todos os recortes - zoom	47
FIGURA 4.6 – DIS para Francisco Beltrão/Pato Branco.....	48

FIGURA 4.7 – ACE para Francisco Beltrão/Pato Branco	49
FIGURA 4.8 – DIP para Francisco Beltrão/Pato Branco	50
FIGURA 4.9 – Sítios Potenciais (Imagem: Google Earth)	51
FIGURA A.1 – Plano de corte e ângulos formados	60
FIGURA A.2 – Circunferência definida pela tangente máxima do plano e as tangentes nos eixos x e y	62

Lista de Tabelas

TABELA 3.1 – Valores para faixa de passagem de linhas de transmissão (Fonte: ELEKTRO (2013))	35
TABELA 4.1 – Resumo dos valores dos critérios classificatórios para os sítios potenciais de Francisco Beltrão/Pato Branco	51
TABELA 4.2 – Resultados obtidos pela Equipe ITA (Fonte: ITA (2019b))	51
TABELA A.1 – Valores de TopVol com novo método ($n = 10$)	63

Lista de Abreviaturas e Siglas

ACE	Distância até a Rodovia Mais Próxima
ANAC	Agência Nacional de Aviação Civil
AMB	Restrições ambientais
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
APP	Área de Preservação Permanente
ASCII	<i>American Standard for Computer Information Interchange</i>
CAR	Cadastro Ambiental Rural
DIP	Disponibilidade de Serviços de Utilidade Pública
DIS	Distância Acumulada do Centro Geométrico do Sítio até o CGD
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte
EPSG	European Petroleum Survey Group
GEO	Qualidade do solo
GCP	<i>Dynamic Cone Penetrometer</i>
ICAO	<i>International Civil Aviation Organization</i>
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
ITA	Instituto Tecnológico de Aeronáutica
MESA	Metodologia de Escolha de Sítio Aeroportuário
MET	Meteorologia (ventos)
PBZPA	Plano Básico de Zona de Proteção de Aeródromos
QNEAT	<i>Qgis Network Analysis Toolbox</i>
RUI	Ruído
SAC	Secretaria de Aviação Civil

SAR	Radares de Abertura Sintética
SIG	Sistema de Informação Geográfica
Sisnama	Sistema Nacional do Meio Ambiente
STRM	Missão Topográfica Radar Shuttle
TopVol	Volume de corte ou aterro

Lista de Símbolos

A	Matriz de altitude de corte ou aterro
B	Matriz de altimetria do sítio potencial
C	Matriz de altitude média
z	Altura do terreno
x	Coordenada latitudinal;
y	Coordenada longitudinal.
n	Número de interações;
δ	ângulo de procura.
H_{\min}	Menor altura dentro do sítio aeroportuário;
$H_{\text{méd}}$	Altura média do sítio aeroportuário;
H_{\max}	Maior altura dentro do sítio aeroportuário.

Sumário

1	INTRODUÇÃO	18
1.1	Motivação	19
1.2	Objetivos.....	21
1.3	Estrutura do Trabalho	22
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	23
2.1	Metodologia MESA	23
2.1.1	Critérios Eliminatórios e Classificatórios.....	23
2.2	Métodos para Definição de Volume de Corte e Aterro.....	25
2.3	Estudos Sobre Escolha de Sítios Aeroportuários	27
3	METODOLOGIA	29
3.1	Sistema de coordenadas e topologia dos dados	29
3.2	Definição de Área de Busca	30
3.3	Eliminação de Áreas Inviáveis Definidas pelos Critérios Eliminatórios	30
3.4	Escolha de Sítios Potenciais	35
3.5	Confecção de Mapas para Critérios Classificatórios DIS, ACE e DIP	36
3.5.1	DIP.....	36
3.5.2	DIS.....	37
3.5.3	ACE	39
3.6	Estimativa de TopVol para Sítios Potenciais	39
4	RESULTADOS	42
4.1	Critérios Eliminatórios	42
4.1.1	Caso de Francisco Beltrão/Pato Branco	42

4.2	Critérios Classificatórios.....	47
4.2.1	Caso de Francisco Beltrão/Pato Branco	48
5	DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	53
6	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	54
7	REFERÊNCIAS	56
APÊNDICE A – MEDIÇÃO DE TOPVOL POR BUSCA DE PLANO INCLINADO DE CORTE USANDO MÉTODO ENUMERATIVO		58
A.1	Introdução.....	58
A.2	Restrição de Declividade	58
A.3	Metodologia.....	59
A.4	Resultados	63
A.5	Conclusões e Recomendações	64

1 Introdução

Segundo a Secretaria de Aviação Civil (SAC), o setor aéreo brasileiro tem aumentado significativamente na última década, tendo se desenvolvido expressivamente entre os anos de 2007 e 2016 e diminuído apenas no período de recessão econômica em 2016 (SAC, 2017). Ainda segundo a SAC (2019), uma projeção conservadora para o aumento de passageiros nos aeroportos brasileiros é de 3,35% ao ano, o que corresponderia a um total de 267,8 milhões de passageiros, nacionais e internacionais, transitando nos aeroportos brasileiros no ano de 2027.

Mais ainda, segundo pesquisa realizada pelo Instituto Data Popular em 2015, 44% dos brasileiros tem vontade de viajar, mas não o fazem devido os altos custo. Dada tamanho expectativa de crescimento da aviação civil brasileira, o Ministério da Infraestrutura (2018) apresenta seu plano de ações para os próximos 20 anos. Neste plano, está previsto a expansão e criação dos aeroportos regionais brasileiros com o objetivo de melhorar a rede de aeroportos. Na FIGURA 1.1 é apresentado os objetivos para a rede de aeroportos do Brasil.



FIGURA 1.1 – Objetivos para a rede de aeroportos brasileira (Fonte: Ministério da Infraestrutura (2018))

O desenvolvimento da aviação regional se mostra, portanto, importante para o crescimento econômico do país visto a alta demanda que já existe e que vem aumentando com o decorrer dos anos. A criação de novos aeroportos para atender essas demandas se mostra uma forma eficaz de investimento para encurtar distâncias entre destinos turísticos ou com outra atividade econômica forte e com isso contribuir para o desenvolvimento econômico desses locais.

1.1 Motivação

Tendo em vista a projeção de demanda de transporte em regiões de crescimento econômico, a SAC, em parceria com o Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA), começou o projeto *Metodologia de Escolha de Sítios Aeroportuários* (MESA) com o objetivo de aprimorar a metodologia de escolha de sítios aeroportuários. Antes do surgimento de ferramentas de sensoriamento remoto, novos sítios eram escolhidos com base em visitas de campo e sobrevoo de helicóptero, auxiliados às vezes por observações via satélite. Atualmente, metodologias que utilizam critérios classificatórios e critérios eliminatórios já são utilizadas para o processo de escolha de sítios aeroportuários. O Labtrans (2017), por exemplo, aplica uma metodologia que dispõe de critérios para ranqueamento de sítios aeroportuários. No entanto, uma a metodologia MESA teve como objetivo utilizar-se de critérios objetivos, que não dependessem da subjetividade de quem aplica o método. Labtrans (2017), toma como critério a qualidade da acessibilidade até o sítio aeroportuário, definindo-o como “*disponibilidade e qualidade de acesso viário do sítio aeroportuário ao(s) polo(s) gerador(es) de demanda*”. Essa definição, no entanto, não tem uma métrica bem estabelecida, o que faz o valor da métrica depender da visão do avaliador. A metodologia MESA, por outro lado, utiliza como métrica para acessibilidade o valor do centroide do sítio aeroportuário até a rodovia mais próxima. Essa objetividade na definição dos critérios está presente em todos os critérios classificatórios e eliminatórios da metodologia MESA. O que faz a subjetividade do aplicador do método ser considerada apenas quando o processo de auxílio de tomada de decisão é utilizado.

A metodologia MESA, para obtenção dos valores das métricas dos seus critérios, vale-se de um conjunto de dados georreferenciados que são utilizados para a melhoria do processo de busca de sítios aeroportuários. Dentre estes dados, podem ser citados: Áreas de preservação permanente, que, segundo a Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012, necessitam de recomposição de vegetação em caso de supressão, Reservas Legais, que, ainda segundo a Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012, necessitam de aprovação dos órgãos integrantes do Sisnama para manejo, e, por fim, área de rios e cursos d’água, que tornariam a implantação de sítios aeroportuários mais complicada por necessitar desvio ou transposição.

Os dados geográficos utilizados para o auxílio da metodologia MESA se vinculam com os dois tipos de critérios para o ranqueamento de potenciais sítios aeroportuários: critérios eliminatórios; e critérios classificatórios. Os **critérios eliminatórios** têm como objetivo excluir áreas desfavoráveis à implantação de sítios aeroportuários e, assim, diminuir a área de busca do

estudo. Os **critérios classificatórios**, por sua vez, são utilizados para o ranqueamento dos sítios potenciais quanto à sua favorabilidade. Tal ranqueamento baseia-se em um **método multicritério** de auxílio à decisão chamado de *Analytic Hierarchy Process* (AHP). O **método AHP** se dá em duas fases: (i) definição do peso relativo dos critérios classificatórios, através de comparações pareadas; e (ii) comparação relativa das alternativas estudadas com relação a cada critério. Na metodologia MESA um grupo de especialistas é consultado para a definição dos **pesos de cada critério** classificatório. Já a **comparação relativa das alternativas** para cada critério se dá pelo emprego de **métricas objetivas**. Tal funcionamento vem de encontro à diretriz principal da metodologia, qual seja conferir objetividade ao processo de seleção de sítios aeroportuários. O fluxograma do processo é apresentado na FIGURA 1.2.



FIGURA 1.2 – Fluxograma para ranqueamento através do AHP (Fonte: ITA (2019a))

O aprimoramento da metodologia para escolha de novos sítios aeroportuários vem sendo realizado por meio da resolução de casos reais. Até a publicação desse trabalho de graduação, ela foi aplicada às regiões de Francisco Beltrão/PR, Maragogi/AL e Conde/BA.

Como contribuição para a metodologia MESA, este trabalho apresenta uma sistematização do processo de **exclusão de áreas** associada à aplicação dos critérios eliminatórios.

A segunda contribuição deste trabalho à metodologia MESA consiste no processamento de dados para a **extração de métricas objetivas para os critérios classificatórios** da metodologia, a seguir elencados:

- Distância do centro geométrico do sítio potencial até o centro gerador de demanda (CGD) da região via rodovias federais ou estaduais, definido com DIS;

- Distância do centro geométrico do sítio potencial até a rodovia federal ou estadual mais próxima, definido como ACE;
- Distância do centro geométrico do sítio potencial até a linha de média ou baixa tensão mais próxima, definido como DIP;
- Estimativa de movimentação de terra (corte e aterro) para terraplenagem do sítio potencial, definido como TopVol;
- Número de edificações inseridas na curva de 65 dB, segundo o PBZR previsto no RBAC 161 da Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC, 2017a), definido como RUI;
- Média aritmética da maior penetração do solo segundo ensaio *Dynamic Cone Penetrometer* (DCP) até 3 metros de profundidade para três pontos do sítio potencial (próximo de cada cabeceira e do ponto central da pista), definido como GEO.

O presente trabalho abrange o auxílio no cálculo de DIS, ACE, DIP e TopVol. Não foram estudados RUI e GEO por estes serem extremamente dependente da visita de campo para sua determinação.

1.2 Objetivos

O objetivo geral deste trabalho é contribuir para o desenvolvimento da metodologia de escolha de sítios aeroportuários via sistematização do processo de cálculo de métricas de critérios classificatórios. Os objetivos específicos incluem:

- Verificação e correção da topologia de dados georreferenciados utilizados para a aplicação da metodologia MESA;
- Eliminação de áreas definidas pelos critérios eliminatórios do mapa topográfico para auxílio visual na etapa de escolha dos sítios candidatos de uma região;
- Estabelecimento da abordagem de medição dos critérios classificatórios DIP, DIS, ACE e TopVol;
- Medição dos critérios classificatórios DIP, DIS e ACE a partir dos mapas de valores gerados para esses três critérios;
- Medição do critério classificatório TopVol por método que define um plano horizontal que corte a superfície do terreno de forma a equilibrar a movimentação de terra.

- Sugestão de melhoria na metodologia de medição do TopVol através de método de procura de plano de corte não necessariamente horizontal que resulte em menores valores de movimentação de terra.

1.3 Estrutura do Trabalho

Este trabalho divide-se em 4 (quatro) capítulos, como segue:

- Revisão Bibliográfica: o capítulo se divide em 3(três) tópicos, sendo: (i) apresentação da metodologia MESA baseando-se nos relatórios desenvolvidos pela equipe ITA durante o projeto MESA, (ii) levantamento de literatura existente sobre escolha uso de geoinformação para auxílio na escolha de sítios aeroportuários e (iii) introdução de métodos utilizados em terraplenagem para fundamentar metodologia de medição do critério classificatório TopVol;
- Metodologia: este capítulo é dedicado a apresentação da metodologia desenvolvida para criação de mapas de distância de um ponto até a rodovia mais próxima, de distância de um ponto até o CGD de uma região através de rodovias e distância de um ponto até rede elétrica de média ou alta tensão mais próxima. Além do método para criação destes mapas, é apresentado neste capítulo método para medição de TopVol através definição de plano de corte horizontal.
- Resultados: capítulo voltado para apresentação dos mapas gerados e dos valores de TopVol.
- Conclusões e Recomendações: capítulo dedicado as conclusões do estudo, mostrando os limites dos métodos desenvolvidos e ressaltando a possibilidade de aplicação dos métodos desenvolvidos em mais casos para sua validação.

2 Revisão Bibliográfica

Os itens deste capítulo apresentam os conceitos básicos utilizados no presente estudo, assim como a contextualização da metodologia MESA e de cada critério, classificatório e eliminatório, definido no projeto. A análise da literatura existente sobre o assunto foi feita para observar possíveis semelhanças da metodologia MESA com outras metodologias existentes. Por fim, métodos presentes na literatura para cálculo de corte e aterro em terraplenagem foram analisados para utilização na medição da métrica de TopVol.

2.1 Metodologia MESA

Sendo o objeto principal do presente estudo, a metodologia MESA foi desenvolvida por equipe do ITA e apresentada em relatórios metodológicos e de aplicação. Estes foram entregues para SAC e utilizados para a determinação de sítios aeroportuários na região de Francisco Beltrão/Pato Branco no Paraná. Os critérios classificatórios e eliminatórios analisados no presente estudo são apresentados no item 1.2.

2.1.1 Critérios Eliminatórios e Classificatórios

ITA (2019a) define os critérios eliminatórios para a metodologia MESA analisando a literatura do assunto e determinando quais critérios mais estão presentes na literatura. Foram analisados no levantamento um total de 10 trabalhos. Destes 10 trabalhos, 24 critérios para escolha de sítios aeroportuários foram identificados. Foi analisada, então, a frequência desses critérios na literatura para escolher quais critérios seriam empregados na metodologia MESA.

Após a apuração da frequência de cada critério na literatura, para fins de simplificação e correção, certos critérios foram agrupados ou descartados: (i) acessibilidade via transporte público e acessibilidade por vias foram agrupados em um único critério definido como ACE, (ii) critérios referentes a custos de implantação foram unificados com o critério de geologia, uma vez que os custos de implantação do aeroporto estão diretamente relacionados com a qualidade geológica do terreno, e (iii) os critérios de desenvolvimento social e desenvolvimento econômico foram descartados, uma vez que para uma mesma região de busca esperasse que os resultados sejam os mesmos.

Tendo sobrado 19 critérios para seleção, foram escolhidos os critérios que não envolvessem despesas de aquisição de terra e que ocorressem na literatura em mais de 50% das vezes. Na FIGURA 2.1 é apresentado um fluxograma do processo de redução da área de busca a partir dos critérios eliminatórios.

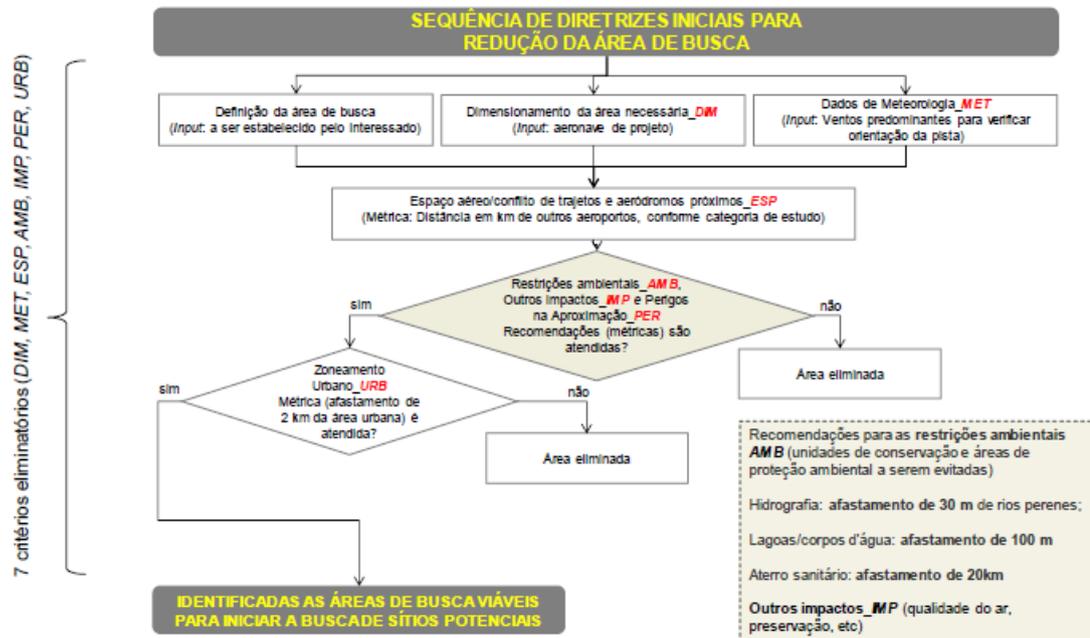


FIGURA 2.1 – Fluxograma para redução da área de busca (Fonte: ITA (2019a))

O **processo de prospecção de sítios** parte de uma **área de busca** inicial que é reduzida com base em **critérios eliminatórios**. Nas áreas viáveis, sítios são **identificados** e novamente avaliados quanto a critérios eliminatórios mais específicos, que dependem da definição de um sítio para serem avaliados.

Os sítios viáveis são então **ranqueados** via técnica AHP composta por julgamentos, no que tange ao **peso dos critérios** classificatórios. Já as alternativas são comparadas de forma objetiva, pelo emprego de **métricas objetivas**.

Para a análise feita no presente estudo, foram considerados os critérios eliminatórios e classificatórios que fossem possíveis de análise por geoinformação, que são os que seguem:

- AMB: Se refere a áreas de mata e cursos d'água protegidos e que impossibilitem a implantação do sítio. Áreas de até 20 km para um aterro sanitário são proibidas de ter um aeroporto, como institui a Lei 12.725/2012 do Governo Federal. Essas também estão inclusas nesse item;

- ACE: Corresponde a distância em linha reta, a partir do centro geométrico do sítio, até a rodovia mais próxima;
- DIS: Corresponde a distância em linha reta, a partir do centro geométrico do sítio, até a rodovia mais próxima somado com a distância do ponto onde esta reta encontra a rodovia até o CGD através de rodovias;
- DIP: Corresponde a distância em linha reta, a partir do centro geométrico do sítio, até a linha de média ou baixa tensão mais próxima;
- TOPvol: Corresponde ao volume de corte ou aterro necessário para implantação da obra.

2.2 Métodos para Definição de Volume de Corte e Aterro

O Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte (DNIT, 2009) define que para determinação de volume de corte e aterro deve-se utilizar o método da “média de áreas”. Ainda é colocado que é necessário que o levantamento topográfico seja feito com a devida precisão para o cálculo. Este método se torna eficaz para projetos executivos pois é nessa fase em que dados topográficos mais precisos são obtidos.

O Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE, 1998) apresenta como a modelagem numérica de terreno é feita e quais são suas aplicações. A estimativa do volume de terraplenagem pode ser feita a partir de um plano horizontal no terreno, como mostra a FIGURA 2.2, ou pode ser adotado um plano inclinado para buscar melhores valores de volume, como mostra a FIGURA 2.3.

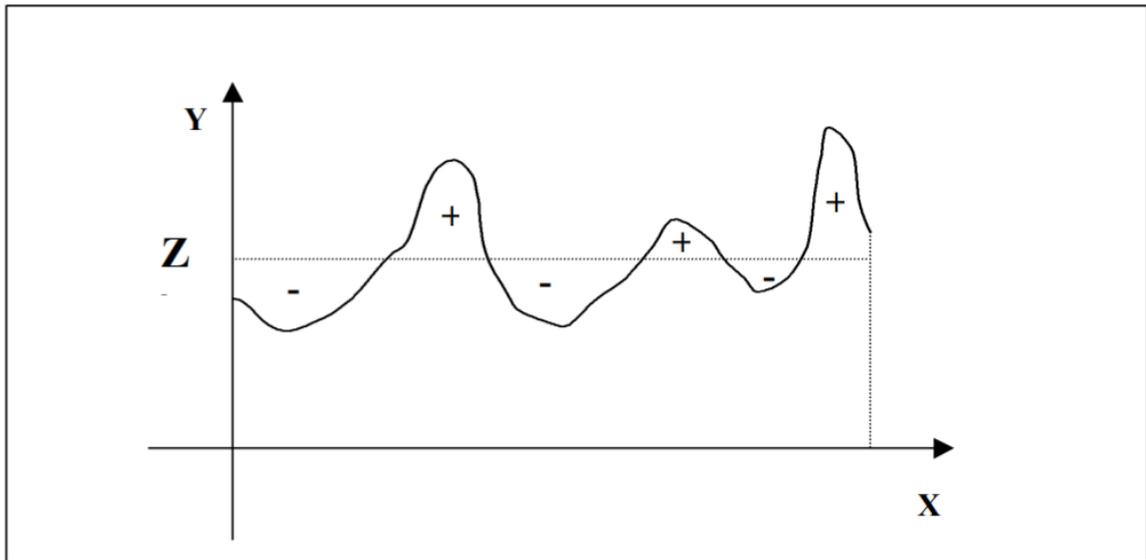


FIGURA 2.2 – Perfil de um terreno com plano horizontal (corte representado por (+) e aterro representado por (-)) (Fonte: (INPE, 1998))

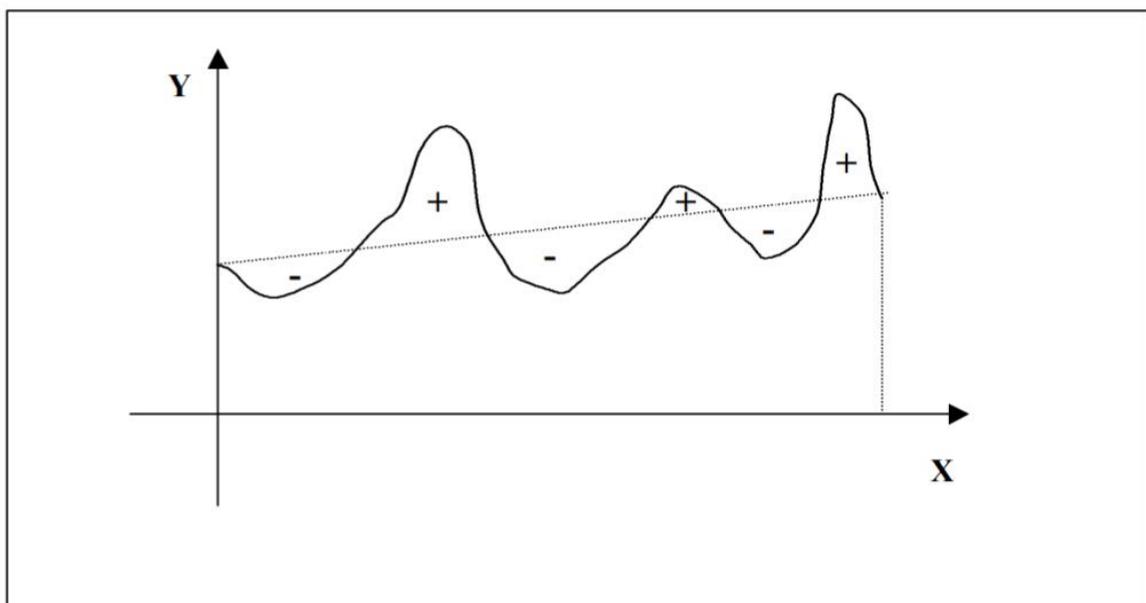


FIGURA 2.3 - Perfil de um terreno com plano inclinado (corte representado por (+) e aterro representado por (-)) (Fonte: (INPE, 1998))

O modelo do terreno pode ser analisado de duas formas: (i) transformação do dado *raster* topográfico em uma superfície por triangulação de Delaunay ou (ii) utilização do modelo topográfico em *raster*. Para o presente trabalho, optou-se pela adoção do modelo topográfico

em *raster* pela maior facilidade de manipulação e menores tempos de processamento computacional para os cálculos efetivados.

2.3 Estudos Sobre Escolha de Sítios Aeroportuários

O método de escolha de sítios aeroportuários pode ter diversas abordagens. Segundo o anexo 14 da *International Civil Aviation Organization - ICAO* (2018b), fatores como o uso da terra, perspectiva de aumento do comprimento de pista de pouso e decolagem e proximidade de outros aeródromos, podem ser utilizados para determinação do local de implantação de uma pista de pouso e decolagem. Uma vez que a legislação internacional para aeroportos não define uma metodologia para escolha de sítios aeroportuário, o que se percebe é que metodologias para escolha de sítios aeroportuários são criadas buscando utilizar-se das recomendações fornecidas pela ICAO.

Oliveira (2018) utiliza-se da análise SIG e do método de auxílio a decisão AHP para estudar as melhores localidades para implantação de um aeroporto na região de Joinville e Blumenau, em Santa Catarina. Alguns dos critérios por ele empregado estão presentes na metodologia MESA. No entanto, a forma como alguns desses critérios são abordados são diferentes. Ao invés de utilizar um critério de distância até o sítio aeroportuário através de rodovias, Oliveira (2018) emprega um fator de atratividade para o aeroporto. Este fator é determinado pela distância até os aeroportos da região, sendo que quanto maior a distância para esses aeroportos, maior a atratividade. Esta forma de analisar a região é efetiva para evitar restrições no espaço aéreo e evitar competitividade entre os aeroportos. Todavia, falta como os passageiros chegarão até o sítio que está sendo implantado. Ou seja, a distância por rodovias, seja através de carro ou transporte público, que os passageiros terão que percorrer para chegar até o aeroporto.

A utilização de critérios para seleção de áreas está presente em outros tipos de obras da construção civil. Apesar do tipo de obra ser diferente da que está sendo analisada no presente estudo, existem pontos em comuns que podem ser analisados. Ayodele (2018) utiliza critérios para avaliação de localidades de usinas eólicas que se assemelham a alguns critérios empregados na metodologia MESA. É empregado distância para rodovias, por exemplo, como critério para escolha da área de construção da usina eólica. As métricas deste e dos demais critérios por ele empregado é diferente da métrica utilizada na metodologia MESA. Ayodele (2018) define intervalos de valores para seus critérios e dá um peso de favorabilidade para cada

faixa adotada. Apesar de diferente das métricas da metodologia MESA, a adoção de faixas de valores não deixa de ser uma forma válida de análise, uma vez que é esperado que áreas em uma mesma faixa de valores não terão grandes diferenças de favorabilidade.

Baskurt (2018), Kim (2018) e ŞENER (2010) trazem tratamentos similares para os critérios adotados. Ao utilizar faixas de valores para os critérios a análise pode se tornar mais rápida de ser feita, uma vez que as áreas com os melhores valores dos critérios estão bem delimitadas quando se confecciona os mapas. No entanto, o presente estudo optou por fazer a análise com valores contínuos para que fosse possível a fácil determinação da métrica dos sítios potenciais de uma região. O que difere dos estudos citados pois, nestes, o objetivo é gerar um mapa de favorabilidade para posterior seleção de sítios candidatos.

3 Metodologia

A metodologia empregada para a medição da DIP (Disponibilidade de Serviços de Utilidade Pública), DIS (Distância Acumulada do Centro Geométrico do Sítio até o Centro Gerados de Demanda), ACE (Distância até a Rodovia Mais Próxima) e TopVol (Volume de corte ou aterro) utiliza-se do processamento de dados georreferenciados em ambiente SIG. A finalidade do método, para DIP, DIS e ACE, é gerar mapas *raster* que forneçam facilmente a medida do critério classificatório em questão através da verificação do valor do *pixel* no qual o centroide do sítio que está sendo analisado se encontra. Para TopVol, a metodologia tem a finalidade de fazer a medição do valor do seu valor para cada sítio potencial definido para região.

3.1 Sistema de coordenadas e topologia dos dados

Um primeiro passo antes da utilização de um dado vetorial ou matricial georreferenciado é a verificação do sistema de coordenadas de cada um. Define-se um sistema de coordenadas de projeto que será utilizado para uma região de estudo e mudanças de coordenadas são feitas para os dados que não estão no mesmo sistema de coordenada de projeto definido. Para o caso estudado no presente trabalho, foi considerado a projeção Universal Transversa de Mercator (UTM). Para o caso analisado no presente trabalho, utilizou-se o *Datum* WGS 84, Fuso 22S.

Com a conversão para o sistema UTM, tem-se conveniência de trabalhar em um sistema cartesiano de coordenadas. Como o sistema tem abrangência de 6°, o projeto tende a ser comportado em um único conjunto de coordenadas. Recomenda-se cautela, no entanto em casos de fronteira entre fusos e entre hemisférios. Para regiões maiores que as abrangidas em uma mesma faixa do sistema UTM, recomenda-se a adoção de um sistema de coordenadas menos restritivo, como o EPSG (*European Petroleum Survey Group*) 4326, que, apesar de maiores erros para distância, fornece um *Datum* global onde se pode trabalhar os dados.

Com todos os dados em um mesmo sistema de coordenadas, a verificação da topologia dos dados é feita e todos os dados com erros topológicos passam por correção ou eliminação, caso o dado esteja inutilizável para fins de geoprocessamento.

3.2 Definição de Área de Busca

Para definição da área de busca, um ou mais CGDs (Centros Geradores de Demanda) são definidos e circunferências são traçadas com cada CGD escolhido servindo como centro dessas circunferências. A área de busca é então definida como a área da circunferência criada, para 1 (um) único CGD, ou a interseção das áreas das circunferências criadas, para mais de 1 (um) CGD. A FIGURA 3.1 apresenta um desenho simplificado de exemplo de região com 3 (três) CGDs. Neste caso, a área de busca será a área com a tonalidade de vermelho mais escura.

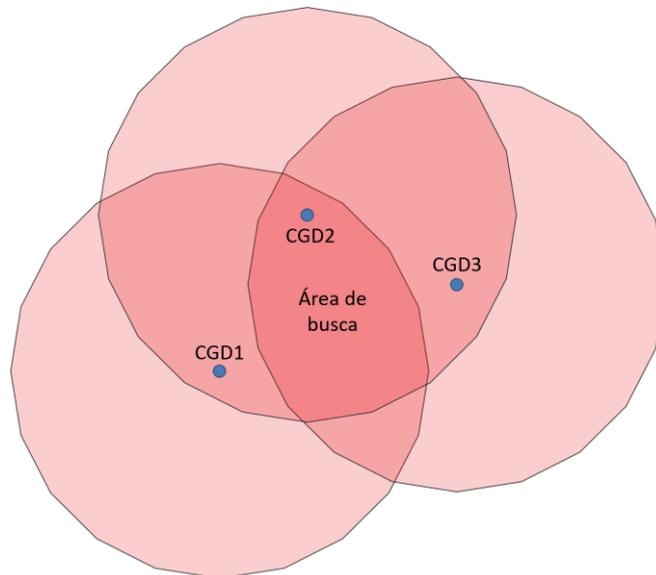


FIGURA 3.1 – Exemplo de área de busca

Para os casos estudados durante o projeto MESA, o CGD ficou definido como sendo a igreja matriz das cidades. Os raios das circunferências dependem de projeto definidas previamente ao processo de prospecção. Em aeroportos regionais, é comum que o raio de busca seja da ordem de 30km.

3.3 Eliminação de Áreas Inviáveis Definidas pelos Critérios Eliminatórios

O processo de eliminação das áreas inviáveis se dá pelo recorte do *raster* de topografia utilizando os dados vetoriais de polígonos que representam as áreas dos critérios eliminatórios. A finalidade é gerar um *raster* de topografia que não tenha valores para locais eliminados pelos critérios eliminatórios, facilitando a etapa de escolha dos sítios potenciais. Os recortes são feitos

através da conversão dos dados vetoriais dos critérios eliminatórios em *raster* que tenham o valor ‘no data’ nos locais onde os polígonos dos dados vetoriais estão presentes, e que tenha valor de 1 (um) para os demais *pixels*. Esse processo inverte onde há e onde não há valores para que o *raster* gerado possa ser multiplicado pelo *raster* de topografia e assim não haja valores topográficos nas regiões definidas pelos critérios eliminatórios. Na FIGURA 3.2 é apresentado um esquema de como a conversão ocorre.

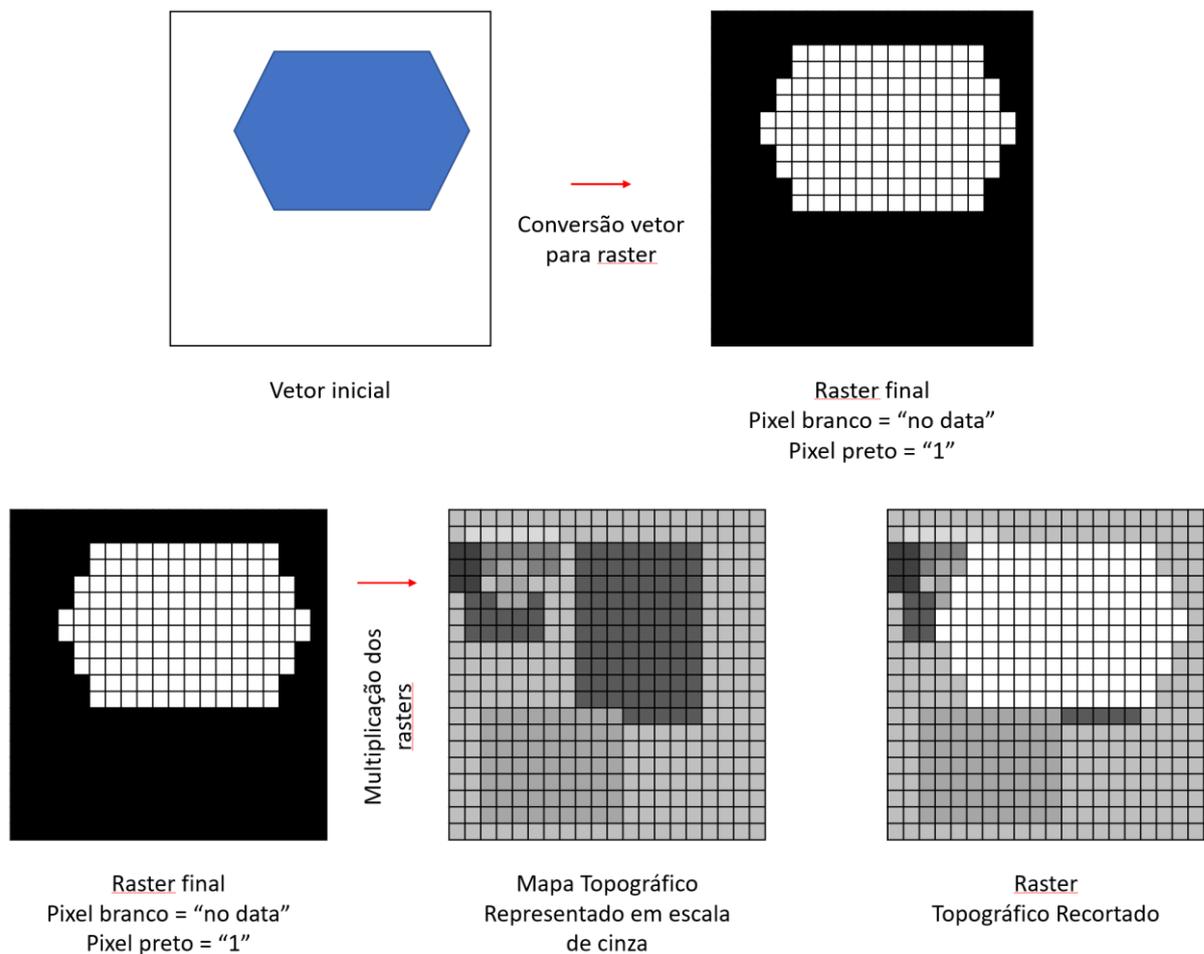


FIGURA 3.2 – Esquema de conversão em *raster* e recorte do mapa topográfico

O mapa topográfico utilizado para este estudo de caso foi baixado do *site* do TOPODATA¹, que fornece dados topográficos para todo Brasil feitos a partir dos dados disponibilizados pela Missão Topográfica Radar Shuttle (STRM), que utilizou Radares de Abertura Sintética (SAR) para adquirir dados de altimetria estereoscópica da terra.

¹ <http://www.webmapit.com.br/inpe/topodata/>, acessado em 14/11/2019

No contexto do projeto MESA, os dados vetoriais que foram utilizados como critérios eliminatórios foram:

a) Áreas de Preservação Permanente (APP)

Sobre o regime de proteção das APP, a Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012, define que:

Área de Preservação Permanente (APP): área protegida, coberta ou não por vegetação nativa, com a função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica e a biodiversidade, facilitar o fluxo gênico de fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem-estar das populações humanas;

(...)

Art. 7º A vegetação situada em Área de Preservação Permanente deverá ser mantida pelo proprietário da área, possuidor ou ocupante a qualquer título, pessoa física ou jurídica, de direito público ou privado.

(...)

§ 1º Tendo ocorrido supressão de vegetação situada em Área de Preservação Permanente, o proprietário da área, possuidor ou ocupante a qualquer título é obrigado a promover a recomposição da vegetação, ressalvados os usos autorizados previstos nesta Lei.

Visando evitar custos com atividades de mitigação e recuperação, e evitar a implantação do sítio em locais com cursos d'água, o que poderia trazer riscos de alagamento, definiu-se que Áreas de Preservação Permanente seriam critério eliminatório.

b) Reserva Legal

Sobre o regime de proteção das Reservas Legais Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012, define que:

Art. 17. A Reserva Legal deve ser conservada com cobertura de vegetação nativa pelo proprietário do imóvel rural, possuidor ou ocupante a qualquer título, pessoa física ou jurídica, de direito público ou privado.

(...)

§ 1º Admite-se a exploração econômica da Reserva Legal mediante manejo sustentável, previamente aprovado pelo órgão competente do Sisnama, de acordo com as modalidades previstas no art. 20.

Manter o manejo sustentável de uma área dentro de um aeroporto pode se tornar algo inviável ou muito custoso para a administração de um aeroporto. Sendo assim, considerou-se que Reservas Legais seriam critério eliminatório.

Os dados georreferenciados das APPs e das Reservas legais foram obtidos no *site* do Cadastro Ambiental Rural² (CAR). Apesar do CAR apresentar dados importantes sobre áreas de proteção e hidrografia local, o dado se mostrou de difícil manuseio. Foi necessário a correção topológica dos dados e alguns polígonos se mostraram inutilizáveis por terem áreas muito pequenas ou por não representarem o que o dado de fato é (linhas em dados vetoriais de polígonos, por exemplo).

c) Rodovias

Para os dados de estradas, foram consideradas as rodovias estaduais e federais da região como critérios eliminatórios. Evita-se, assim, que o sítio seja implantado em uma localidade que demandaria custos desnecessários de demolição e construção de desvios das rodovias citadas.

Os dados das rodovias federais foram retirados do *site* Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes³ (DNIT), enquanto os dados das rodovias estaduais foram obtidos no *site* do Ministério da Infraestrutura⁴.

Os dados utilizados são originalmente vetores de linhas. Para a remoção da área das rodovias do mapa topográfico, foi necessário a criação de um *buffer* que transformasse os dados de linhas em polígonos. Foram considerados 30 m de distância para o *buffer*, o que garante que toda a estrada está sendo considerada e que a faixa de domínio da rodovia está sendo considerada no recorte.

A faixa de domínio de uma rodovia se dá conforme Lei nº 6.766, de 19 de dezembro de 1979, define que:

² <http://www.car.gov.br/#/>, acessado em 14/11/2019.

³ <http://www.dnit.gov.br/mapas-multimodais/shapefiles>, acessado em 14/11/2019.

⁴ <http://transportes.gov.br/bit/63-bit/5124-bittemas.html>, acessado em 14/11/2019.

Art. 17. Os loteamentos deverão atender, pelo menos, aos seguintes requisitos:

(...)

ao longo das águas correntes e dormentes e das faixas de domínio público das rodovias e ferrovias, será obrigatória a reserva de uma faixa não-edificável de 15 (quinze) metros de cada lado, salvo maiores exigências da legislação específica;

d) Rios e cursos d'água

Visando evitar obras de transposição ou aterramento, também foram considerados como critério eliminatório os rios e cursos d'água que pudessem ser identificados por dados geográficos vetoriais. Os dados hidrográficos são obtidos através do CAR, parte são dados vetoriais de polígonos e parte em linhas.

Para as linhas, o mesmo processo de criação de *buffer* utilizado em rodovias foi feito. Foi considerado um *buffer* de 30 m para essas linhas, mas recomenda-se que dados mais precisos com as larguras reais desses rios sejam utilizados.

e) Dutovias e linhas de transmissão

Com o intuito de evitar áreas que já tenham algum tipo de infraestrutura construída, foi considerada a malha dutoviária assim como os dados de linhas de transmissão de alta e média tensão. Os dados da malha dutoviária brasileira foram obtidos no *site* do Ministério da Infraestrutura⁵, enquanto os dados de linhas de transmissão foram obtidos no *site* da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL)⁶.

O mesmo processo de criação de *buffer* utilizado em rodovias foi utilizado para os dados de dutovias e linhas de transmissão. Foi utilizado um *buffer* de 30 m para essas linhas visando respeitar a faixa de passagem das linhas de transmissão e faixa de servidão das dutovias.

A faixa de passagem de uma linha de transmissão dependerá da tensão desta e deve ser determinado durante projeto. Alguns valores de referência seguem na TABELA 3.1.

⁵ <http://transportes.gov.br/bit/63-bit/5124-bittemas.html>, acessado em 14/11/2019.

⁶ <https://sigel.aneel.gov.br/portal/home/>, acessado em 14/11/2019

TABELA : LARGURA DA FAIXA DE PASSAGEM	
TENSÃO NOMINAL ENTRE FASES (kVef)	LARGURA TOTAL(metros)
69	20
88	30
138	30

TABELA 3.1 – Valores para faixa de passagem de linhas de transmissão (Fonte: ELEKTRO (2013))

Para dutovias, o Decreto Federa de 28/08/1996 estabelece uma faixa de terreno de 20 m que garante a proteção desses dutos.

Um mapa final com o *raster* topográfico recortado e um painel com o processo de recorte é apresentado no item 4.1.

3.4 Escolha de Sítios Potenciais

Após a criação dos mapas com as áreas eliminadas, os mapas eram apresentados à equipe ITA para análise da região e escolha se sítios potenciais para avaliação. Para a escolha dos sítios potenciais, buscava-se escolher regiões com declividades reduzidas e que não tivessem locais com grandes variações de altitude em seu interior e entorno. Assim, espera-se reduzir os valores de TopVol dos sítios potenciais e respeitar o Plano Básico de Zona de Proteção de Aeródromos (PBZPA) definido pela portaria nº 957/GC3, de 09 de julho de 2015.

O presente trabalho não se estende à análise dos PBZPA dos sítios potenciais. O ITA (2019b) apresenta um estudo das superfícies de proteção dos aeroportos selecionados nessa etapa da metodologia.

Foi utilizado, para determinação do TopVol, os dados vetoriais de polígonos gerados para cada sítio potencial. Esses polígonos possuem as dimensões que a equipe ITA calculou necessárias para o sítio que seria implantado na região, e estava localizado segundo o processo de escolha descrito neste item. O ITA (2019a) apresenta o processo de dimensionamento das dimensões de sítio aeroportuário para uma dada região. Este processo depende de fatores como: Aeronave de projeto, Direção predominante dos ventos e altitude média da região de busca.

3.5 Confecção de Mapas para Critérios Classificatórios DIS, ACE e DIP

Para a confecção dos mapas dos critérios classificatórios de ACE, foram utilizados os dados de rodovias, federais e estaduais, e os dados de linha de transmissão obtidos conforme item 3.3. Os itens 3.5.1, 3.5.2 e 3.5.3 são dedicados à explicação da metodologia empregada para criação dos mapas dos critérios classificatórios DIP, DIS e ACE, respectivamente. Os mapas gerados são apresentados no item 4.2. Nos mapas apresentados no item 4 já estão desconsideradas as áreas consideradas como critérios eliminatórios.

Após a criação dos mapas, os valores de cada critério classificatório são tirados para os sítios potenciais checando-se o valor do *pixel* do *raster* de DIP, DIS e ACE no centroide de cada sítio.

3.5.1 DIP

Para a confecção do mapa que apresenta os valores de DIP para uma dada região, os dados vetoriais das linhas de transmissão foram convertidos em *raster*. Esta conversão é feita de forma que os locais onde o vetor de linha está presente é representado por um *pixel* de valor 1 (um) no *raster* de conversão, enquanto os locais onde os dados vetoriais não estão presentes são representados como ‘no data’ no raster de conversão. Na FIGURA 3.3 é apresentada uma ilustração didática do processo de conversão.

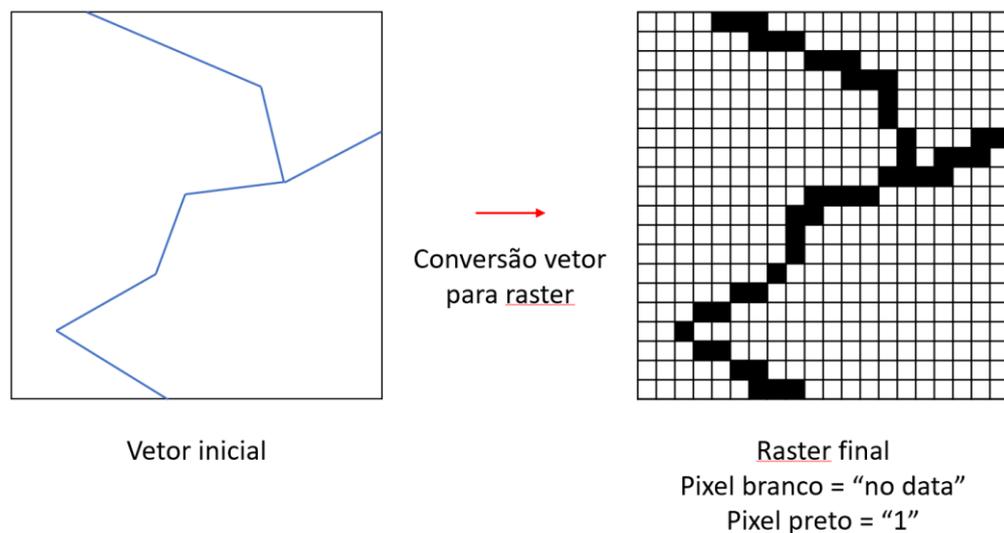


FIGURA 3.3 – Conversão de vetor para *raster*

Após a conversão do vetor para *raster* é utilizada uma *distância raster* para confecção do *raster* final que representará DIP. A *distância raster* é uma função que determina a menor distância do centroide de cada *pixel* 'no data' em um *raster* até um *pixel* que tenha alguma valor nesse mesmo *raster*. Para criação desse *raster* foi utilizado o *software* QGIS com a função e seus parâmetros conforme é apresentado na FIGURA 3.4.

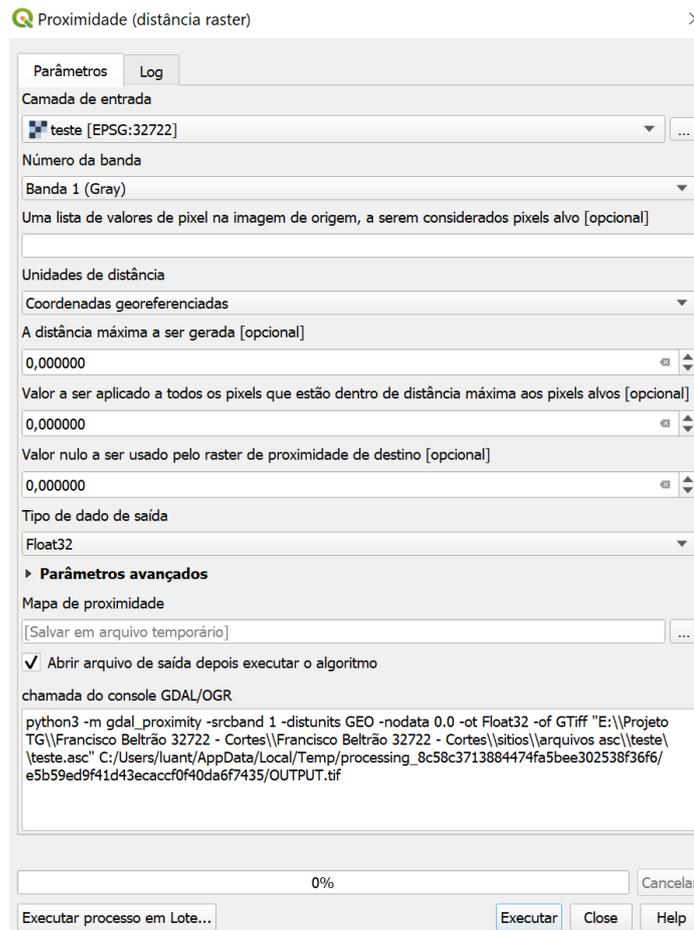


FIGURA 3.4 – Função distância *raster* (Fonte: QGIS)

Para DIP, é esperado que menores valores sejam melhores, pois isso implica em menores custos para construção da ligação de energia do aeroporto até a linha de transmissão mais próxima.

3.5.2 DIS

O processo para confecção do mapa de DIS começa pela união dos dados de rodovias federais e estaduais para geração de um único dado vetorial que representará a malha rodoviária

da região. Além da malha rodoviária, os pontos CGD definidos no item 3.2 também são utilizados para confecção do mapa de DIS.

Com a malha rodoviária e os pontos de partida definidos, é utilizado a função de criação de *iso-areas as interpolation (from Layer)*. Esta função cria um *raster* que tem o valor de cada *pixel* igual a distância do centroide do *pixel* em questão até um ponto específico através de uma malha de linhas. Para o ponto específico foi utilizado os CGD da região e para a malha de linhas foi utilizado a malha rodoviária gerada. Na FIGURA 3.5 é apresentado um esquema e explicação de como o *raster de iso-areas as interpolation (from Layer)* é gerado.

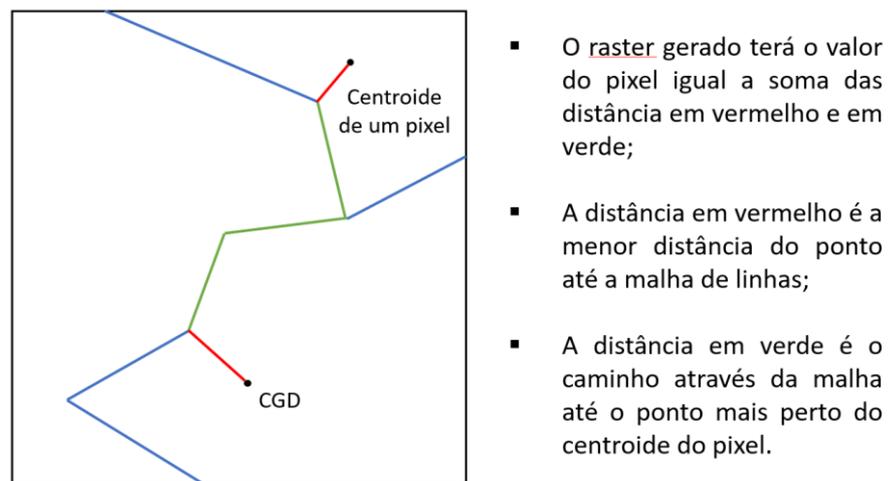


FIGURA 3.5 – Processo de criação do *raster de iso-areas* a partir de uma malha de linhas e um ponto de partida

Este processo de criação é repetido para todos os CGD presentes na região. Os *rasters* gerados passam por um processo de comparação dos valores de cada *pixel* na mesma localidade e um *raster* final é confeccionado com os maiores valores dessa comparação. O dado *raster* final representa a maior distância até um dos CGD da região através da malha rodoviária adotada.

Essas *iso-areas* são criadas a partir do *plugin Qgis Network Analysis Toolbox (QNEAT)* do *software QGIS*. Na FIGURA 3.6 é apresentado a ferramenta e os parâmetros adotados.

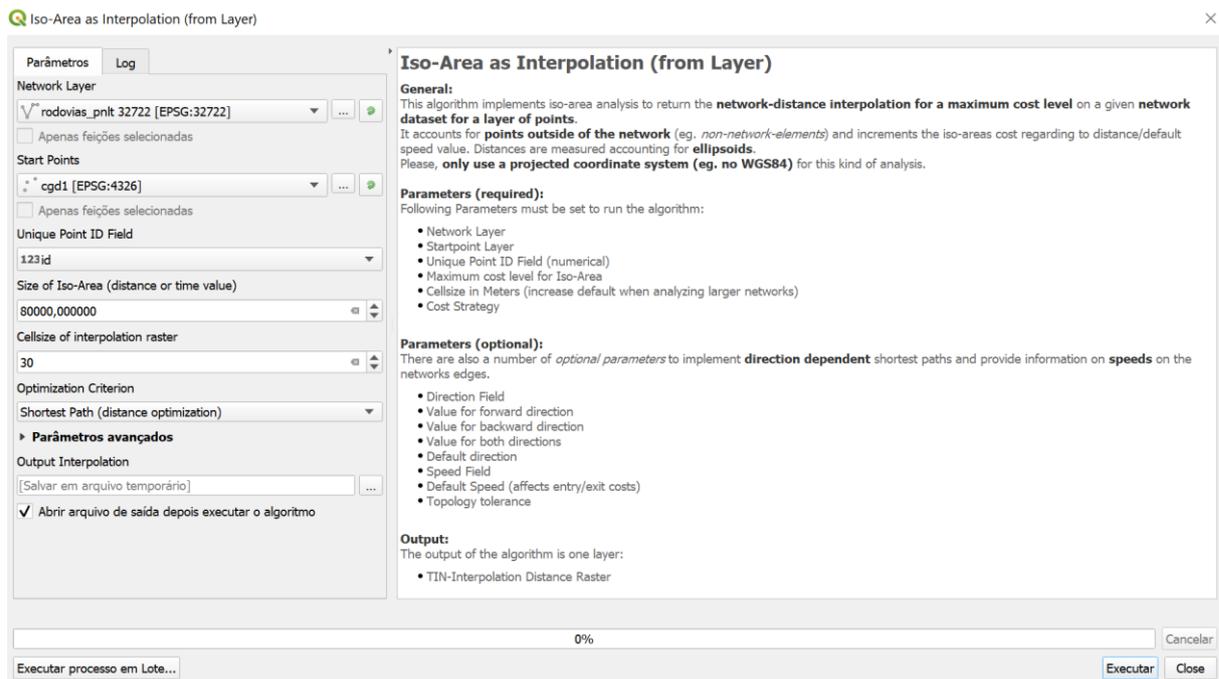


FIGURA 3.6 – Ferramenta QNEAT do QGIS (Fonte: QGIS)

3.5.3 ACE

Para a confecção do *raster* de ACE o processo é análogo ao utilizado para DIP, como foi abordado no item 3.5.1. A diferença do processo é que, ao invés de se usar o dado de linhas de transmissão, foi utilizado o dado da malha rodoviárias. O procedimento de criação do dado da malha rodoviária é contemplado no item 3.5.2.

3.6 Estimativa de TopVol para Sítios Potenciais

A estimativa de movimentação de terra foi definida por ITA (2019a) como sendo o volume de corte e aterro do sítio potencial. Para o processo de cálculo desses volumes, a equipe ITA definiu a adoção de uma superfície horizontal de altitude igual à média dos valores de altitude do sítio potencial. Dessa forma seria garantido o equilíbrio entre corte e aterro da região e o valor de TopVol seria medido como o volume de corte da região, que seria igual ao volume de aterro. Na FIGURA 3.7 é apresentado como a superfície de corte de um sítio potencial o divide. As linhas brancas representam as bordas do sítio potencial, as linhas vermelhas são as projeções das linhas branca no terreno, e as regiões em verde são os locais de aterro.



FIGURA 3.7 – Superfície de corte de um sítio potencial (Imagem: Google Earth)

Para a determinação dos volumes de corte da região, o processo começa pelo recorte do mapa topográfico, definido no item 3.3, com a camada de máscara sendo o polígono do sítio potencial, determinado conforme o item 3.4. Este processo gera um *raster* com os valores de altimetria do sítio potencial. Este *raster* é convertido em um arquivo ASCII por processo de conversão de formato. Este arquivo é então aberto em um programa de tabulação de dados que converte o *raster* em uma matriz com os valores de altitude do sítio. O valor da altitude média do sítio é calculado pela média dos valores da matriz gerada. A altitude média calculada é utilizada como o valor das células de uma matriz com o mesmo número de linhas e colunas da matriz do sítio potencial. Com a matriz de altimetria do sítio e a matriz de altitude média, uma terceira matriz é criada conforme a Equação (1).

$$A = \frac{|B - C|}{2} \quad (1)$$

Em que:

A é a matriz de altitude de corte ou aterro;

B é a matriz de altimetria do sítio potencial;

C é a matriz de altitude média.

É calculado, então, a soma de todos os termos da matriz A e este somatório é multiplicado pela área do *pixel* do mapa topográfico que está sendo utilizado. Este valor corresponderá ao total de volume de corte e aterro que, dividido por 2 (dois), será o valor final de TopVol para o sítio potencial. Os resultados para TopVol são apresentados no item 4.2.

No Apêndice A é proposto um método alternativo para o cálculo de TopVol. O método proposto utiliza busca enumerativa para determinação de uma superfície de corte mais refinada.

4 Resultados

O primeiro caso fornecido pela SAC para equipe ITA aplicar a metodologia MESA foi o das cidades de Francisco Beltrão e Pato Branco, localizadas no sudoeste do Paraná. São aqui apresentados os resultados obtidos da aplicação dos critérios eliminatórios, manifestados em mapas recortados, e critérios classificatórios, representados por métricas de DIP (Disponibilidade de Serviços de Utilidade Pública), DIS (Distância Acumulada do Centro Geométrico do Sítio até o Centro Gerados de Demanda), ACE (Distância até a Rodovia Mais Próxima) e TopVol (Volume de corte ou aterro).

4.1 Critérios Eliminatórios

Neste item são apresentados o mapa dos critérios eliminatórios para o caso de Francisco Beltrão e as etapas dos recortes que geraram o mapa final.

4.1.1 Caso de Francisco Beltrão/Pato Branco

Para demonstrar as etapas dos recortes do mapa topográfico, Na FIGURA 4.1, FIGURA 4.2 e FIGURA 4.3 são apresentados um antes e depois do recorte dos critérios eliminatórios em locais dentro da região de busca. O intuito dessas imagens é demonstrar como a metodologia foi aplicada e como os dados foram sequencialmente recortados.

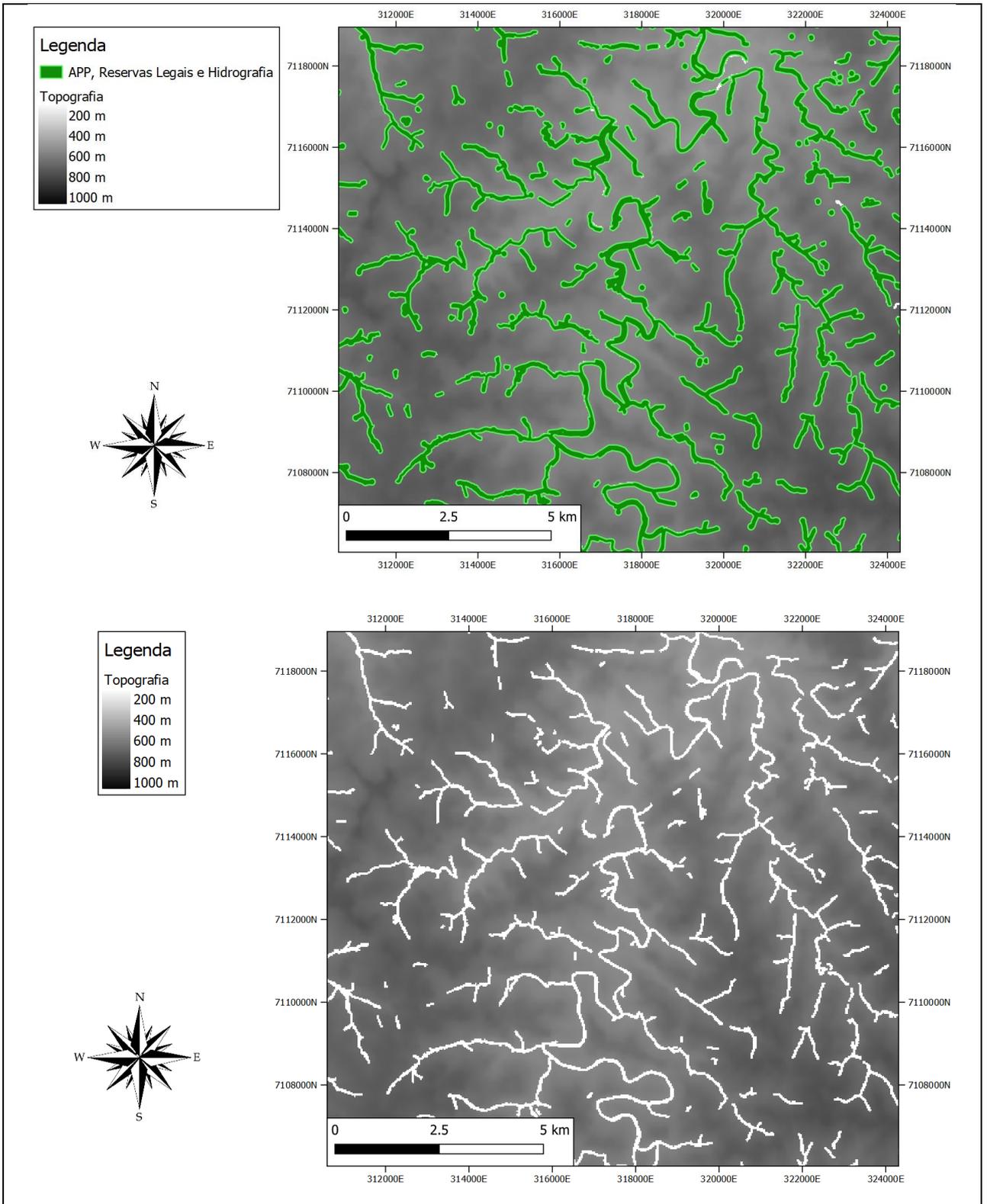


FIGURA 4.1 – Antes/Depois do recorte de APP, Reserva Legal e Hidrografia

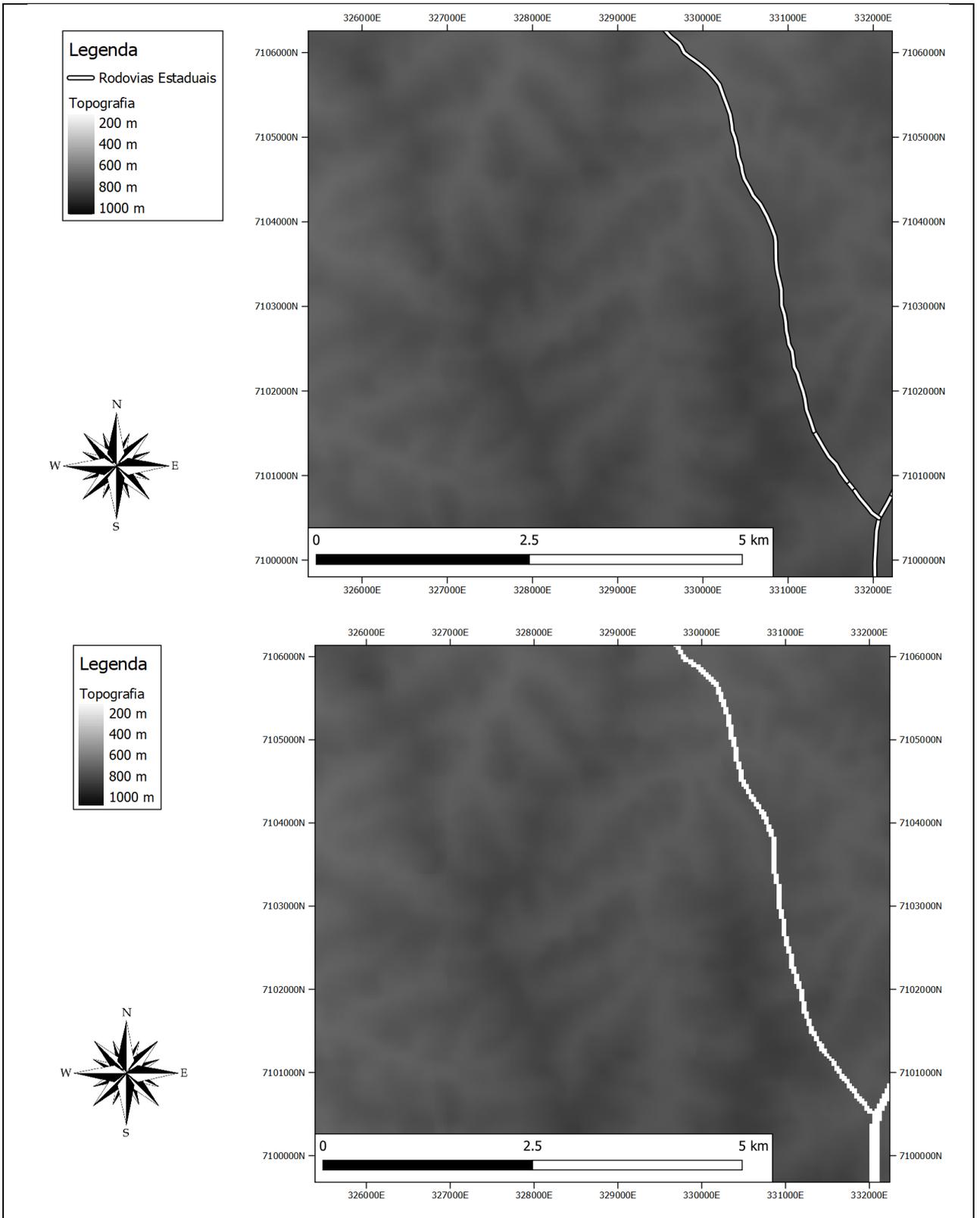


FIGURA 4.2 – Antes/Depois do recorte de rodovias federais e estaduais

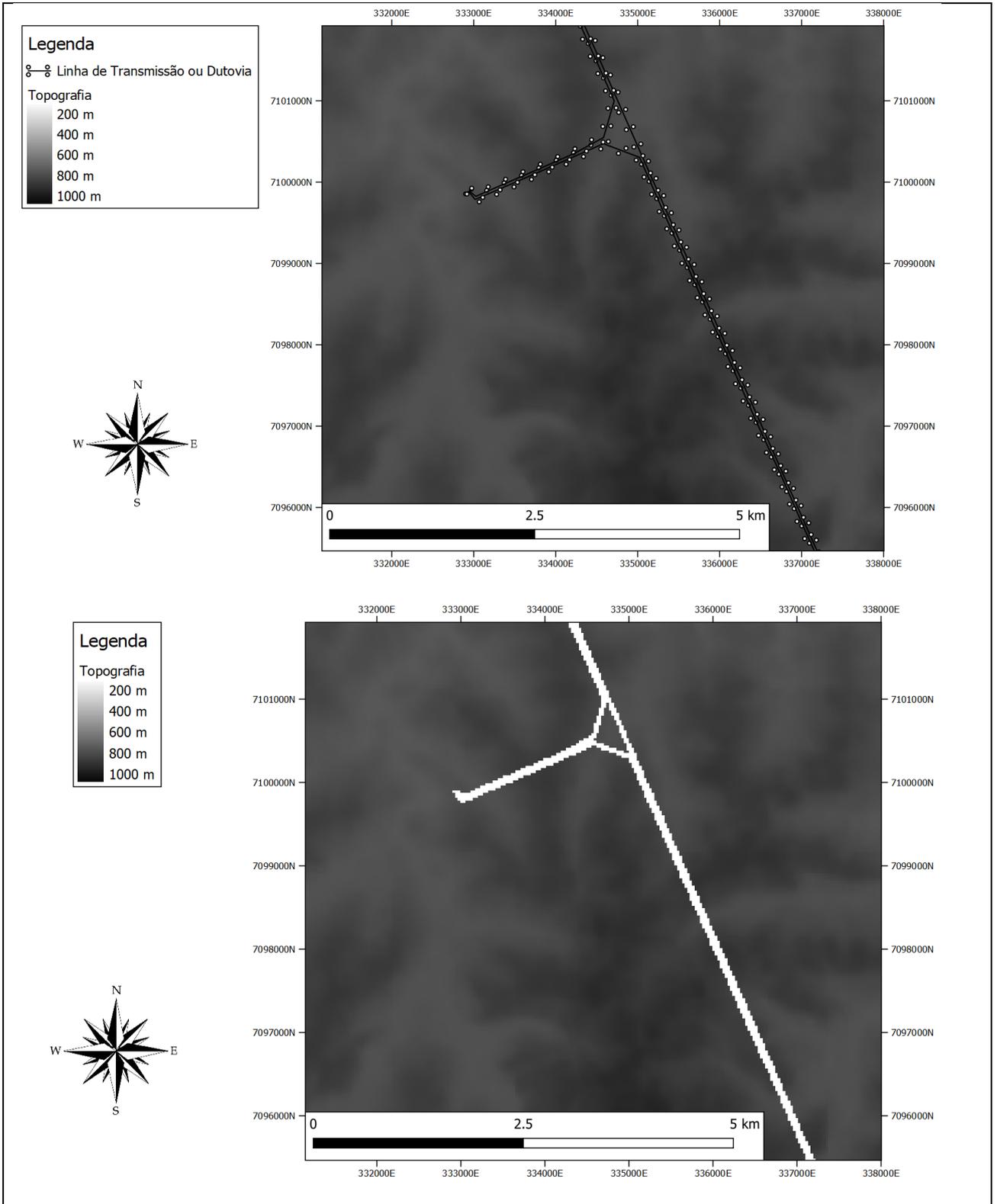


FIGURA 4.3 – Antes/Depois do recorte de linhas de transmissão e dutovias

Na FIGURA 4.4 e FIGURA 4.5, é mostrado os CGDs considerados da região, com seus raios de busca de 30 km e sua área de busca definida. É possível observar os locais mais propensos a escolha de um sítio, que seriam os locais que não estão em fundo branco e os que estão com a cor cinza mais clara. Estes locais seriam as regiões mais planas e com maiores altitudes da área de busca, o que é o mais recomendado para escolha, pois acarretariam menores valores de TopVol e menores possibilidade de violação das superfícies de proteção.

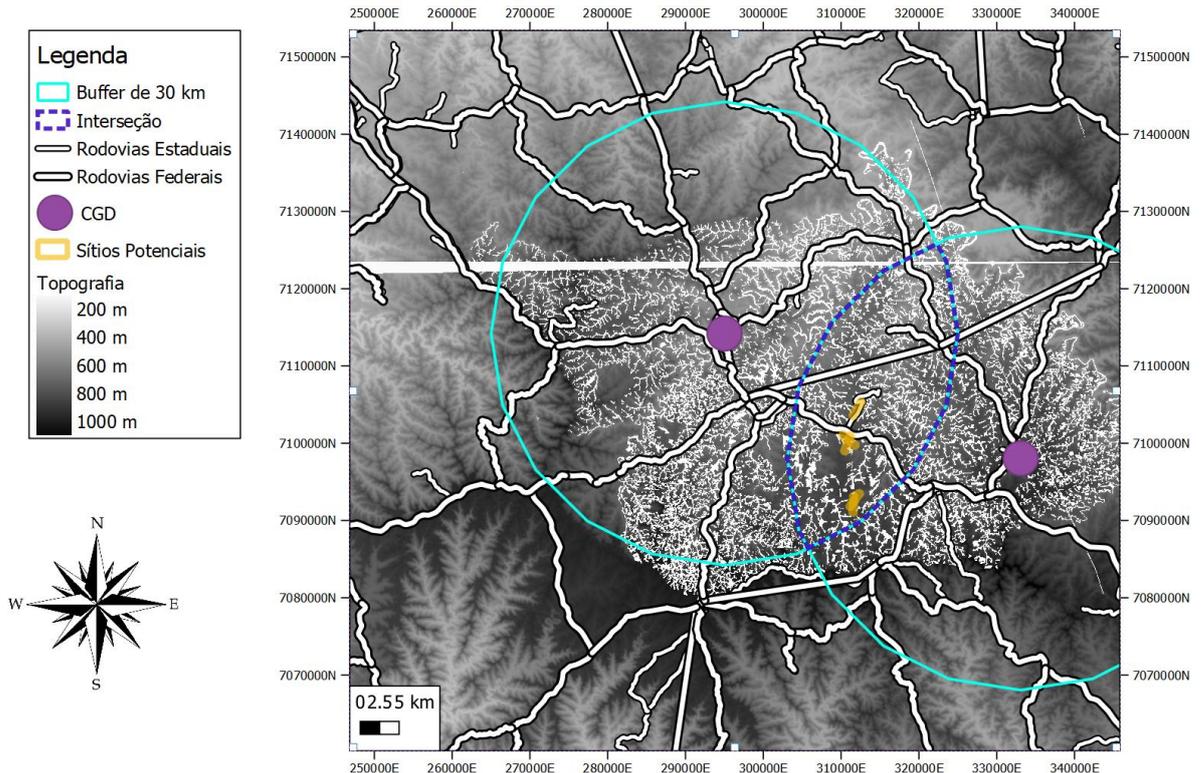


FIGURA 4.4 – Mapa topográfico da região de busca de Francisco Beltrão/Pato Branco com todos os recortes

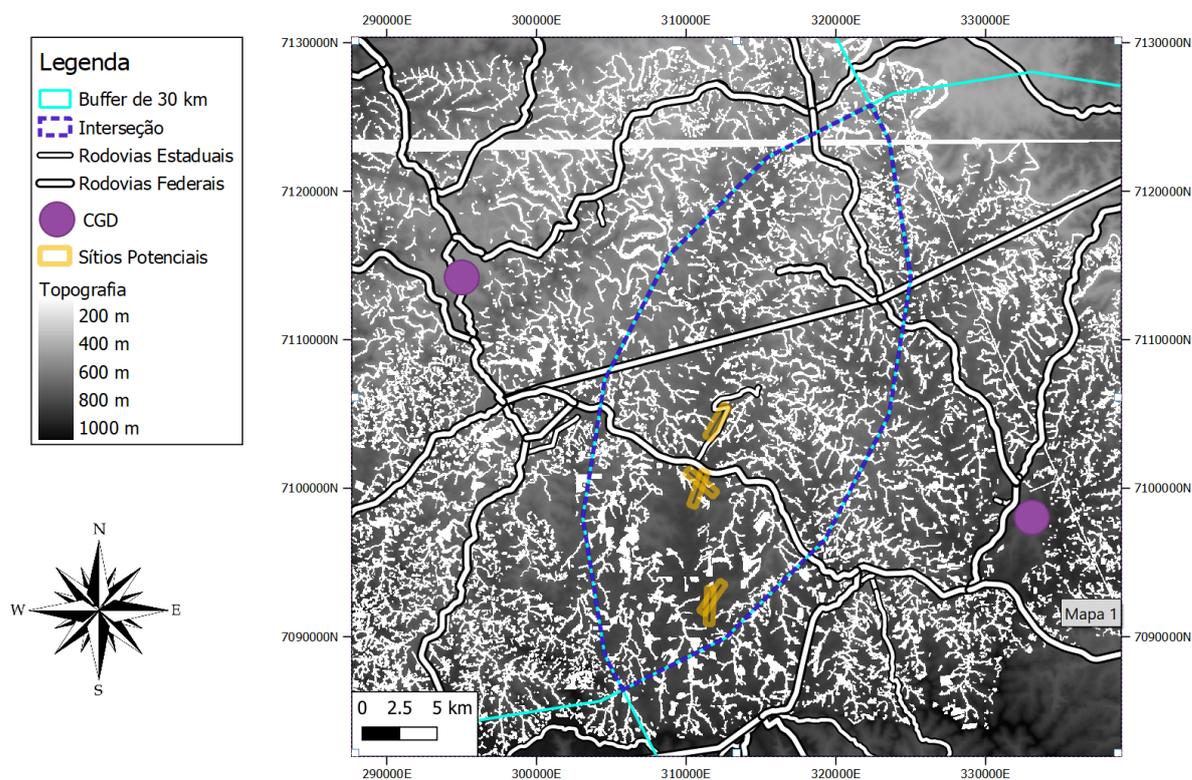


FIGURA 4.5 – Mapa topográfico da região de busca de Francisco Beltrão/Pato Branco com todos os recortes - zoom

Vale salientar que foram utilizadas duas imagens topográficas diferentes para contemplar toda a área de busca da região. A união dessas duas imagens topográficas resulta não tem um encaixe perfeito, por esse motivo é possível ver uma linha vermelha na FIGURA 4.4 e na FIGURA 4.5. Esta linha são as regiões de encontro das duas imagens topográficas, onde não há valores de topografia. Isso ocorre pois, durante a passagem do satélite que captura o dado, o intervalo de tempo entre as fotos tiradas não é perfeito, fazendo que exista pequenas lacunas sem valores entre os *rasters*.

4.2 Critérios Classificatórios

Neste item são apresentados os mapas resultantes da aplicação dos critérios classificatórios ACE, DIP e DIS para o caso de Francisco Beltrão/Pato Branco. São também apresentados os valores de TopVol para os sítios potenciais definidos pela equipe ITA. ITA

(2019b) apresentou os sítios escolhidos para visita técnica e que serão estudados no presente trabalho.

4.2.1 Caso de Francisco Beltrão/Pato Branco

É apresentado nas FIGURA 4.6 e FIGURA 4.7, os mapas de DIS e ACE, respectivamente. Para referência é mostrado a localização dos sítios potenciais.

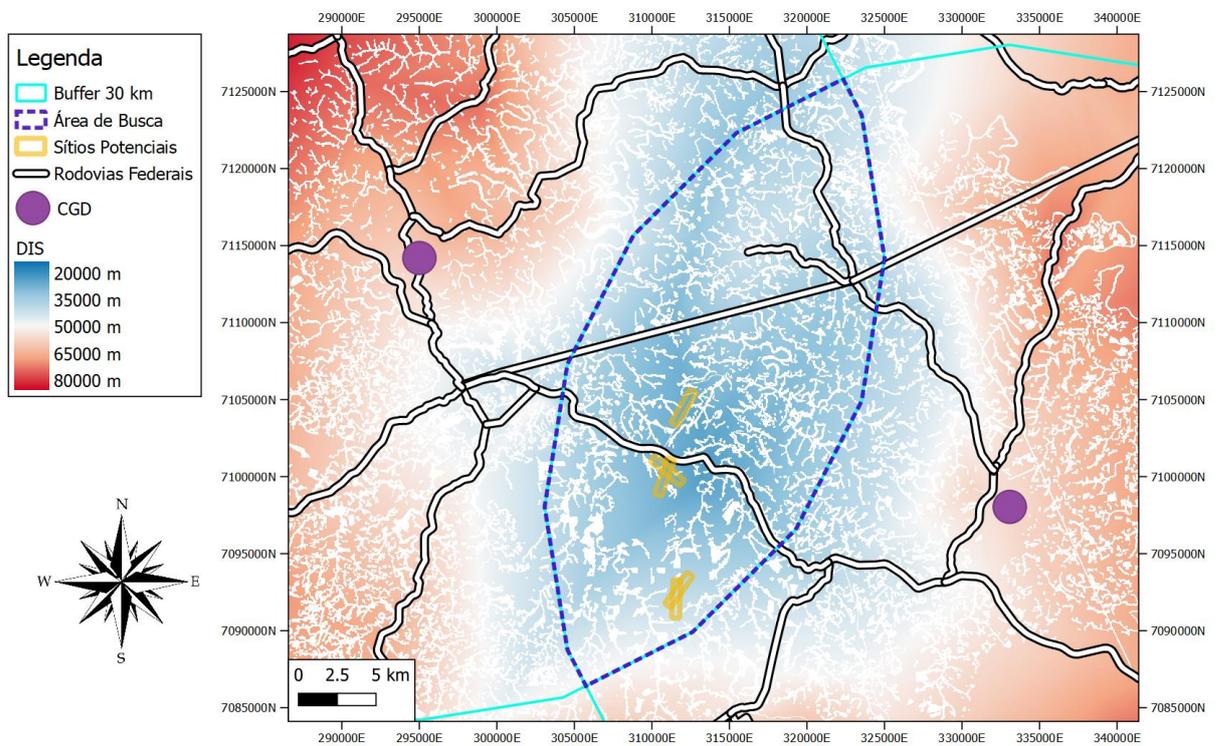


FIGURA 4.6 – DIS para Francisco Beltrão/Pato Branco

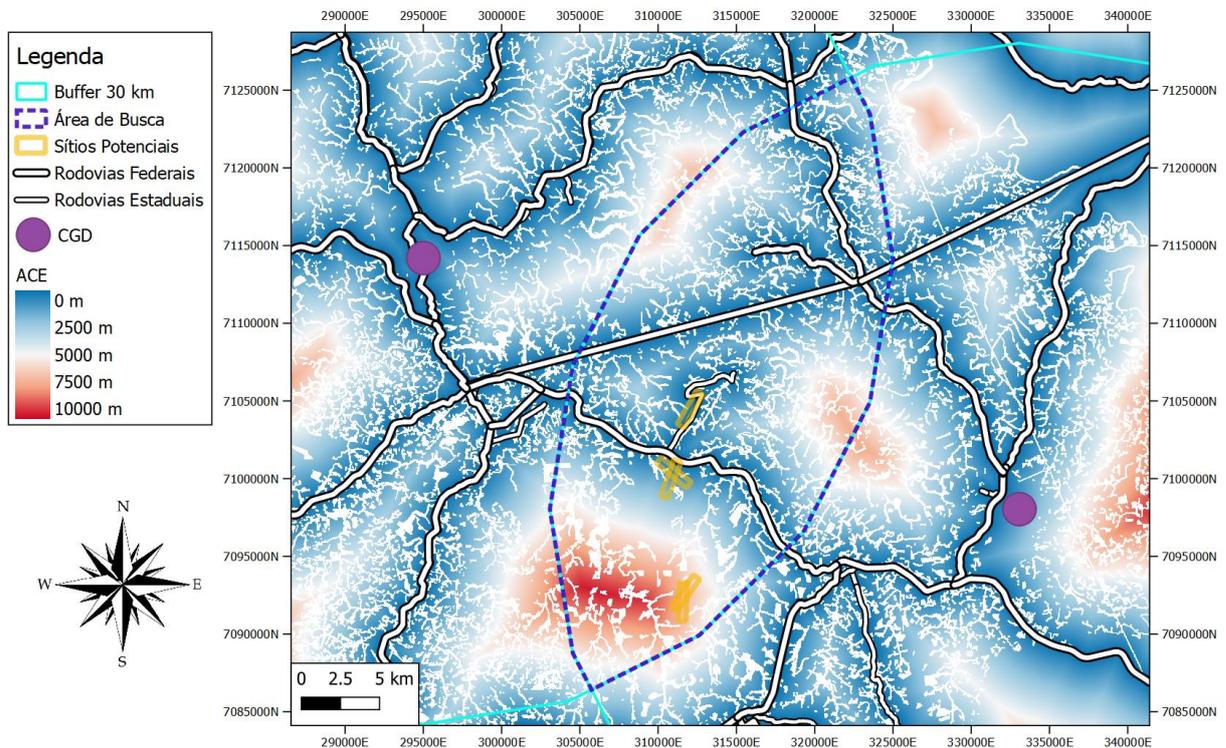


FIGURA 4.7 – ACE para Francisco Beltrão/Pato Branco

Para DIP, ITA (2019b) coloca que a visita de campo dos sítios potenciais possibilita a identificação de linhas de transmissão de média ou baixa tensão que supririam as necessidades de energia do sítio. Por esse motivo adotou-se, para metodologia MESA, os valores determinados através da visita de campo. No entanto, o método apresentado no presente trabalho ainda se torna válido caso dados mais precisos das linhas de transmissão e distribuição da região que está sendo estudada fossem disponibilizados. Na FIGURA 4.8 é apresentado o mapa confeccionado para DIP com o dado pouco preciso de linhas de transmissão.

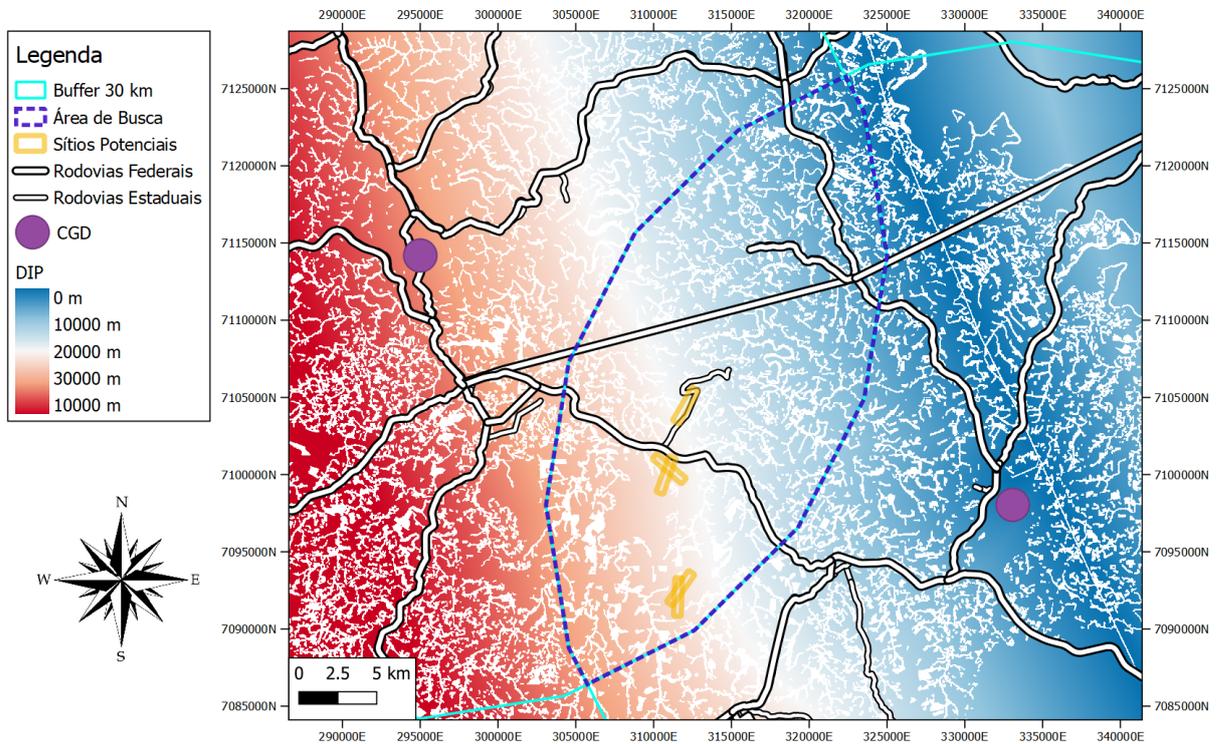


FIGURA 4.8 – DIP para Francisco Beltrão/Pato Branco

Para DIS e ACE, a aquisição do valor da métrica para cada sítio potencial pode ser feita através da verificação do valor do *pixel* dos *rasters* correspondentes no centroide do sítio que está sendo analisado.

Por fim, é apresentado na TABELA 4.1 os valores dos critérios classificatórios DIP, DIS, ACE e TopVol para os sítios potenciais propostos por ITA (2019b). Os valores apresentados para DIP são aqueles obtidos a partir dos dados utilizados no presente trabalho. Estes são diferentes dos valores adotados pela equipe ITA, que foram obtidos por visita técnica aos sítios potenciais. Os valores colocados para TopVol foram calculados a partir dos polígonos dos sítios, que são apresentados na FIGURA 4.9, utilizando o método proposto no item 3.6. Na TABELA 4.2 são apresentados os valores encontrados pela equipe ITA.

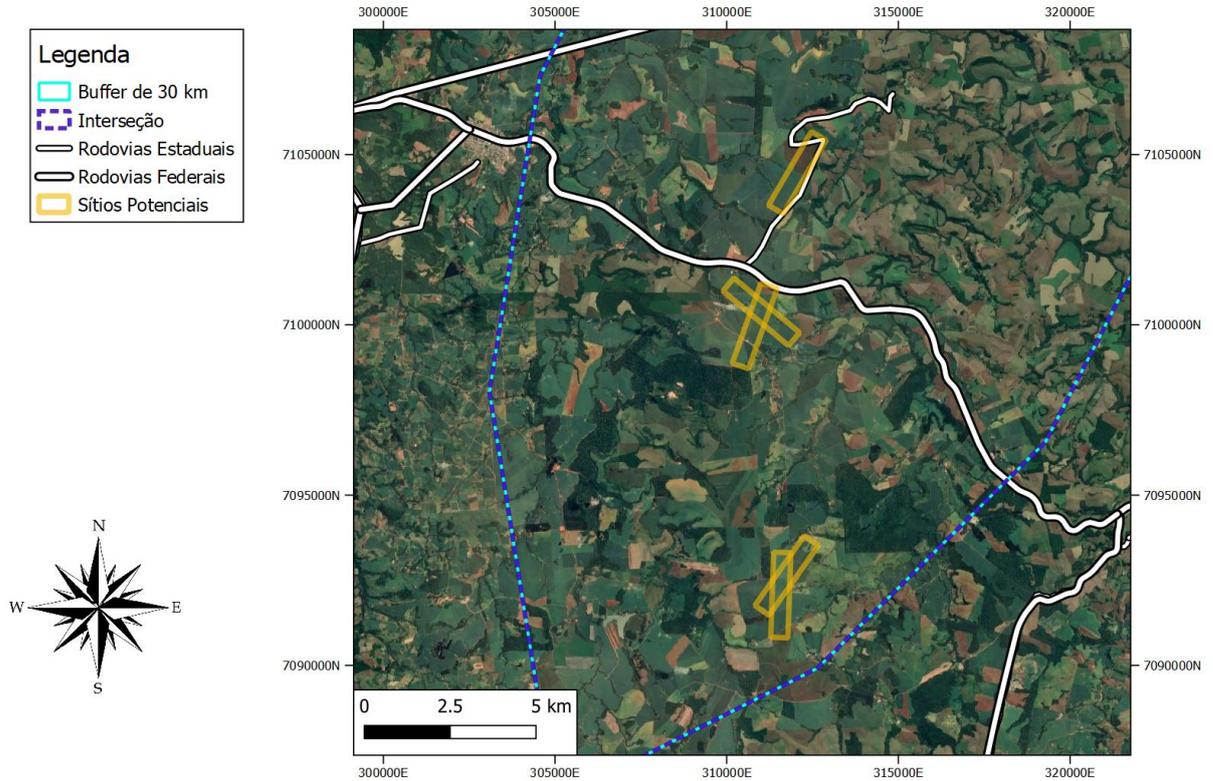


FIGURA 4.9 – Sítios Potenciais (Imagem: Google Earth)

Sítio	DIS (m)	ACE (m)	TopVol (m ³)
2	31.831	1.261	4.188.468,47
2A	31.575	831	6.829.189,48
2C	30.869	308	4.214.545,14
3	42.550	6.891	6.519.847,96
4	41.523	6.724	8.442.576,59

TABELA 4.1 – Resumo dos valores dos critérios classificatórios para os sítios potenciais de Francisco Beltrão/Pato Branco

Sítio	DIS (m)	ACE (m)	TopVol (m ³)
2	22.100	1.300	3.879.616,00
2A	23.100	1.000	6.837.976,00
2C	22.600	3.000	3.985.154,00
3	27.500	7.100	6.006.847,00
4	27.400	7.000	7.994.669,00

TABELA 4.2 – Resultados obtidos pela Equipe ITA (Fonte: ITA (2019b))

As diferenças para os valores eram esperadas. Para TopVol, ITA (2019b) não considera todo o sítio aeroportuário para o cálculo, pode-se ver que o ranqueamento considerando apenas esse critério continua o mesmo. Para ACE os valores estão com pouca variação. DIS tem uma diferença significativa dos valores, mas assim como TopVol, essa discrepância se dá pela diferença do método adotado, sendo que o ranqueamento não foi alterado devido esta discrepância.

5 Discussão dos resultados

Os resultados encontrados demonstram que a metodologia apresentada no presente trabalho compõe uma melhoria para a metodologia MESA. Isso se confirma pela comparação dos valores encontrados para os critérios classificatórios ACE, DIS e TopVol de cada sítio potencial. Os valores, apesar de possuírem uma certa diferença, mantinha a ordem de ranqueamento no próprio critério. Isto é, o sítio que tinha o maior valor de ACE, por exemplo, era o mesmo nos dois contextos. O presente trabalho, no entanto, apresenta uma forma mais sistemática e simples, utilizando geoinformação, de como obter os valores das métricas de alguns critérios classificatórios da metodologia MESA. O uso de geoinformação para medição de critérios classificatórios de áreas está presente em várias áreas da construção civil, como é evidenciado nos trabalhos discutidos no item 2.3. o SIG traz uma série de vantagens para melhoria de eficiência desse processo de medição e o uso dele no setor aeroportuário pode trazer melhores formas de analisar e resolver problemas.

No entanto, também foi observado pelos resultados, que uma análise de qualidade necessita de um bom banco de dados inicial para utilização. O critério classificatório DIP poderia ter sido calculado caso os dados das linhas de distribuição em SIG estivessem disponíveis. Uma base de dados confiável e abrangente depende, por outro lado, de que os órgãos públicos, responsáveis pelas áreas que estão sendo estudadas, forneçam esses dados e que esses dados possam ser utilizados para geoprocessamento. Dados, como os fornecidos pelo CAR, tiveram que passar por uma análise de correção de topologia para que pudesse ser usado. Esse processo consome tempo e poderia ser descartado caso os dados fornecidos já estivessem com boa qualidade.

6 Conclusões e Recomendações

Os mapas gerados com as contribuições à metodologia MESA facilitam a busca do sítio potencial ao permitir a visualização da região de busca com as áreas não desejadas retirada, evitando que sítio potenciais sejam postos em localizações que não estão de acordo com a metodologia MESA. Além deles, os mapas dos critérios classificatórios simplificam a identificação dos valores das métricas associadas a esses critérios, pois a identificação dos valores é feita com o processo simples de verificar o valor do *pixel* do centroide do sítio potencial, enquanto que o processo utilizado requiritava uma série de medidas manuais para sua determinação

Para o critério DIS, o mapa se mostrou conveniente, inclusive apresentando valores que mantinham o ranqueamento daqueles obtidos manualmente. Uma forma de refinar esse valor seria empregar uma malha rodoviária com ruas e estradas municipais, com o intuito de contabilizar o translado que o carro levará nessas vias. ACE apresentou dados próximos dos dados obtidos pela Equipe ITA. Para DIP, percebe-se a diferença que a falta de um dado preciso pode fazer para que a metodologia possa ser empregada de forma correta. Para regiões onde os dados de linhas de distribuição estiverem disponíveis, é esperado que a metodologia proposta no presente trabalho funcione melhor.

Quando o dado é confiável, a utilização de um mapa torna o processo de medição mais rápido do que se feito de forma manual. Isto porque, ao invés de ser necessário desenhar a linha e ler a distância, basta clicar no pixel localizado onde se quer medir a distância e ler o valor. Por esse motivo, a abordagem apresentada aqui pode contribuir para a otimização do processo de medição dos critérios classificatórios da metodologia MESA. TopVol, por outro lado, apenas apresentou diferença nos resultados porque as áreas consideradas para o corte eram diferentes. Qual(is) área(s) considerar é algo que está em discussão pela equipe MESA, levando em conta questões relacionadas a cenários possíveis para volumes de terraplenagem, dentre outras coisas.

Por fim, o método discutido no Apêndice A precisa ser mais bem avaliado para que sua aplicação seja validada. No entanto, o objetivo do que foi apresentado é propor uma forma diferente e mais rica de avaliar a movimentação de terra para um sítio. É evidente que os valores exatos só são calculados com precisão durante a etapa de projeto executivo do sítio, mas trazer mais exatidão para o processo de escolha de sítios aeroportuários resulta em um melhor

ranqueamento dos sítios potenciais e torna menos provável que sítios sejam eventualmente ranqueados erroneamente.

7 Referências

ANAC a. **RBAC 161 - Projeto de Aeródromos**. Inclui Emenda 01. ed. Brasília: [s.n.], 2013.

ANAC b. **RBAC 154 - Projeto de Aeródromos**. Inclui Emenda 06. ed. Brasília: [s.n.], 2019.

ASHFORD, N. J. et al. **Airport Operations**. 3. ed. [S.l.]: McGrawHill, 2013.

AYODELE, T., OGUNJUYIGBE, A., & O. ODIGIE, J. M. (ISSN: 0306-2619 de 2018). **A multi-criteria GIS based model for wind farm site selection using interval type-2 fuzzy analytic hierarchy process: The case study of Nigeria**. *Applied Energy*, 228, 1853-1869.

BASKURT, Z., & AYDIN, C. (ISSN: 0149-1970 de 2018). **Nuclear power plant site selection by Weighted Linear Combination in GIS environment, Edirne, Turkey**. *Progress in Nuclear Energy*, 104, 85-101.

ELEKTRO, ND. **67 Ocupação de Faixa de Passagem de Linhas de Transmissão de Energia Elétrica**. Campinas, p. 27, 2013

HORONJEFF, R. et al. **Planning and Design of Airports**. [S.l.]: McGraw-Hill Education, 5 Edition, 2010.

ICAO a. **International Civil Aviation Organization. Airport Planning Manual. Part 1: Master Planning**. Doc 9184. 2nd edition, Montreal, 1987.

ICAO b. **Aerodrome Design and Operations - Anexo 14**. 8th ed. Montreal, 2018.

ITA a. **Análise e Revisão da Metodologia de Escolha de Sítios**. Instituto Tecnológico de Aeronáutica. Diagnósticos, estudos e pesquisas visando inovação e aperfeiçoamento do sistema de aviação civil brasileiro - InovaAC. Preparado para a Secretaria de Aviação Civil do Ministério da Infraestrutura MESA 1.0. São José dos Campos. p. 79. 2019.

ITA b. **Relatório Final de Prospeção de Sítio Aeroportuário: Caso do Sudoeste Paranaense**. Instituto Tecnológico de Aeronáutica. Diagnósticos, estudos e pesquisas visando inovação e aperfeiçoamento do sistema de aviação civil brasileiro – Inova AC. Preparado para a Secretaria de Aviação Civil do Ministério da Infraestrutura. São José dos Campos. 2019.

INPE, **Modelagem Numérica de Terrenos**. 1998. Disponível em: < http://www.dpi.inpe.br/gilberto/tutoriais/gis_ambiente/4mnt.pdf >. Acessado em: 15 de novembro de 2019.

ITF. **Airport site selection. International Transport Forum**. OECD. [S.l.]. 2017.

KAZDA, A.; CAVES, R. E. **Airport Design and Operation**. 2. ed. Bingley: Elsevier, 2008.

KIM, C.-K., JANG, S., & KIM, T. (2018). **Site selection for offshore wind farms in the southwest coast of South Korea. Renewable Energy**, 120(ISSN 0960-1481), 151-162.

LABTRANS. **Prospecção de novo sítio aeroportuário: município de Balsas. Laboratório de transportes e logística - LabTrans. Florianópolis. 2017.** (Objeto 2 - Análise de informações e apoio na estruturação do planejamento da SAC/PR).

MINISTÉRIO DA INFRAESTRUTURA. **Plano Aeroviário Nacional 2018-2038.** Departamento de Planejamento e Gestão Aeroportuária. Brasília. 2018.

OLIVEIRA, L. Z. **Escolha de sítio aeroportuário com base em SIG e análise Multicritério (AHP).** 2018. 75f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis

SAC (Brasil) a. **Projeção de Demanda da Aviação Civil** Disponível em: < <https://infraestrutura.gov.br/images/AEROPORTOS/ProjDemandaPress.pdf> > . Acessado em: 04 de novembro de 2019.

ŞENER, S., ŞENER, E., NAS, B., & KARAGÜZEL, R. (Jul de 2010). **Combining AHP with GIS for landfill site selection: a case study in the Lake Beyşehir catchment area. Waste Management**, 30(11 ISSN: 0956-053X), 2037-2046.

SENNAROGLU, B.; CELEBI, G. **A military airport location selection by AHP integrated Promethee and Vikor methods.** Transportation Research, Part D, v. 59, p. 160-173.

SILVESTRI. **Relatório técnico de avaliação do sítio aeroportuário regional do sudoeste do estado do Paraná - PR.** Silvestri Arquitetura. Londrina. 2007.

TOGATLIAN, M. A. P. **Proposta de metodologia para priorização da alocação de recursos visando às ampliações de aeródromos fronteiriços na Amazônia.** São José dos Campos: Blucher, 2010.

WELLS, A. **Airport Planning & Management.** 3. ed. [S.l.]: McGraw-Hill, 1996.

Apêndice A – Medição de TopVol por busca de plano inclinado de corte usando método enumerativo

A.1 Introdução

O critério TopVol, como abordado no texto, é avaliado através de uma métrica aproximada, ou seja, uma *proxy* para o esforço de movimentação de terra no sítio. Tal métrica admite uma superfície plana e horizontal na cota média do terreno. No entanto, a obra a ser implantada admite uma superfície complexa, a ser proposta pelos projetistas, considerando-se os limites de declividade previstos em normas aeroportuárias e os objetivos de minimização da movimentação de terra.

Este apêndice introduz uma métrica alternativa, cujo objetivo é melhorar a precisão de avaliação do critério TopVol, mas sem esgotar a complexidade esperada para o futuro projeto executivo.

É apresentada uma métrica que considera a inclinação máxima admissível em um sítio aeroportuário em termos longitudinais e transversais. Utilizou-se de método de procura enumerativa para busca um plano de corte que minimizasse os valores de volume de corte somados com o volume de aterro. Não se procurou fazer o equilíbrio dos volumes, pois o objetivo do método é minimizar os volumes que serão movimentados durante a obra. Localizações de jazidas de empréstimo e bota fora só são determinadas na fase de projeto. A superfície ajustada consiste em um plano retangular que depende de três parâmetros: altura, inclinação longitudinal e inclinação lateral. Esta superfície corta o relevo do sítio e os volumes acima (corte) e abaixo (aterro) da superfície são determinados.

A.2 Restrição de Declividade

A ANAC (2019b) define valores de declividade máxima para pistas de pouso e decolagem, pistas de táxi e demais elementos constituintes dos sistemas de pistas do aeroporto. O valor mais restritivo encontrado e o que será utilizado nesta análise será o valor de 1% para pistas de pouso de código 3 ou 4. Este valor pode ser alterado na metodologia caso a classe de aeródromo que está sendo analisado já esteja definida.

A.3 Metodologia

A metodologia proposta consiste em uma transformação do sistema de coordenadas cartesiano UTM convencional utilizado na metodologia MESA, em um sistema que permitirá colocar limites na declividade máxima da superfície que está sendo gerada. Limitando-se a declividade máxima do plano de corte, é garantido que os 1% estabelecidos não serão superados no processo de busca.

Para a construção da metodologia a primeira consideração feita é a definição de um plano inclinado em coordenadas cartesianas. Esse plano será definido pela Equação (2).

$$z = ax + by + c \quad (2)$$

Em que:

z é a altura do terreno;

x é a coordenada latitudinal;

y é a coordenada longitudinal.

a , b e c são constantes que deverão ser definidas de tal forma que os volumes de corte e aterro sejam mínimos. Para que a procura enumerativa funcione, é necessário garantir que a declividade máxima do plano de corte que está sendo tomado não será maior que 1%, como foi definido. Sendo assim toma-se a FIGURA A.0.1 como referência para poder fazer algumas análises. Considere que $ABCD$ é um retângulo no plano xy .

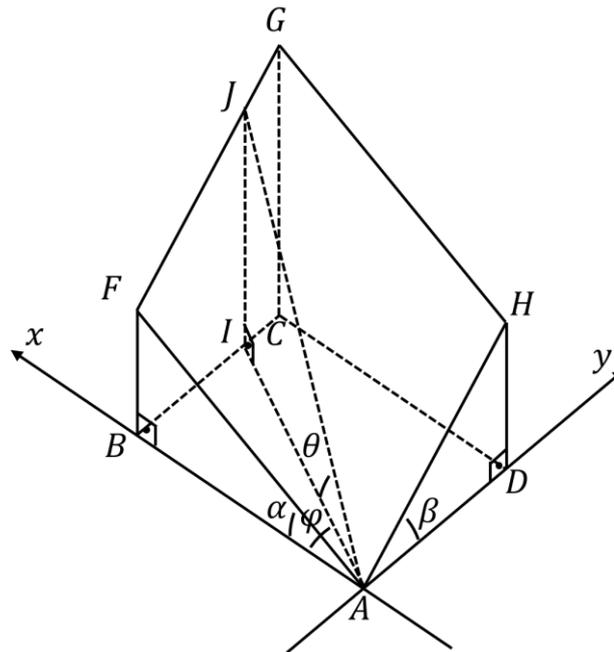


FIGURA A.0.1 – Plano de corte e ângulos formados

A Equação (3) define os valores dos ângulos $F\hat{A}B$ e $H\hat{A}D$, respectivamente.

$$\begin{cases} \tan\alpha = a, \text{ para } 0 < \alpha < \pi/2 \\ \tan\beta = b, \text{ para } 0 < \beta < \pi/2 \end{cases} \quad (3)$$

O objetivo é descobrir o valor da tangente do ângulo $J\hat{A}I$. Que pode ser escrito conforme a Equação (4).

$$\tan\theta = \frac{\overline{FI}}{\overline{IA}} \quad (4)$$

\overline{IA} e \overline{FI} por sua vez, pode ser escrito conforme a Equação (5).

$$\begin{cases} \overline{IA} = \overline{BA}\sec\varphi \\ \overline{FI} = \overline{BA}\tan\alpha + \overline{BA}\tan\beta\tan\varphi \end{cases}, \text{ para } 0 < \varphi < \pi/2 \quad (5)$$

Utilizando (5) em (4), chega-se ao resultado apresentado na Equação (6).

$$\tan\theta = \tan\alpha\cos\varphi + \tan\beta\sin\varphi \quad (6)$$

Para encontrar o valor máximo de $\tan\theta$, pode ser feita uma derivada da Equação (6) em função de φ . Igualando essa derivada a zero, descobre-se o ponto de inflexão da função, que precisa ser substituído na equação original para descobrir se é um ponto de máximo ou mínimo. O ponto de inflexão encontrado é dado pela Equação (7).

$$\tan\varphi = \frac{\tan\alpha}{\tan\beta} \quad (7)$$

Substituindo (7) em (6), chega-se à Equação (8).

$$\tan\theta = \sqrt{\tan\alpha^2 + \tan\beta^2} \quad (8)$$

A Equação (8), define, portanto, um ponto de máximo de $\tan\theta$. Além, disso (8) é a equação de uma circunferência, com as coordenadas em $a = \tan\alpha$ e $b = \tan\beta$, como pode ser visto na FIGURA A.0.2.

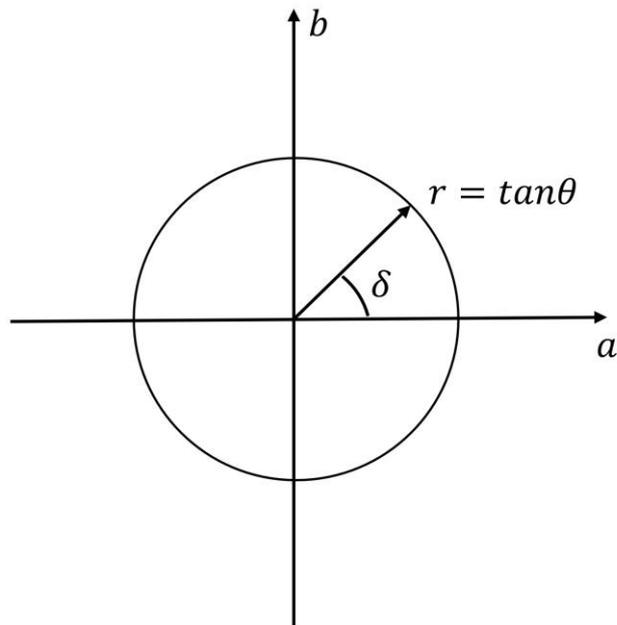


FIGURA A.0.2 – Circunferência definida pela tangente máxima do plano e as tangentes nos eixos x e y

Com essa circunferência é possível definir intervalos de busca para a e b , que serão definidos a partir do número de interações desejada. Esses intervalos de busca são definidos nas Equações (10) e (9).

$$\begin{cases} \tan\theta = (0, \frac{1\%}{n}, 2\frac{1\%}{n}, \dots, 1\%) \\ \delta = (\frac{2\pi}{n}, 2\frac{2\pi}{n}, \dots, 2\pi) \end{cases} \quad (9)$$

$$\begin{cases} a = r\cos\delta \\ b = r\sin\delta \end{cases} \quad (10)$$

Em que:

n é o número de interações;

δ é o ângulo de busca.

Por fim, varia-se o parâmetro c conforme a Equação (11).

$$c = (H_{\min}, \dots, (\frac{n}{2} - 1)(\frac{H_{\text{méd}} - H_{\min}}{\frac{n}{2}}), H_{\text{méd}}, (\frac{H_{\text{máx}} - H_{\text{méd}}}{\frac{n}{2}}, \dots, H_{\text{máx}}) \quad (11)$$

Em que:

H_{\min} é a menor altura dentro do sítio aeroportuário;

$H_{\text{méd}}$ é a altura média do sítio aeroportuário;

$H_{\text{máx}}$ é a maior altura dentro do sítio aeroportuário.

Com a , b e c definidos, é feita a combinação de todos os a , b e c possíveis e cada plano gerado com uma combinação é testado e o plano que gerar o menor volume total de corte mais aterro, será elencado como melhor plano de corte. O cálculo do volume do corte e aterro para cada plano é feito através da metodologia apresentada no item 3.6.

Com a transformação os *inputs* do método serão $\tan\theta$, δ e c , como foram definidos nas Equações (9) e (11). Esses *inputs* são transformados em a , b e c conforme a Equação (10) e então o processo de cálculo de TopVol é feito para a superfície gerada. Esse processo é feito para cada combinação de $\tan\theta$, δ e c definida pelo número de interações n . Sendo assim n^3 são feitos e o menor valor de TopVol entre todos os testes é guardado.

A.4 Resultados

Os valores encontrados para os sítios potenciais do caso de Francisco Beltrão/Pato Branco estão apresentados na TABELA A.1. Para a análise foi utilizado um número de interações igual a 10 para cada sítio.

Sítio	TopVol - Convencional (m ³)	TopVol - Novo (m ³)	a (m/m)	b (m/m)	c (m)
2	4.188.468,472	4.148.851,040	-0,0012	-0,0016	781,155
2A	6.829.189,478	5.387.458,984	0,0095	0,0031	753,409
2C	4.214.545,139	3.508.203,724	0,0059	0,0081	729,204
3	6.519.847,956	5.824.072,178	-0,0095	0,0031	827,040
4	8.442.576,586	6.084.302,567	-0,0059	0,0081	815,423

TABELA A.1 – Valores de TopVol com novo método ($n = 10$)

Podemos verificar que para alguns sítios, como o sítio 4, a diferença de TopVol é significativa. Essa diferença pode mudar o ranqueamento final quando o AHP é aplicado na

metodologia MESA. A mudança dos valores calculados na forma convencional da metodologia MESA e da forma proposta é dependente do quanto o terreno do sítio que está sendo analisado é regular. Espera-se que para sítio com terrenos com pouco relevo, as mudanças não sejam significativas. No entanto, para terrenos mais irregulares as mudanças podem ser grandes o suficiente para mudar o ranqueamento de um sítio para outro. O que se evidencia nos valores encontrados para o sítio 4, que teve uma diferença de 28% de volume de corte e aterro utilizando o método proposto.

A.5 Conclusões e Recomendações

O método proposto é uma forma diferente de analisar os volumes de corte e aterro de um sítio aeroportuário considerando as declividades máxima possíveis em um sítio aeroportuário. As declividades finais do terreno só são definidas na fase de projeto de construção do aeroporto. No entanto, o método apresentado fornece primeiros indícios de como as declividades se distribuiriam no terreno e fornece uma forma mais refinada de cálculo de TopVol para metodologia MESA. Recomenda-se que o método seja mais bem avaliado e testado para que mais resultados possam ser comparados e análises mais conclusivas possam ser feitas sobre o método.

FOLHA DE REGISTRO DO DOCUMENTO

1. CLASSIFICAÇÃO/TIPO TC	2. DATA 21 de novembro de 2019	3. REGISTRO N° DCTA/ITA/TC-126/2019	4. N° DE PÁGINAS 64
5. TÍTULO E SUBTÍTULO: Apoio à Seleção de Sítios Aeroportuários Via Medição Automatizada de Critérios Classificatórios Usando Geoinformação			
6. AUTOR(ES): Luan Torres de Oliveira			
7. INSTITUIÇÃO(ÕES)/ÓRGÃO(S) INTERNO(S)/DIVISÃO(ÕES): Instituto Tecnológico de Aeronáutica – ITA			
8. PALAVRAS-CHAVE SUGERIDAS PELO AUTOR: 1. Sítio Aeroportuário. 2. Geoinformação. 3. Classificação. 4. Terraplenagem.			
9. PALAVRAS-CHAVE RESULTANTES DE INDEXAÇÃO: Métricas (software); Planejamento de aeroportos; Terraplenagem; Metodologia; Transporte.			
10. APRESENTAÇÃO: <div style="text-align: right;">X Nacional Internacional</div> ITA, São José dos Campos. Curso de Graduação em Engenharia Civil-Aeronáutica. Orientador: Prof. Dr Eduardo Moraes Arraut; coorientador(es): Prof. Dr Evandro José da Silva. Publicado em 2019.			
11. RESUMO: Este trabalho de graduação tem como objetivo auxiliar o processo de obtenção de métricas de critérios classificatórios para a Metodologia de Escolha de Sítios Aeroportuários (MESA), em desenvolvimento na divisão e Engenharia Civil do ITA (IEI/ITA). A metodologia MESA vem sendo desenvolvida em um projeto conjunto entre o Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA) e Secretaria de Aviação Civil (SAC) do Governo Federal e visa o aprimoramento da metodologia para escolha de novos sítios aeroportuários para aeroportos regionais. Para definição dos sítios aeroportuários concorrentes a escolha, critérios eliminatórios e classificatórios foram definidos com base em uma revisão bibliográfica que tinha como objetivo definir os critérios mais presentes na literatura. Para o suporte na obtenção das métricas estabelecidas, este trabalho de graduação se propôs a calcular, usando geoinformação, os valores dos critérios classificatórios: (i) distância do centro geométrico do sítio concorrente até o centro gerador de demanda via rodovias mais próximas, (ii) distância do centro geométrico do sítio concorrente até a rodovia mais próxima, (iii) distância do centro geométrico do sítio concorrente até a linha de transmissão de média ou alta tensão mais próxima e (iv) estimativa de movimentação de terra para terraplenagem do sítio concorrente. Além dos critérios classificatórios, critérios eliminatórios, que se resumem em áreas onde um sítio aeroportuário não pode ser implantado, foram medidos utilizando recortes das áreas citadas no modelo topográfico da área de busca. Para todos os critérios, menos para o cálculo de estimativas de movimentação de terra, foi empregado o ferramental em SIG para criação de mapas que possibilitasse a fácil visualização e obtenção dos valores desses critérios. Para movimentação de terra, por outro lado, foram calculadas estimativas de volume de corte e aterro, para sítios selecionados durante o projeto, através da criação de planos de corte do terreno.			
12. GRAU DE SIGILO: <div style="text-align: center;">(X) OSTENSIVO () RESERVADO () SECRETO</div>			