Universidade do Estado do Rio de Janeiro
Centro de Tecnologia e Ciências
Faculdade de Engenharia

Thamires Sandonatto de Oliveira

Análise de localização para Incineradores de Resíduos Sólidos Urbanos na Região Metropolitana do Rio de Janeiro

Rio de Janeiro
2020

Thamires Sandonatto de Oliveira

Análise de localização para Incineradores de Resíduos Sólidos Urbanos na Região Metropolitana do Rio de Janeiro

Dissertação apresentada, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre, ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de concentração: Tratamento e Destino Final de Resíduos Sólidos.

Orientadora: Prof.ª Camille Ferreira Mannarino, DSc.

Coorientadora: Prof.ª Renata de Saldanha da Gama Gracie Carrijo, DSc.

Rio de Janeiro

2020

CATALOGAÇÃO NA FONTE

UERJ / REDE SIRIUS / BIBLIOTECA CTC/B

O48 Oliveira, Thamires Sandonatto de.
Análise de localização para incineradores de resíduos sólidos urbanos na região metropolitana do Rio de Janeiro / Thamires Sandonatto de Oliveira. – 2020.
93f.

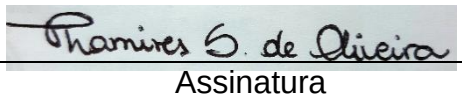
Orientadora: Camille Ferreira Mannarino.
Coorientadora: Renata de Saldanha da Gama Gracie Carrijo.
Dissertação (Mestrado) – Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Faculdade de Engenharia.

1. Engenharia ambiental - Teses. 2. Gestão integrada de resíduos sólidos - Teses. 3. Incineradores - Teses. 4. Sistemas de informação geográfica - Teses. I. Mannarino, Camille Ferreira. II. Carrijo, Renata de Saldanha da Gama Gracie. III. Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Faculdade de Engenharia. IV. Título.

CDU 628.474.3

Bibliotecária: Júlia Vieira – CRB7/6022

Autorizo, apenas para fins acadêmicos e científicos, a reprodução total ou parcial desta tese, desde que citada a fonte.



Assinatura

26/01/2021

Data

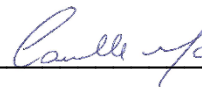
Thamires Sandonatto de Oliveira

Análise de localização de Incineradores de Resíduos Sólidos Urbanos na Região Metropolitana do Rio de Janeiro

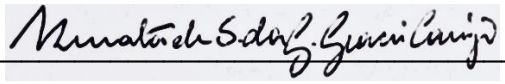
Dissertação apresentada, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre, ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de concentração: Tratamento e Destino Final de Resíduos Sólidos.

Aprovado em: 29 de outubro de 2020.

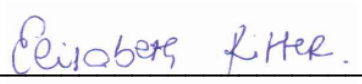
Banca Examinadora:



Prof.ª Camille Ferreira Mannarino, DSc. (Orientadora)
Escola Nacional de Saúde Pública Sergio Arouca – ENSP/ FIOCRUZ



Prof.ª Renata de S. da Gama Gracie Carrijo, DSc. (Coorientadora)
Instituto de Comunicação e Informação Científica e Tecnologia em Saúde – ICICT/ FIOCRUZ



Prof.ª Elisabeth Ritter, DSc.
Faculdade de Engenharia – UERJ

Prof. João Alberto Ferreira, DSc.
Faculdade de Engenharia – UERJ

Fabiane Bertoni dos Reis, DSc.
Universidade Federal Fluminense – UFF

Rio de Janeiro

2020

DEDICATÓRIA

Dedico aos meus pais e minhas orientadoras por terem me dado todo apoio e incentivo necessário para chegar até aqui.

AGRADECIMENTOS

Meus sinceros agradecimentos a todos que contribuíram para a elaboração deste trabalho, com destaque a algumas pessoas em especial.

As melhores orientadoras, Camille e Renata, que inegavelmente me estimularam, apoiaram, ensinaram e deram valiosas sugestões.

Aos professores do PEAMB, por todo conhecimento a mim transmitidos. Em especial aos professores João e Beth por todo apoio e incentivo desde a época da graduação.

Aos amigos do mestrado e do laboratório, pela convivência, amizade e incentivo, dos quais jamais esquecerei.

A Julia e ao Felipe, por todo apoio e auxílio com o desenvolvimento da pesquisa. As minhas amigas Mariana, Julia e Luiza por todo incentivo e apoio durante todo o processo do mestrado.

Aos meus pais que me apoiaram durante toda a minha vida acadêmica, sempre acreditando em mim.

A força não provém da capacidade física. Provém de uma vontade indomável.

Mahatma Gandhi

RESUMO

OLIVEIRA, T. S. de. *Análise de localização de incineradores de resíduos sólidos urbanos na região metropolitana do Rio de Janeiro.* 2020. 93f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2020.

A gestão de Resíduos Sólidos Urbanos é uma preocupação ambiental importante devido ao rápido crescimento populacional, que acarreta maior produção de resíduos, ao mesmo tempo, que demanda maior disponibilidade de áreas para sua disposição final. Uma das alternativas para compor um sistema de gestão integrada de resíduos sólidos é a incineração, possibilitando a geração de energia, o que é incentivado pela Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) e reduzindo a demanda de áreas para Aterros Sanitários. Diante desse cenário, a presente pesquisa buscou desenvolver e aplicar um método de escolha locacional para incineradores de resíduos sólidos urbanos na Região Metropolitana do Rio de Janeiro (RMRJ). Para tal foram utilizadas técnicas de geoprocessamento através de ferramentas de Sistemas de Informações Geográficas (SIG). Foram avaliados dez critérios, categorizados como premissas básicas, critérios de exclusão e critérios de classificação. O somatório de todos os critérios deu origem a áreas favoráveis a locação de plantas de incineração. O resultado apresenta que a Região Metropolitana do Rio de Janeiro dispõe de seis áreas favoráveis à localização de plantas de incineração.

Palavras-chave: Análise de Localização; SIG; Incineração; Resíduos Sólidos Urbanos (RSU).

ABSTRACT

OLIVEIRA, T. S. de. *Location analysis for Urban Solid Waste Incineration in the Metropolitan Region of Rio de Janeiro.* 2020. 93f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2020.

The management of municipal solid waste is an important environmental concern due to the rapid population growth, which leads to greater production of waste, at the same time, which demands greater availability of areas for disposal. One of the alternatives to compose an integrated solid waste management system is waste-to-energy, enabling the energy generation, which is encouraged by the Brazilian National Policy on Solid Waste (PNRS) and reducing the demand for landfill areas. In view of this scenario, the present research proposed to develop and apply a method of locational choice for waste-to-energy of municipal solid waste in the Metropolitan Region of Rio de Janeiro (RMRJ). Geoprocessing techniques were used through geographic information systems (GIS) tools. Ten criteria were evaluated, categorized as basic premises, exclusion and classification criteria. The sum of all criteria gave rise to the final product, that is, the areas favorable to the rental of incineration plants. The result shows that the Metropolitan Region of Rio de Janeiro has six favorable areas for the location of incineration plants.

Keywords: Location Analysis; GIS; Incineration; Municipal Solid Waste (MSW).

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Etapas de um Incinerador de Resíduos Sólidos Urbanos 19
Figura 2 - Distribuição dos resíduos sólidos por tipos de tratamento e destinação final na UE, em 2018. 22
Figura 3 - Distribuição dos resíduos sólidos por tipos de tratamento e destinação final em 20 estados norte-americanos, em 2018 23
Figura 4 - Crescimento do número de Incineradores na China entre os anos de 2004 e 2018 24
Figura 5 - Divisão da Região Metropolitana do Rio de Janeiro feita pela Câmara Metropolitana do Rio de Janeiro 32
Figura 6 - Divisão da Região Metropolitana do Rio de Janeiro em 5 regiões 33
Figura 7 - Fases da presente pesquisa 40
Figura 8 - Classificação do relevo da RMRJ segundo classificação da EMBRAPA 49
Figura 9 - Aglomerados subnormais existentes na RMRJ 50
Figura 10 - Terrenos sujeitos a inundação existentes na RMRJ 51
Figura 11 - Áreas verdes protegidas existentes na RMRJ 53
Figura 12 - Localização das Subestações de Transmissão de Energia Elétrica existentes na RMRJ 55
Figura 13 - Localização dos Aterros Sanitários existentes na RMRJ 56
Figura 14 - Localização das Estações de Transbordo de Resíduos Sólidos Urbanos existentes na RMRJ 58
Figura 15 - Distribuição do abastecimento de água por rede geral na RMRJ 63
Figura 16 – Disponibilidade de arruamento na RMRJ 65
Figura 17 - Classificação da declividade na RMRJ 66
Figura 18 - Classificação das áreas de aglomerados subnormais na RMRJ 67
Figura 19 - Classificação das áreas de terrenos sujeitos a inundação na RMRJ .. 68
Figura 20 - Classificação das áreas verdes protegidas existentes na RMRJ 69
Figura 21 - Classificação das áreas de influência das subestações de energia elétrica na RMRJ 70
Figura 22 - Classificação das áreas de influência dos aterros sanitários na RMRJ 71

Figura 23 - Classificação das áreas de influência das estações de transbordo de resíduos sólidos urbanos na RMRJ 72
Figura 24 - Classificação da área de influência da alta densidade de edificações na RMRJ 73
Figura 25 - Resultado da álgebra de mapas 74
Figura 26 - Identificação das áreas mais favoráveis ao empreendimento (≥ 90%) 75
Figura 27 - Identificação das áreas favoráveis sobreposto com abastecimento de água por rede geral 76
Figura 28 - Análise visual da área 01 77
Figura 29 - Análise visual da área 02 78
Figura 30 - Análise visual da área 03 80
Figura 31 - Análise visual da área 04 81
Figura 32 - Análise visual da área 05 82
Figura 33 - Análise visual da área 06 83

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Critérios para determinação da localização de Aterros Sanitários 29
Tabela 2 - Resumo de estudos que utilizam técnicas de geoprocessamento para alocação de empreendimentos 30
Tabela 3 - Dados populacionais, de área e densidade demográfica dos municípios da Região Metropolitana do Rio de Janeiro 34
Tabela 4 - PIBs dos municípios da Região Metropolitana do Rio de Janeiro 35
Tabela 5 - Distribuição das Áreas Protegidas e Áreas Verdes nos municípios da RMRJ 36
Tabela 6 - Resíduos sólidos domiciliares e públicos coletados por municípios da RMRJ 37
Tabela 7 - Custos do manejo dos resíduos por Municípios da RMRJ 38
Tabela 8 – Critérios utilizados na pesquisa, suas fontes e formato do dado 42
Tabela 9 - Critérios analisados na pesquisa e sua respectiva classificação 44
Tabela 10 - Divisão das classes do índice do serviço de abastecimento de água por rede geral 46
Tabela 11 - Classificação do relevo quanto à sua declividade 48
Tabela 12 - Critérios classificatórios e os respectivos pesos pelas distâncias das áreas de influências 54
Tabela 13 - Incineradores localizados em países europeus, os tipos de resíduos recebidos por eles e sua capacidade de resíduos 60
Tabela 14 - Incineradores dimensionados, seus endereços e suas áreas 61

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CEWEP	Confederation of European Waste-to-Energy Plants
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
ETE	Estação de Tratamento de Esgoto
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INDE	Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais
INEA	Instituto Estadual do Ambiente
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
MMA	Ministério do Meio Ambiente
NBR	Norma Técnica
PIB	Produto Interno Bruto
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
PROSAB	Programa de Pesquisas em Saneamento Básico
RDO	Resíduo Sólido Domiciliar
RM	Região Metropolitana
RMRJ	Região Metropolitana do Rio de Janeiro
RPU	Resíduo Público
RSU	Resíduo Sólido Urbano
SIG	Sistema de Informações Geográficas
SNIS	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento
UE	União Europeia
URE	Usina de Recuperação Energética
UTM	Universal Transversa de Mercator

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO **14**

OBJETIVO GERAL **16**

1. REFERENCIAL TEÓRICO **17**

1.1 Incineração de resíduos sólidos urbanos 17

1.1.1 Descrição geral de um sistema de incineração 18

1.2 Incineração na gestão de resíduos sólidos urbanos 21

1.3 Análise de localização 25

1.3.1 Utilização de Sistemas de Informações Geográficas (SIG) para localização 27

1.3.2 Fundamentos cartográficos para determinação de localização de área no ambiente SIG 28

1.3.3 Localização na gestão de resíduos sólidos 28

1.4 Área de estudo 31

2 MATERIAIS E MÉTODOS **40**

2.1 Fonte dos dados 42

2.2 Álgebra de mapas para elaboração de mapas de favorabilidade locacional 43

2.3 Análise de dados 43

2.3.1 Definição dos critérios utilizados 43

2.3.1.1 Premissas Básicas 44

2.3.1.2 Critérios de exclusão 47

2.3.1.3 Critérios de classificação 53

2.4 Tamanho da área necessária para a implantação de um incinerador 59

2.5 Identificação de áreas de localização favorável à implantação de incineradores 61

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO **63**

3.1 Premissas Básicas 63

3.2 Critérios de exclusão 65

3.3 Critérios Classificatórios 69

3.4 Álgebra de mapas 73

3.5 Localização de terrenos disponíveis 76

CONCLUSÃO **85**
REFERÊNCIAS **87**

INTRODUÇÃO

O aumento populacional, a elevação do padrão de vida nas cidades, a expansão das áreas urbanas e as mudanças no comportamento de consumo levaram ao aumento considerável no volume de resíduos sólidos gerados nas áreas urbanas (MANNARINO, FERREIRA, GANDOLLA, 2016; SINGH, 2019; HATAMLEH et al., 2020). Isso tornou extremamente importante o gerenciamento eficaz dos resíduos sólidos urbanos (RSU), porque a sua gestão ineficiente impactará negativamente os recursos naturais e degradará o meio ambiente (JARDIM et al., 2018; HATAMLEH et al., 2020).

O desenvolvimento das áreas urbanas impacta na escassez de grandes áreas disponíveis para a construção e operação de aterros sanitários (YADAV et al., 2017). A localização atual dos aterros sanitários distante do núcleo populacional implica no distanciamento entre o núcleo gerador dos resíduos e a destinação final, provocando o aumento do custo total do gerenciamento dos resíduos, o que pode impactar na eficácia da gestão adequada dos mesmos, prejudicando o meio ambiente (RATHORE, SARMAH, 2019).

Visando uma alternativa para a problemática encontrada nas regiões metropolitanas, densamente povoadas, tem-se como uma opção o uso de incineradores de resíduos sólidos urbanos próximos aos núcleos produtores de resíduos. Locando os incineradores dentro ou próximo das áreas urbanas otimiza-se a redução da necessidade de grandes áreas de destinação final, visto que os resíduos sofrem uma redução de 90% do seu volume após o processo de combustão (JARDIM et al., 2018). Consequentemente a quantidade de resíduos sólidos recebida pelos aterros sanitários será reduzida, aumentando a sua vida útil.

Isto posto, essa pesquisa tem por objetivo desenvolver um método de escolha locacional para implantação de incineradores de resíduos sólidos urbanos com ferramentas de geoprocessamento de sobreposição ponderada. Esse tipo de método não necessita que todas as informações estejam em uma mesma unidade de análise e assim permite utilizar, de maneira mais ágil, dados gerados por diferentes instituições responsáveis por levantamentos oficiais. Entende-se que uma escolha adequada da localização contribuirá para que os incineradores sejam construídos próximos ao núcleo gerador dos resíduos, respeitando a legislação,

com menos impactos ao meio ambiente e com otimização de recursos financeiros para sua construção, no transporte de resíduos para incineração e na distribuição da energia gerada pelos incineradores.

A dissertação está dividida em 4 partes seguidas das referências bibliográficas. A incineração de resíduos sólidos e a caracterização da área estudada são explanadas na parte 1, referencial teórico. Os critérios e métodos utilizados para atingir os objetivos são descritos na parte 2, materiais e métodos. A parte 3 discute os resultados encontrados pela análise de sobreposição ponderada nos resultados e discussão. E, finalmente, a parte 4 resume as conclusões da análise.

OBJETIVO GERAL

Desenvolver um método de escolha locacional com uso de ferramentas de geoprocessamento, para implantação de incineradores de Resíduos Sólidos Urbanos, por meio de simulação para Região Metropolitana do Rio de Janeiro.

Objetivos Específicos

- Definir etapas para desenvolvimento de um método de escolha locacional para incineradores de resíduos sólidos urbanos.
- Aplicar o método de escolha locacional para incineradores de resíduos sólidos urbanos na Região Metropolitana do Rio de Janeiro.
- Elaborar mapas de favorabilidade locacional para implantação de incineradores de resíduos sólidos urbanos na Região Metropolitana do Rio de Janeiro.

1. REFERENCIAL TEÓRICO

1.1 Incineração de resíduos sólidos urbanos

Datada de 1876, a incineração teve seu surgimento na Inglaterra, onde os resíduos eram incineradores em câmaras de combustão (DI CHIRICO, 1996). A incineração surgiu apenas com o objetivo de reduzir o volume dos resíduos, sem preocupação com o meio ambiente ou com os trabalhadores que auxiliavam no seu funcionamento. Estes eram expostos a chamas, material particulado, odores e gases sem tratamentos.

Com o passar do tempo, os incineradores foram aprimorados, atingiram a mecanização e automatização na alimentação do forno, homogeneização dos resíduos e extração das cinzas. A primeira geração de incineradores existiu entre os anos 1950 a 1965 (DI CHIRICO, 1996; HENRIQUES, 2004). Naquela época, o único objetivo era reduzir o volume dos resíduos (DI CHIRICO, 1996; HENRIQUES, 2004). Os gases produzidos durante a combustão eram lançados na atmosfera apenas com um processo de resfriamento (DI CHIRICO, 1996; MORGADO e FERREIRA, 2006).

Na segunda geração de incineradores, entre os anos 1965 e 1975, pôde ser percebida maior preocupação com os aspectos ambientais, destacando-se a instalação de filtros para materiais particulados (DI CHIRICO, 1996; HENRIQUES, 2004). Outro avanço tecnológico proporcionado na segunda geração foi o aproveitamento energético decorrente do processo de combustão (DI CHIRICO, 1996; HENRIQUES, 2004; MORGADO e FERREIRA, 2006). Esta geração de incineradores terminou no ano de 1975, com a construção de plantas de maior capacidade (DI CHIRICO, 1996; HENRIQUES, 2004).

A terceira geração durou de 1975 a 1990 (DI CHIRICO, 1996; HENRIQUES, 2004). Foi nesse período que houve a maior aproximação da população às questões ambientais, exigindo-se maior controle sobre as atividades poluidoras (DI CHIRICO, 1996; VEHLOW, 2015). Consequentemente desenvolveram-se sistemas complexos de filtração e lavagens de gases, com a finalidade de conter a poluição atmosférica. Buscou-se a neutralização de ácidos (HCl, SO_x, HF) e a redução de concentração

de metais (HENRIQUES, 2004). Obteve-se melhoria no processo de combustão com a potencialização dos fornos e como resultado conquistou-se o aumento da recuperação de energia dos resíduos (HENRIQUES, 2004; MORGADO e FERREIRA, 2006).

De 1990 até os dias atuais, tem-se a quarta geração de incineradores de resíduos sólidos urbanos (DI CHIRICO, 1996). Entre 1990 e 2010, foi a época em que ocorreu o mais rápido aumento no número de plantas de incineração em todo o mundo (MAKARICHI et al., 2018). Nesta fase, aumentou o rigor da legislação ambiental praticada na maioria dos países, implicando no aprimoramento das tecnologias de incineração, que buscam minimizar cada dia mais o impacto causado ao meio ambiente com seu funcionamento (DI CHIRICO, 1996; MAKARICHI et al., 2018).

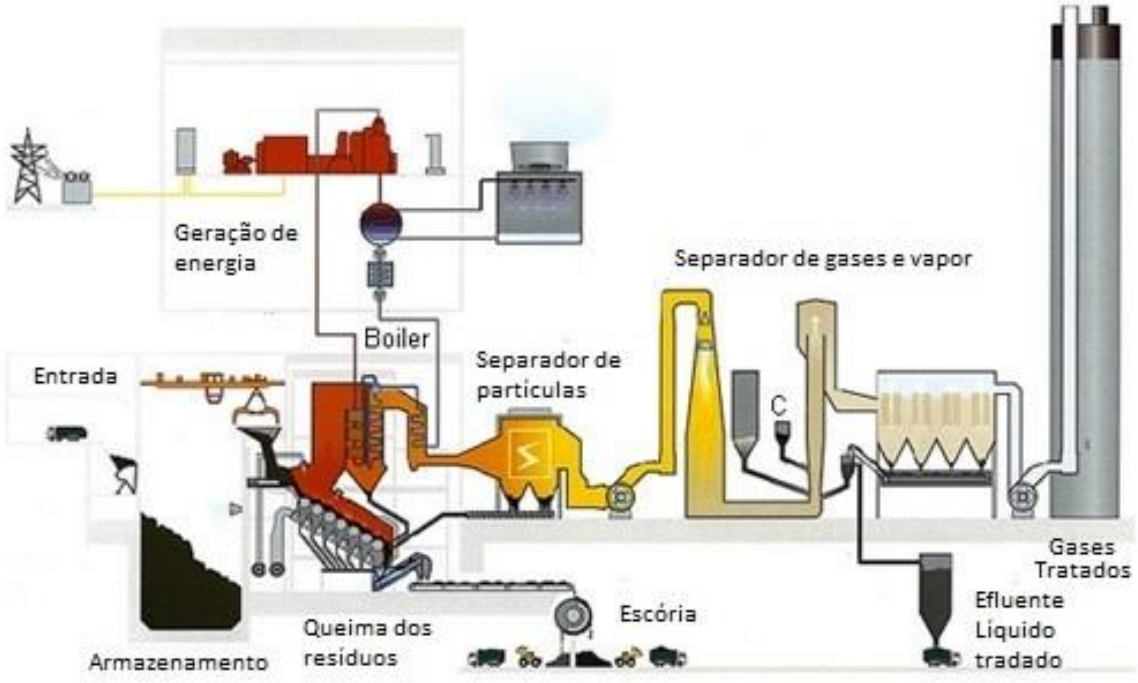
O avanço tecnológico traz melhorias aos equipamentos utilizados, aos métodos empregados, aumentando a eficiência das plantas.

1.1.1 Descrição geral de um sistema de incineração

Os Incineradores podem ter configurações diferentes, mas de forma básica eles contêm as seguintes etapas, como ilustrado pela Figura 1:

- Entrada: local onde ocorre a recepção, armazenamento e preparo dos resíduos sólidos para a queima;
- Queima dos resíduos;
- Tratamento dos gases: separador de partículas, de gases e de vapor;
- Geração de energia: térmica e/ou elétrica;
- Produção de:
    - Escória
    - Efluente líquido tratado
    - Gases tratados

Figura 1 - Etapas de um Incinerador de Resíduos Sólidos Urbanos



Fonte: Adaptado de <https://www.no-burn.org/wp-content/uploads/WTE-schematic.jpg>

O preparo dos resíduos para a queima consiste na mistura entre os resíduos existentes no fosso de recebimento e armazenamento e os dispostos recentemente. Essa mistura tem como objetivo a homogeneização dos resíduos a serem enviados a queima. Essa homogeneização é importante para garantir a estabilidade do poder calorífico dos resíduos, o qual indica o potencial do material de desprender calor quando queimado (SOARES, 2011). Para que a combustão seja eficiente, é necessário que não haja muita oscilação na temperatura do forno. Para manter a temperatura constante e, consequentemente, a queima ininterrupta e completa dos resíduos, além da máxima geração de energia, é necessário um poder calorífico com poucas variações (HENRIQUES, 2004).

A combustão dos resíduos acontece em dois estágios. No primeiro estágio os resíduos são submetidos a temperaturas de 500°C a 900°C, por cerca de 30 minutos. Nesse momento, algumas substâncias presentes se tornam gases e outras assumem formas de pequenas partículas (MORGADO e FERREIRA, 2006). A queima nessas condições evita a volatilização de grandes quantidades de metais presentes nos resíduos, como chumbo, cádmio, cromo, mercúrio, entre outros, e minimiza a formação de óxidos nitrosos que surgem sob temperaturas mais

elevadas (HENRIQUES, 2004; MORGADO e FERREIRA, 2006; MARCHEZETTI, 2009).

Os gases e partículas provenientes do primeiro estágio são encaminhados para o segundo estágio, chamado de câmara secundária. A temperatura dessa câmara varia entre 750°C e 1250°C e o tempo de duração desse estágio é de 2 a 3 segundos (HENRIQUES, 2004; MORGADO e FERREIRA, 2006; MARCHEZETTI, 2009). Nesse momento, ocorre a completa oxidação dos gases a CO_2 e H_2O (SOARES, 2011; MORGADO e FERREIRA, 2006).

Na sequência, os gases provenientes da câmara secundária são submetidos a um sistema de tratamento de poluição. Esse sistema tem como objetivo separar fisicamente os materiais sólidos (material particulado e cinzas volantes) e quimicamente os poluentes gasosos (metais, ácidos, SO_2, NO_x) (DI CHIRICO, 1996).

Os gases passam por filtros, ciclones e colunas de lavagens onde são retiradas partículas sólidas em suspensão, denominadas cinzas volantes (MORGADO e FERREIRA, 2006). Após esse processo os gases são lavados para a remoção de contaminantes, tais como HCl, HBr, HF e SO_2 (DI CHIRICO, 1996; HENRIQUES, 2004). Seguindo o curso os gases tratados são lançados na atmosfera por meio das chaminés (MORGADO e FERREIRA, 2006).

Nos incineradores com recuperação energética, os gases quentes provenientes do processo da queima de resíduos são conduzidos para um sistema de boiler, constituído por tubulações preenchidas por água. A troca de calor entre os gases e água do interior das tubulações produz vapor em alta pressão. Após passar por redutores de pressão, parte desse vapor pode ser canalizado para uso diretamente em instalações industriais ou redes de calefação e parte pode ser encaminhada para alimentação de conjuntos turbogeradores, onde é produzida energia elétrica (DI CHIRICO, 1996).

A água proveniente da etapa de tratamento de gases deve ser tratada, produzindo o efluente compatível com a legislação local de descarte de efluentes (DI CHIRICO, 1996; HENRIQUES, 2004; MORGADO e FERREIRA, 2006).

É importante destacar que tanto os gases emitidos pela chaminé quanto os efluentes líquidos tratados e a disposição de escórias devem atender às normas ambientais vigentes na região. Se for cumprida a legislação vigente – desde que ela seja compatível com rigorosos padrões internacionais – a contribuição de impactos

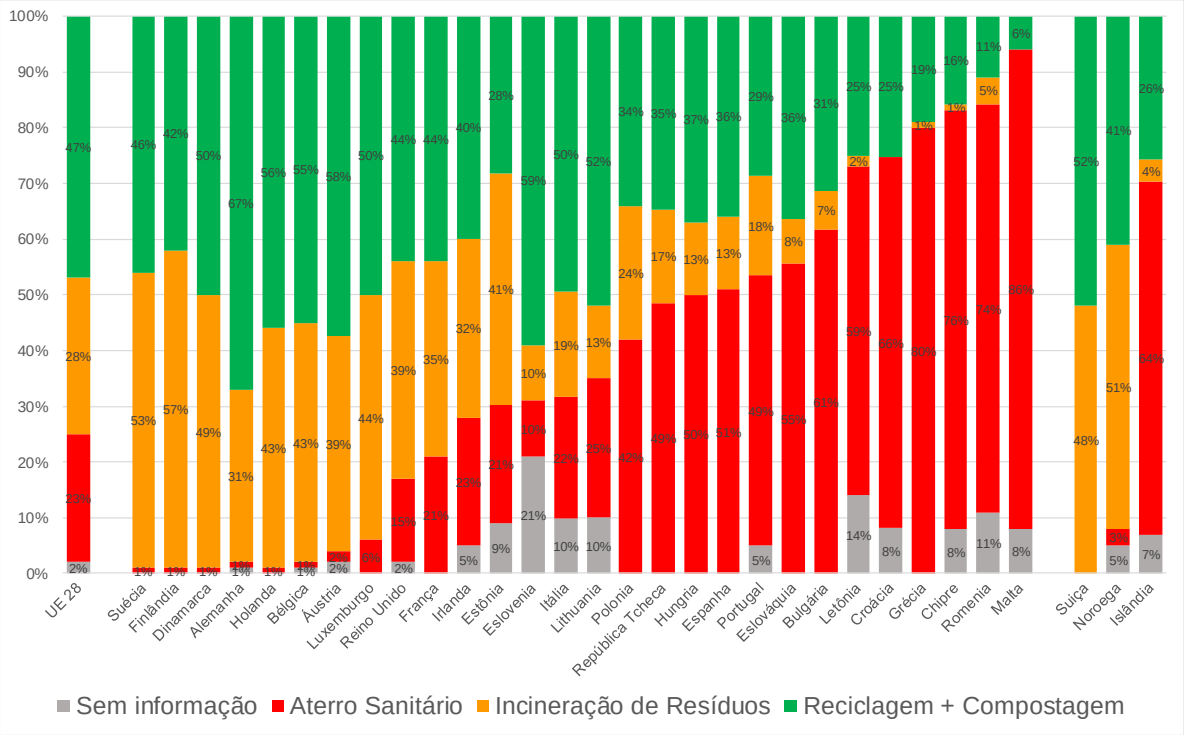
por parte dos incineradores será mínima, não provocando danos ao homem e ao meio ambiente (MAKARICHI et al., 2018).

1.2 Incineração na gestão de resíduos sólidos urbanos

Nos dias atuais, a Incineração é uma tecnologia de tratamento de resíduos sólidos urbanos bem difundida entre os países da União Europeia (UE), assim como EUA, Japão e China. Há cerca de 2.450 plantas de incineração ativas em todo o mundo (ECOPROG, 2019). De acordo com a *Confederation of European Waste-to-Energy Plants* - CEWEP, no ano de 2018, 28% dos resíduos sólidos produzidos nos 28 países membros da UE foram direcionados para a Incineração, enquanto 47% foram reciclados e/ou seguiram para compostagem e apenas 23% foram encaminhados para aterros sanitários. Na Europa, em 2017, havia 492 plantas (incineradores) distribuídas por 22 países (CEWEP, 2017).

Na Figura 2, é possível visualizar que existe uma disparidade grande entre alguns países membros da UE. Enquanto há países que encaminham para aterros sanitários apenas 1% dos seus resíduos produzidos - reciclando, compostando e incinerando quase a totalidade dos resíduos - há outros que não contam com a incineração como um tipo de tratamento intermediário para os resíduos gerados, a fim de minimizar a quantidade enviada para os aterros. Essa disparidade está atrelada à organização dos sistemas de gestão de resíduos, assim como à capacidade de investimento no setor (JARDIM et al., 2018).

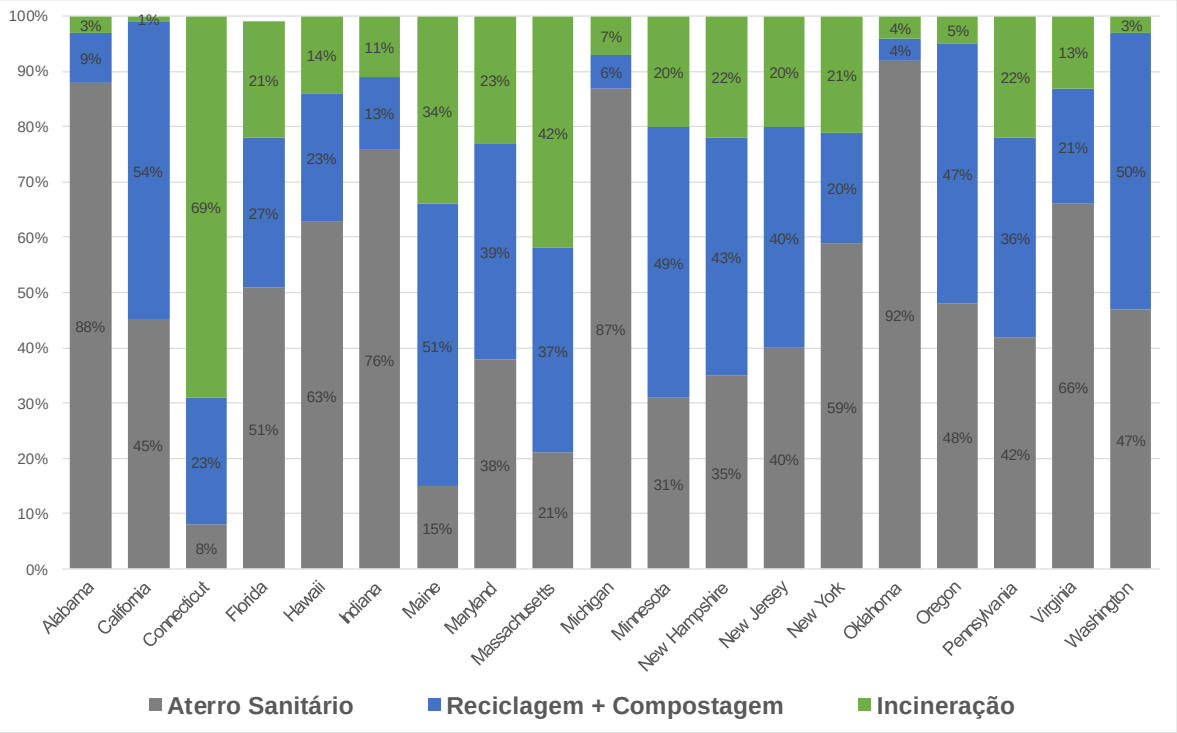
Figura 2 - Distribuição dos resíduos sólidos por tipos de tratamento e destinação final na UE, em 2018.



Fonte: Adaptado do CEWEP; 2018

Nos Estados Unidos da América (EUA), no ano de 2018, havia 58 plantas de incineração de resíduos sólidos urbanos, distribuídas por 20 estados (MICHAELS, KRISHNAN, 2018). A combustão de resíduos sólidos é responsável por uma pequena parcela do tratamento dos resíduos norte-americanos, como apresentado na Figura 3, que mostra a distribuição dos resíduos por tipo de tratamento e destino final, em 20 estados.

Figura 3 - Distribuição dos resíduos sólidos por tipos de tratamento e destinação final em 20 estados norte-americanos, em 2018

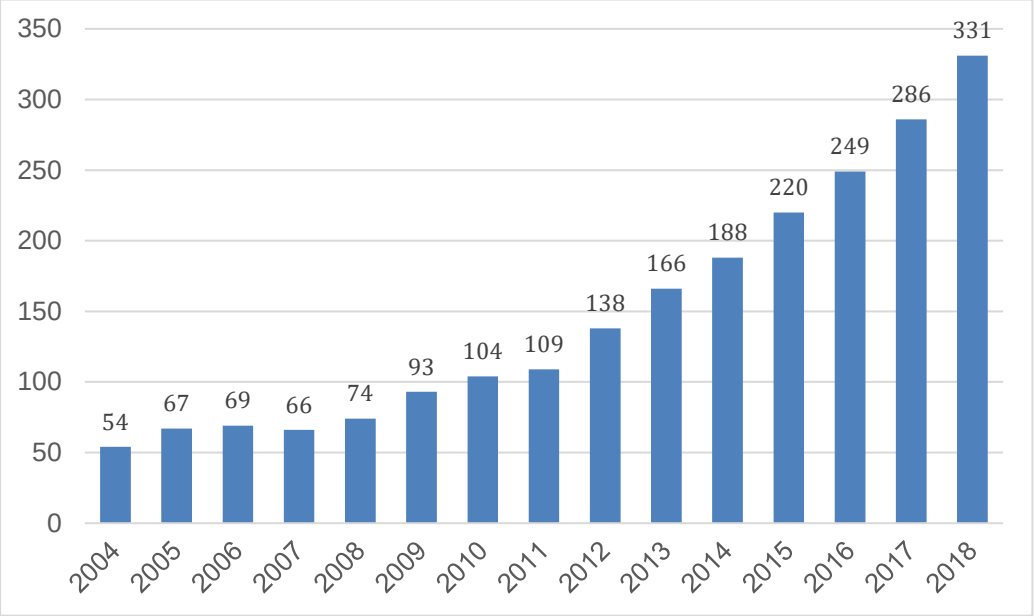


Fonte: Adaptado de MICHAELS; KRISHNAN, 2018

Os EUA são um país com grande extensão de área, o que torna o aterro sanitário uma tecnologia mais atrativa, especialmente no curto prazo, devido ao seu baixo custo para implantação comparado à incineração (ENERGY, 2020). O cenário americano é bem diferente de muitos países, onde a população é densa e a disponibilidade de terra é limitada, como por exemplo em alguns países europeus e o Japão (ENERGY, 2020).

Em um cenário diferente dos EUA, está a China, com grande crescimento na incineração. A China é um país com grande extensão de área, mas extremamente populoso, com densidade de 150,51 pessoas/km² (POPULATION, 2019). A Figura 4 apresenta o crescimento do número de plantas de incineração na China ao longo de 15 anos.

Figura 4 - Crescimento do número de Incineradores na China entre os anos de 2004 e 2018



Fonte: Adaptado de NATIONAL, 2020

Na China, a incineração e os aterros sanitários são os principais métodos de tratamento e disposição final de resíduos, mas, mudanças na destinação dos resíduos sólidos vêm acontecendo (CHI, 2017). A tendência na gestão integrada dos resíduos chinesa é a redução do número de aterros sanitários e o aumento das plantas de incineração, impulsionada pela limitação de áreas disponíveis para a construção de novos aterros (CHI, 2017). Na Figura 4, é possível ver que, em 15 anos, houve um crescimento de 612% no número de plantas de incineração no país.

A gestão integrada dos resíduos sólidos urbanos é um grande desafio para os países em desenvolvimento, como a China e o Brasil (NASCIMENTO et al., 2015).

A gestão integrada de resíduos pode ser definida como a seleção e aplicação de técnicas, tecnologias e programas de gestão adequados para alcançar objetivos e metas específicos de gestão de resíduos (JULIATTO, CALVO, CARDOSO, 2011). No Brasil, a gestão de resíduos é regulada pela Lei 12.305/10, que instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos - PNRS (BRASIL, 2010).

A PNRS tem como objetivo proteger a saúde pública e o meio ambiente, incentivando a não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento e a disposição final adequada dos resíduos sólidos (BRASIL, 2010). A PNRS prioriza a prevenção e a redução na geração dos resíduos sólidos. Não sendo possível, os

rejeitos, aquilo que não pode ser reciclado ou reaproveitado por nenhum tipo de processo tecnológico, devem ser encaminhados para a disposição final ambientalmente adequada visando o menor impacto ambiental possível (BRASIL, 2010).

Diante do contexto de buscar o melhor gerenciamento para os resíduos sólidos, a PNRS apresenta como um dos instrumentos o incentivo à cooperação técnica e financeira entre os setores públicos e privados para desenvolvimento de pesquisas visando novos produtos, métodos e tecnologias que tratem os resíduos sólidos (BRASIL, 2010).

A PNRS incentiva o desenvolvimento de sistemas de gestão ambiental onde se busca o reaproveitamento dos resíduos, incluindo a recuperação e o aproveitamento energético dos mesmos (BRASIL, 2010). Vale ressaltar que a PNRS preconiza que a utilização de tecnologias que buscam a recuperação energética dos resíduos deve estar atrelada à implantação de programa de monitoramento de emissão de gases tóxicos (BRASIL, 2010).

Atualmente, não existe nenhum incinerador de resíduos sólidos urbanos (RSU) em operação no Brasil, mas existem pelo menos dois empreendimentos já com licença ambiental prévia, como exemplos a Usina de Recuperação de Energia (URE) a ser instalada em Barueri e a URE Caju, no Rio de Janeiro. A primeira unidade a conseguir licença foi a Usina de Tratamento Térmico de Resíduos Sólidos Urbanos e Recuperação Energética a ser instalada em Barueri, no estado de São Paulo (BARUERI, 2018). A URE Barueri prevê potencial de tratar até 825 t/dia de RSU (ABREN, 2019). A segunda URE a conseguir a licença prévia é a URE Caju, que se localizará na cidade do Rio de Janeiro e estima tratar 1.200 t./dia de RSU (ABREN, 2019). Assim como essas UREs existem outras em processo de licenciamento ambiental, duas em Brasília e duas em São Paulo, sendo uma em Mauá e outra em São Bernardo do Campo (ABREN, 2019).

1.3 Análise de localização

Localização é um conceito abstrato criado para referir-se a um lugar ou local que uma pessoa, objeto, fenômeno ou porção de território ocupa no espaço. O

estudo de localização é baseado na análise do sítio e da posição, o qual leva ao reconhecimento dos sistemas que organizam o espaço (DOLFUS, 1973). A essência dos problemas de localização de instalações é determinar a posição de um conjunto de instalações num determinado espaço de localização, a fim de proporcionar algum serviço a um conjunto de pessoas (BRUNO; GIANNIKOS, 2015).

A localização é de grande importância, pois dependendo de onde se posicionam os objetos geográficos na superfície terrestre, haverá impacto na construção do espaço geográfico (SANTOS, 2000) e o objeto geográfico também pode ser impactado por características físicas, como relevo, clima, hidrografia, vegetação, e a influência desses fatores naturais devem ser levados em consideração na ocupação e exploração. Os problemas de localização podem ser formulados para responder a várias questões diferentes. Não só a localização das instalações pode ser desconhecida, mas também o número de instalações e as suas capacidades (BRUNO; GIANNIKOS, 2015).

Para se determinar a localização de uma ocorrência qualquer sobre a superfície da Terra, deve-se sempre conhecer alguns elementos básicos, que podem ser definidos por duas perguntas: onde ocorre e como chegar-se até ele (DOLFUSS, 1973). A necessidade de entender a nossa localização na Terra é universal e vem desde as civilizações mais remotas, que já utilizavam os mapas como um meio de armazenar dados para veicular informações sobre a superfície terrestre (VIEIRA, 2007).

Durante o Império Romano, os agrimensores, com seus mapas, formavam um setor importante dentro da organização governamental (VIEIRA, 2007). Com o passar dos séculos, foram criadas várias ferramentas para a captura automática de dados, análise e apresentação de informações espaciais relacionadas (VIEIRA, 2007). A utilização conjunta dessas ferramentas levou ao desenvolvimento da tecnologia de processamento de dados espaciais, denominada Geoprocessamento (MAGALHÃES et al.,2006).

A análise espacial tem seu surgimento na Inglaterra em 1854, onde John Snow busca descobrir as causas da epidemia de cólera (LONGLEY et al., 2013). John sabia a localização dos casos de cólera, assim como sabia onde se localizavam as bombas de água que abasteciam a cidade (LONGLEY et al., 2013). Por meio do conhecimento dessas informações, ele buscou correlacioná-las

efetuando assim uma análise espacial que apresentou como resposta uma relação positiva entre casos de cólera e consumo de água contaminada com matérias fecais (LONGLEY et al., 2013).

As análises espaciais são fundamentais para a compreensão de fenômenos naturais e sociais. Uma análise espacial consiste em compreender a distribuição espacial de dados provenientes de fenômenos ocorridos no espaço. As análises espaciais que levantam dados e analisam as informações comunicam de maneira adequada e são grande contribuição para uma tomada de decisão mais eficiente (GUIMARAES et al., .2020).

O objetivo dos modelos de localização é encontrar a resposta para a questão “Onde?”, a qual se refere à necessidade de tomada de decisão sobre escolher o melhor local para uma ou mais instalações, a fim de minimizar distâncias, custos, ou maximizar a utilização e o lucro (COSTA, 2010; MAPA, LIMA, 2012).

1.3.1 Utilização de Sistemas de Informações Geográficas (SIG) para localização

Com o passar do tempo, as análises espaciais foram facilitadas com o desenvolvimento dos Sistemas de Informações Geográficas (SIG) (CARNASCIALI, DELARAZI, 2011). O SIG é um conjunto de métodos e sistemas que permitem a análise, coleta, armazenamento e manipulação de informações sobre uma dada área no espaço geográfico (PINTO, 2015).

Os SIGs têm como vantagem a sua capacidade de manipular dados gráficos e não gráficos de forma integrada, possibilitando que se produza uma análise espacial com consulta aos dados geográficos (FILHO, IOCHPE, 1999). Eles também são capazes de combinar dados espaciais com dados qualitativos, quantitativos e descritivos, suportando inúmeras consultas espaciais (ZAMORANO et al., 2008). Seu uso facilita a simulação de diferentes estratégias, o que aumenta, evidentemente, a possibilidade de se encontrar soluções efetivas.

O sucesso de um processo de seleção de áreas está relacionado à técnica utilizada para avaliar a adequação de todas as áreas envolvidas e selecionar um número limitado de locais para avaliações mais detalhadas. Uma técnica eficiente deve avaliar, de modo sistemático e imparcial, toda a região estudada.

Apresentando assim de forma clara e objetiva a análise desenvolvida e os resultados obtidos.

1.3.2 Fundamentos cartográficos para determinação de localização de área no ambiente SIG

A cartografia é um conjunto de técnicas usadas a fim de representar os elementos e fenômenos observados no espaço geográfico. Esse conceito deriva da necessidade do homem em conhecer o mundo que habita.

O processo cartográfico tem início na coleta de dados, envolvendo estudo, análise, composição e representação de observações, de fatos e fenômenos da superfície terrestre. Com o passar dos séculos as técnicas utilizadas para esse processo foram aprimoradas, facilitando e modificando a apresentação das informações geográficas.

O mapa é uma forma de comunicação, um instrumento de visualização de dados. Ele permite a comunicação gráfica e visual entre o produtor e o usuário.

A cartografia temática tem por objetivo representar, utilizando-se de símbolos qualitativos e/ou quantitativos, fenômenos localizáveis de qualquer natureza sobre uma base de referência. Nesse tipo de mapa são representados os fenômenos geográficos, geológicos, demográficos, econômicos, agrícolas etc., visando o estudo, à análise e a pesquisa dos temas que se deseja mapear.

É cada vez mais comum a integração de dados de diferentes naturezas para a composição de um mapeamento. A necessidade dessa integração fez crescer o uso das aplicações dos SIGs. A escolha da informação deve ser feita de acordo com o tema abordado e avaliada se atende ao objetivo que se deseja alcançar.

1.3.3 Localização na gestão de resíduos sólidos

O geoprocessamento começou a fazer parte da gestão de resíduos sólidos na análise de localização para aterros sanitários pois acelerava o processo da

escolha da área (CASTILHOS JR, 2003). Com as ferramentas do geoprocessamento, é possível ter uma melhor visualização dos critérios necessários para a tomada dessa decisão. Visualização esta extremamente necessária devido a inter-relação dos fatores fundamentais para localizar um aterro sanitário (CASTILHOS JR., 2003; LUPATINI, 2002). Por meio dos SIGs, é feita a sobreposição dos fatores, onde é possível visualizar os diferentes tipos de restrições simultaneamente facilitando a tomada de decisão (EISELT, MARIANOV, 2014).

De acordo com Castilhos Jr (2003), os critérios na Tabela 1 são alguns dos que devem ser considerados durante a escolha de área para localização de aterros sanitários. É possível ver a grande variedade de fatores a serem analisados - ambientais, de uso e ocupação do solo e operacionais.

Tabela 1 - Critérios para determinação da localização de Aterros Sanitários

Critérios ambientais	Critérios de uso e ocupação do solo	Critérios operacionais
Distância de recursos hídricos	Distância das vias	Declividade
Áreas inundáveis	Legislação municipal	Espessura do solo
Potencial hídrico	Distância aos centros urbanos	
Condutividade hidráulica do solo		
Profundidade do lençol freático		
Fauna e flora local		

Fonte: CASTILHOS JR., 2003.

Lupatini (2002) ressalta a necessidade dos municípios, sobretudo os de pequeno porte, por uma ferramenta, sob a forma de um software, para apoiar a tomada de decisão envolvendo a escolha de áreas para implantação de aterros sanitários. Segundo Lupatini (2002), o local escolhido para um aterro sanitário deve reunir um conjunto de características que têm em comum vários objetivos, como por exemplo:

- Minimizar a possibilidade de existência de impactos ambientais negativos aos meios físico, biótico e antrópico.
- Minimizar os custos envolvidos.
- Minimizar a complexidade técnica para viabilização do aterro.
- Maximizar a aceitação pública ao encontro dos interesses da comunidade.

O trabalho de Lupatini (2002) apresenta diversas metodologias utilizadas para escolha de área para disposição final de resíduos. É possível verificar que técnicas de geoprocessamento, assim como ferramentas de SIG, vêm sendo utilizadas desde 1997, como apresentadas nas pesquisas de Cintra e Barreto (1997 apud LUPATINI, 2002), por Baptista et al. (1997 apud LUPATINI, 2002), e também no trabalho de Charnpratheep et al. (1997 apud LUPATINI, 2002) (LUPATINI, 2002). A vantagem de uma abordagem baseada em SIG para a seleção de áreas para implantação de aterros sanitários é que ela não apenas reduz o tempo e o custo dispendidos na seleção do local, mas também fornece um banco de dados para monitoramento de longo prazo do local (UYAN, 2013; MAGUIRI et al., 2016).

Diversos trabalhos vêm utilizando técnicas de análise de localização, para variados tipos de empreendimentos na gestão de resíduos, como exposto na Tabela 2. As técnicas de análises espaciais foram utilizadas para localizar aterros sanitários, incineradores de resíduos perigosos, estações de transbordo e incineradores de resíduos sólidos urbanos. A Tabela 2 mostra o local de estudo, a técnica de geoprocessamento utilizada, objeto da pesquisa e autor/ano do trabalho.

Tabela 2 - Resumo de estudos que utilizam técnicas de geoprocessamento para alocação de empreendimentos

Local de estudo	Técnica de geoprocessamento	Objeto da pesquisa	Autor / Ano
Egito	Análise de adequação	Localização de plantas de incineração de RSU	Hassaan 2015
Marrocos	Sensoriamento Remoto, Análise Multicritério e GIS	Analisar critérios ambientais, sociais e econômicos para alocar aterros sanitários	Maguiri 2016
Iraque	Análise multicritério	Encontrar o lugar mais adequado para aterro sanitário	Chabuk et al. 2017
Iran	Análise Hierárquica e GIS	Identificar áreas altamente adequadas a receber aterros sanitários.	Rahmat et al. 2017
Quênia	GIS e Análise Multicritério	Identificar áreas para alocar incineradores de resíduos de saúde.	Hariz et al. 2017
Canada	Análise multicritério	Identificar as áreas mais adequadas para alocar 10 estações de conversão de resíduos.	Khan et al. 2018
Índia	Sensoriamento Remoto (SR) e GIS	Uso de SR e GIS para gerenciamento de problemas ambientais provenientes da disposição de RS.	Singh 2019
Índia	Modelo de Otimização Matemática e GIS	Alocar estações de transferência de RS.	Rathore; Sarmah, 2019

Fonte: A autora, 2020.

Geralmente, a seleção do local para uma determinada atividade requer a realização de análises de favorabilidade envolvendo, com base no tipo de atividade, uma diversidade de critérios. O principal objetivo da análise de favorabilidade, em geral, é identificar o padrão espacial mais apropriado para futuras utilizações do solo, classificando várias partes da área considerada de acordo com a sua favorabilidade para uma determinada atividade (Hassaan 2015).

A análise de favorabilidade de incineradores de resíduos sólidos urbanos deve considerar principalmente questões económicas e ambientais associadas ao seu funcionamento (Hassaan 2015). Isto significa que o local de implantação do incinerador deve mitigar os impactos ambientais adversos que possam surgir.

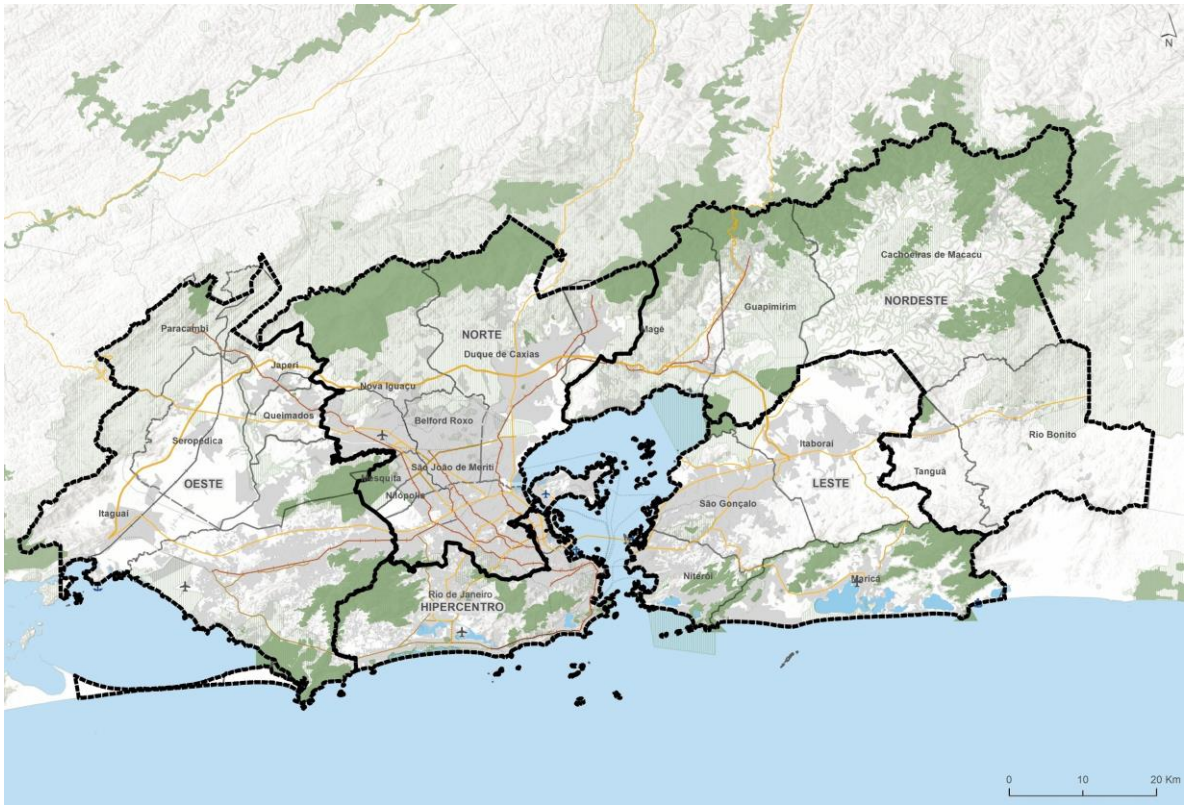
O diferencial no SIG é que ele permite que diferentes tipos de critérios, como ambientais e socioeconômicos, possam ser relacionados de forma imparcial, apenas considerando ou não o peso que o critério deve receber na análise (GAUTAM, BREMA, DHASARATHAN, 2020). A análise executada dentro do SIG não é impactada pela opinião dos especialistas, sendo totalmente imparcial (LUPATINI, 2002; EISELT, MARIANOV, 2014; RATHORE, SARMAH, 2018).

1.4 Área de estudo

Esse trabalho foi desenvolvido tendo como área de estudo a Região Metropolitana do Rio de Janeiro (RMRJ). Essa região é composta pelos seguintes municípios: Belford Roxo, Cachoeiras de Macacu, Duque de Caxias, Guapimirim, Itaboraí, Itaguaí, Japeri, Magé, Maricá, Mesquita, Nilópolis, Niterói, Nova Iguaçu, Paracambi, Queimados, Rio Bonito, Rio de Janeiro, Seropédica, São Gonçalo, São João de Meriti e Tanguá.

A região metropolitana é composta por 21 municípios, os quais foram divididos, pela Câmara Metropolitana do Rio de Janeiro (CMRJ), em regiões conforme apresentado pela figura 5.

Figura 5 - Divisão da Região Metropolitana do Rio de Janeiro feita pela Câmara Metropolitana do Rio de Janeiro

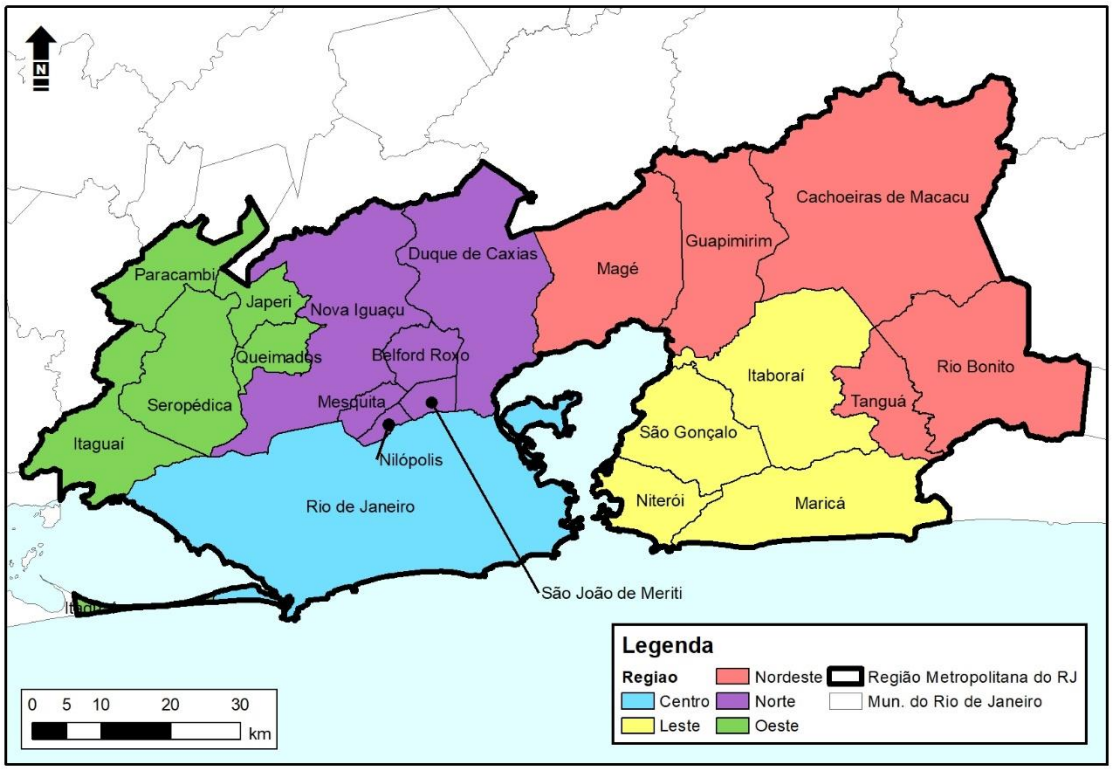


Fonte: Câmara Metropolitana do Rio de Janeiro

A região oeste é composta pelos municípios de Itaguaí, Paracambi, Japeri, Queimados, Seropédica é parte do município do rio de janeiro. A região norte pelos municípios de Nova Iguaçu, Duque de Caxias, São João de Meriti, Nilópolis, Mesquita e parte do Rio de Janeiro. A região nordeste inclui Magé, Guapimirim, Cachoeiras de Macacu, Rio Bonito e Tanguá. Enquanto a região leste é composta por Itaboraí, São Gonçalo, Maricá e Niterói. E por último a CMRJ denomina parte do município do Rio de Janeiro como hipercentro.

Visando facilitar a compreensão das discussões a serem apresentadas na pesquisa, dividiu-se a região metropolitana em 5 regiões, compostas por municípios inteiros usando como base a divisão da CMRJ, conforme apresenta a Figura 6.

Figura 6 - Divisão da Região Metropolitana do Rio de Janeiro em 5 regiões



Os 21 municípios integrantes da RMRJ ocupam uma área de 6,7 milhões de km², com a população estimada de 12,2 milhões de habitantes (CÂMARA METROPOLITANA, 2017). Esses municípios têm diferentes perfis de ocupação territorial, infraestrutura e desenvolvimento econômico.

A Tabela 3 apresenta a população de cada município assim como sua área territorial e densidade demográfica, para o ano 2020 (IBGE, 2020).

Tabela 3 - Dados populacionais, de área e densidade demográfica dos municípios da Região Metropolitana do Rio de Janeiro

Municípios	Pop. Estimada (2020)	Área (km²)	Densidade – 2020 (Hab./km²)
Belford Roxo	513.118	77,8059	6.594,846
Cachoeiras de Macacu	59.303	954,3261	62,141
Duque de Caxias	924.624	467,5982	1.977,390
Guapimirim	61.388	360,8677	170,112
Itaboraí	242.543	430,5457	563,339
Itaguaí	134.819	275,7465	488,924
Japeri	105.548	81,8467	1.289,582
Magé	246.433	388,5468	634,243
Maricá	164.504	362,7313	453,515
Mesquita	176.569	39,0555	4.520,978
Nilópolis	162.693	19,3903	8.390,439
Niterói	515.317	133,9409	3.847,346
Nova Iguaçu	823.302	521,1362	1.579,821
Paracambi	52.683	179,6124	293,315
Queimados	151.335	75,6740	1.999,829
Rio Bonito	60.573	456,7829	132,608
Rio de Janeiro	6.747.815	1200,0749	5.622,828
São Gonçalo	1.091.737	247,7700	4.406,252
São João de Meriti	472.906	35,2119	13.430,292
Seropédica	83.092	283,6602	292,928
Tanguá	34.610	145,5827	237,734
TOTAL	**12.824.912**	**6.737,9067**	-

Fonte: IBGE, 2020

De acordo com a Câmara Metropolitana do Rio de Janeiro, a RMRJ é a segunda maior área metropolitana do Brasil, a terceira da América do Sul. Na capital da RMRJ, cidade do Rio de Janeiro, encontram-se 87 sedes das maiores empresas do país, no entanto, nos arredores apenas 8 (CÂMARA METROPOLITANA, 2017). Na Tabela 4 é possível verificar a disparidade entre o Produto Interno Bruto - PIB do município sede (Rio de Janeiro) para os demais municípios da RM. O PIB é calculado baseando-se na distribuição do valor adicionado bruto a preços básicos em valores correntes das atividades econômicas. Os PIBs permitem identificar as áreas de geração de renda.

Tabela 4 - PIBs dos municípios da Região Metropolitana do Rio de Janeiro

Municípios	PIB per capita (R$) 2013	PIB Total (R$) 2013
Belford Roxo	13.247,85	5.683.684,75
Cachoeiras de Macacu	18.067,05	852.713,57
Duque de Caxias	28.730,21	20.875.278,25
Guapimirim	13.188,22	673.394,56
Itaboraí	22.282,21	4.372.327,72
Itaguaí	60.616,93	6.477.340,89
Japeri	10.162,07	935.367,35
Magé	13.105,19	2.860.874,94
Maricá	51.533,19	7.053.873,74
Mesquita	11.090,48	1.777.350,81
Nilópolis	15.960,35	2.322.637,12
Niterói	40.284,31	17.696.646,30
Nova Iguaçu	16.477,64	12.079.588,89
Paracambi	12.320,94	550.867,02
Queimados	25.961,06	3.221.935,91
Rio Bonito	23.821,77	1.234.756,65
Rio de Janeiro	43.941,25	219.879.080,82
São Gonçalo	13.714,57	13.031.872,46
São João de Meriti	14.163,02	5.873.045,29
Seropédica	22.607,97	1.657.938,95
Tanguá	14.327,43	429.994,25

Fonte: CÂMARA METROPOLITANA, 2017

A RMRJ exibe uma paisagem natural formada por baías, montanhas, praias, lagoas e rios, que se estende do nível do mar, até as maiores elevações da Serra dos Órgãos, ao norte. Isso inclui extensas áreas de cobertura vegetal, restingas e manguezais, pertencentes a um dos setores do bioma Mata Atlântica. Na RMRJ 16,5% da sua área é protegido por unidade de conservação de proteção integral (parques, reservas, estações ecológicas), contabilizando 36% do território regional ocupado por área verde (CÂMARA METROPOLITANA, 2017). O Ministério do Meio Ambiente (MMA) classifica como área verde, áreas com cobertura vegetal que contribuem de modo significativo para a qualidade de vida e o equilíbrio ambiental (CONAMA, 2006). Na Tabela 5, é possível verificar a distribuição das áreas protegidas por Unidades de Conservação de Proteção Integral (Municipal, Estadual e Federal) e áreas verdes, além dos percentuais das áreas dos territórios que representam, nos municípios da RMRJ.

Tabela 5 - Distribuição das Áreas Protegidas e Áreas Verdes nos municípios da RMRJ

Municípios	Área Protegida por Unidades de Conservação de Proteção Integral - Municipal, Estadual e Federal - (km^2)	% de Área Protegida por UC de Proteção Integral	Área Verde (km^2)	% Área Verde no município
Belford Roxo	Não há	0	6,93	8,78
Cachoeiras de Macacu	335,03	35,1	672,98	70,5
Duque de Caxias	96,18	20,59	214,3	45,88
Guapimirim	79,17	22,09	193,84	54,09
Itaboraí	7,75	1,8	90,47	21,06
Itaguaí	4,76	1,69	114,73	40,64
Japeri	Não há	0	13,35	16,35
Magé	70,73	18,1	229,4	58,71
Maricá	101,55	28,09	161,34	44,63
Mesquita	25,17	61,12	21,36	51,87
Nilópolis	0,62	3,2	0,37	1,91
Niterói	27,4	20,49	50,48	37,75
Nova Iguaçu	168,86	32,42	265,09	50,9
Paracambi	10,91	5,71	83,46	43,71
Queimados	0,62	0,82	3,22	4,25
Rio Bonito	0,44	0,1	158,67	34,53
Rio de Janeiro	221,4	18,45	361,02	30,08
São Gonçalo	1,33	0,54	56,7	22,82
São João de Meriti	0,13	0,37	0	0
Seropédica	Não há	0	28,99	10,93
Tanguá	5,12	3,58	46,42	32,46
Fonte	ICMBio, INEA	ICMBio, INEA	INEA, CMIG	INEA, CMIG

Fonte: CÂMARA METROPOLITANA, 2017

Através da Tabela 5 é possível identificar que os três municípios com maior percentual de área protegida são Mesquita, Cachoeiras de Macacu e Nova Iguaçu. Enquanto os três municípios com maior percentual de área verde são Cachoeiras de Macacu, Magé e Guapimirim. Se comparados o total de área protegida e de área verde identifica-se que 1.615 km^2 são áreas com cobertura vegetal sem proteção.

A RMRJ concentra, desde a década de 1970, mais de 70% dos habitantes do estado, caracterizando uma região que necessita de um olhar diferenciado de planejamento e gestão.

Tendo em vista o crescimento e a concentração populacional, que impactam diretamente no aumento da produção de resíduos sólidos urbanos e na diminuição de áreas disponíveis para construção de novos aterros sanitários próximos ao

centro gerador de resíduos, selecionou-se a Região Metropolitana do Rio de Janeiro como a área do estudo.

A Tabela 6 apresenta as quantidades de resíduos sólidos domiciliares e públicos (RDO e RPU) coletados nos municípios da RMRJ que prestaram essa informação ao Sistema Nacional de Informações em Saneamento - SNIS, no ano de 2018 (BRASIL, 2019). A escolha da RMRJ como área de estudos também considerou que essa região possui significativas extensões de terras disponíveis para instalação de incineradores.

Tabela 6 - Resíduos sólidos domiciliares e públicos coletados por municípios da RMRJ

MUNICÍPIOS	Quant. total (RDO + RPU) coletada (t/ano) 2018
Belford Roxo	123.615,00
Cachoeiras de Macacu	12.900,00
Duque de Caxias	522.915,60
Guapimirim	4.632,00
Itaboraí	56.943,00
Itaguaí	-
Japeri	15.291,10
Magé	88.200,00
Maricá	-
Mesquita	89.494,00
Nilópolis	-
Niterói	191.020,60
Nova Iguaçu	378.966,00
Paracambi	8.852,50
Queimados	73.500,00
Rio Bonito	25.800,00
Rio de Janeiro	3.079.233,00
São Gonçalo	230.006,30
São João de Meriti	170.400,00
Seropédica	-
Tanguá	-
TOTAL	5.033.069,10

Fonte: BRASIL, 2019

No ano de 2018 apenas 16 do total de 21 municípios pertencentes a Região Metropolitana do Rio de Janeiro, transmitiram informações ao SNIS. Apenas 7 informaram que dispõem seus resíduos sólidos em aterros sanitários (BRASIL,

2019). O número de municípios que destinam adequadamente seus resíduos dentro do universo total de municípios da RM corresponde a 34% dos resíduos coletados. Vale ressaltar que o envio de informações sobre Resíduos Sólidos e Águas Pluviais ao SNIS é voluntária, ou seja, não há nenhuma obrigatoriedade no fornecimento de informações. Contudo, os programas de investimentos do Ministério do Desenvolvimento Regional, incluindo o Programa de Aceleração do Crescimento (PAC), exigem o envio regular de dados ao SNIS, como critério de seleção, de hierarquização e de liberação de recursos financeiros.

A Tabela 7 apresenta as despesas totais com o manejo dos resíduos sólidos urbanos para os Municípios da RMRJ, assim como os custos com a coleta dos resíduos, de acordo com informações do SNIS (BRASIL, 2019).

Tabela 7 - Custos do manejo dos resíduos por Municípios da RMRJ

Município	Despesa total c/ manejo de RSU (R$/ano) (1)	Despesa total c/ coleta de RSU (R$/ano) (2)	$\frac{(1)}{(2)}$ %
Belford Roxo	24.840.000,00	24.000.000,00	97%
Cachoeiras de Macacu	4.666.835,23	2.535.282,62	54%
Duque de Caxias	129.543.149,89	42.846.675,25	33%
Guapimirim	14.321.598,24		-
Itaboraí	18.589.642,95	10.062.934,26	54%
Itaguaí	-	-	-
Japeri	12.464.891,62	4.969.677,96	40%
Magé	31.614.490,77	15.388.320,52	49%
Maricá	-	-	-
Mesquita	18.823.377,20	12.972.119,80	69%
Nilópolis	-	-	-
Niterói	245.089.294,41	26.872.351,47	11%
Nova Iguaçu	77.908.406,54	48.882.727,37	63%
Paracambi	1.147.380,96	835.380,96	73%
Queimados	19.097.780,00	11.518.000,00	60%
Rio Bonito	8.288.260,00	1.716.000,00	21%
Rio de Janeiro	1.992.825.893,04	542.247.925,50	27%
São Gonçalo	59.288.385,48	40.795.956,00	69%
São João de Meriti	57.689.072,00	18.591.696,00	32%
Seropédica	-	-	-
Tanguá	-	-	-

Fonte: BRASIL, 2019

A Tabela 7 expõe que grande parte da despesa total com o manejo dos resíduos não é proveniente do serviço de coleta. De todos os municípios da RM que responderam ao SNIS, apenas 5 tem mais que 60% das despesas totais com o serviço de manejo correspondente ao serviço de coleta dos resíduos.

Nove municípios apresentam que a maior parte de suas despesas com o manejo de resíduos não corresponde ao custo de coleta, podendo este corresponder ao custo de transporte e armazenamento. Implicando na necessidade se ter uma unidade de tratamento próximo ao núcleo gerador dos resíduos.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Determinar as possíveis áreas para localizar um incinerador de resíduos sólidos urbanos é uma tarefa complexa e demanda uma análise extensiva de diversos fatores.

Os procedimentos metodológicos do presente estudo foram baseados nas fases apresentadas a seguir, na Figura 7.

Figura 7 - Fases da presente pesquisa

A presente pesquisa parte, inicialmente, da coleta de dados secundários extraídos da literatura a fim de nortear os conceitos-chave discutidos no trabalho como exposto no Referencial Teórico. O levantamento bibliográfico permitiu visualizar a importância de uma análise espacial voltada para alocar um empreendimento considerando múltiplos fatores ligados a dinâmica socioambiental que compõem o espaço urbano.

A definição dos critérios foi feita baseada na literatura existente e experiência de visita a campo ao incinerador de resíduos sólidos urbanos da Lipor, em Maia - Portugal, em operação atualmente. Considerando que não existem muitos estudos publicados sobre análise de localização de incineradores de resíduos sólidos urbanos, também foram considerados estudos de localização de empreendimentos semelhantes, como incineradores de resíduos de saúde e localização de disposição de resíduos perigosos.

Na modelagem, foram utilizadas bases cartográficas vetoriais, em formato *shapefile*, disponibilizados pelos Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais (INDE), Instituto Estadual do Ambiente (INEA), Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e Ministério do Meio Ambiente (MMA).

Do IBGE, foi utilizada como referência a base dos municípios brasileiros, os dados do censo demográfico de 2010 (último censo realizado), as informações sobre os aglomerados subnormais, os dados de abastecimento por rede geral e densidade urbana. Do INEA, foram utilizados dados vetoriais referentes à localização das subestações de energia, localização dos aterros sanitários, localização das estações de transbordo de resíduos, assim como os terrenos sujeitos à inundação. A base das unidades de conservação (municipal, estadual e federal) foi obtida no MMA. A base do arruamento foi obtida na INDE. A declividade foi obtida no acervo do projeto Topodata do INPE, onde os dados são disponibilizados gratuitamente.

Realizada a reunião das bases cartográficas para utilização na pesquisa, foram adequados os sistemas de projeção de cada base para projeção Universal Transversa de Mercator (UTM), datum sirgas 2000, fuso 23S. Todos os dados foram trabalhados na projeção Universal Transversa de Mercator (UTM) pois ela tem como objetivo minimizar todas as deformações de um mapa a níveis toleráveis. A projeção UTM permite abranger uma área extensa em um sistema ortogonal com significativo controle de distorções. Enquanto isso um datum define o tamanho e a forma da Terra, bem como a origem e orientação do sistema de coordenadas que é usado para referenciar uma determinada posição. O datum utilizado foi o SIRGAS2000 conforme a Resolução do Presidente do IBGE Nº 1/2005, de 25/02/2005, onde este é determinado como novo do sistema de referência geodésico (IBGE, 2005).

O preparo da base espacial também precisou garantir a continuidade espacial, ou seja, todas as ilhotas e ilhas foram desconsideradas da análise e apagadas da base vetorial. No entanto, como a Ilha do Governador é um bairro próximo ao continente e ligado por pontes, no preparo da base foi vetorizada essa comunicação de forma a transformar a ilha do governador e a cidade universitária em parte do todo, isto é, ambas foram integradas ao polígono da região metropolitana.

2.1 Fonte dos dados

Visando facilitar a identificação da fonte de cada dado utilizado nesta pesquisa, foi elaborada a Tabela 12, que mostra os critérios utilizados na pesquisa, suas fontes e formato do dado obtido. As cores azul, rosa e verde usadas na tabela identificam, respectivamente, os critérios de Premissa Básica, Exclusão e Classificação.

Tabela 8 – Critérios utilizados na pesquisa, suas fontes e formato do dado

Critério	Fonte	Formato
Abastecimento de água por rede geral	Censo 2010 - IBGE	Vetorial
Arruamento para acesso a localização	INDE	Vetorial
Declividade do terreno	INPE	Raster
Aglomerados subnormais	Censo 2010 - IBGE	Vetorial
Terrenos sujeitos à inundação	INEA	Vetorial
Área verde protegida	MMA	Vetorial
Distância das Subestações de Energia Elétrica	INEA	Vetorial
Distância dos Aterros Sanitários	INEA	Vetorial
Distância das Estações de Transbordo	INEA	Vetorial
Distância da alta densidade de edificações	Malha Setorial 2019 (censo 2021) -IBGE	Vetorial

Fonte: A autora, 2020.

2.2 Álgebra de mapas para elaboração de mapas de favorabilidade locacional

A álgebra de mapas usa expressões contendo operadores e funções com dados *rasters*. Essa prática é possível porque *rasters* são geograficamente cadeias de números referenciados. A álgebra de mapas é uma forma de realizar análises espaciais mediante a criação de expressões em uma linguagem algébrica, sendo possível realizar de aritmética simples aos mais sofisticados algoritmos.

As expressões são construídas na ferramenta *raster calculator,* digitando diretamente na caixa de expressão, selecionando a opção na lista de camadas, e clicando nos botões no teclado. Quando um elemento é selecionado, ele é adicionado à expressão na caixa de expressão.

Álgebra de mapas denota o conjunto de operadores que manipulam campos geográficos. As localizações espaciais são definidas por uma matriz composta por linhas e colunas, onde cada célula é uma unidade territorial, sendo a unidade básica de um processamento, o *pixel*, o qual pode ser processado independentemente, integrado a uma vizinhança ou a uma região de elementos com o mesmo atributo. Para que seja possível somar mapas, é preciso que eles estejam em formato matricial (*rasters*), portanto, todos os dados foram convertidos para esse formato e sobrepostos e ponderados de acordo com seus pesos.

A ferramenta *raster calculator* aplica a equação matemática desejada nos dados inseridos produzindo um dado final com o resultado de tal equação. Essa ferramenta foi utilizada para somar todos os critérios eliminatórios e classificatórios.

2.3 Análise de dados

2.3.1 Definição dos critérios utilizados

Neste estudo, foi utilizado um conjunto de 10 critérios de localização, que serão detalhados no subitem seguinte. A partir de um levantamento de estudos

anteriores, os critérios foram categorizados em 3 grupos: premissas básicas, critérios de exclusão e critérios de classificação (KHAN, VAEZI, KUMAR, 2017). A Tabela 8 apresenta a divisão dos 10 critérios e suas respectivas classificações.

Tabela 9 - Critérios analisados na pesquisa e sua respectiva classificação

Tipo de Critério	Critério
Premissa Básica	Abastecimento de água por rede geral
	Arruamento para acesso à localização
Exclusão	Declividade do terreno
	Aglomerados subnormais
	Terrenos sujeitos à inundação
	Área verde protegida
Classificação	Distância das subestações de energia elétrica
	Distância dos aterros sanitários
	Distância das estações de transbordo
	Distância da alta densidade de edificações

Fonte: A autora, 2020.

Os critérios definidos como premissas básicas recebem essa classificação pois sem eles não seria possível a instalação de incineradores de resíduos sólidos no local. Ou até seria possível, no entanto, seria muito mais oneroso o projeto, podendo impactar negativamente na sua implantação.

Os critérios de exclusão foram assim nomeados pois eles determinaram quais áreas foram excluídas da análise logo de início, pois têm alguma característica que inviabiliza a construção de incineradores no local.

Os critérios de classificação têm como objetivo classificar as áreas entre as mais aptas e as menos aptas para receber o incinerador.

Todos os critérios foram trabalhos dentro do software ArcGIS Desktop 10.8, através das ferramentas descritas no decorrer do texto.

2.3.1.1 Premissas Básicas

- Abastecimento de água por rede geral:

O abastecimento de água por rede geral é de extrema necessidade nesse tipo de empreendimento pois todo o sistema de lavagem dos gases produzidos durante o processo de combustão do resíduo demanda água para que ele aconteça. Ou seja, antes dos gases serem liberados na atmosfera eles passam por um rigoroso tratamento de limpeza, o qual requer água para que funcione. Da mesma maneira que é essencial abastecimento de água para o funcionamento do boiler e para o isolamento térmico.

Sendo assim calculou-se a porcentagem da população de cada setor censitário que possui abastecimento de água potável, por meio dos dados censitários de 2010, último censo realizado até o momento utilizando a unidade de análise do setor censitário e a escolha desta análise deve-se ao fato de ser a menor unidade de análise. O cálculo efetuado foi:

$$Pop.c/\ Água\ p/\ rede\ geral = \frac{Domicílios\ particulares\ permanentes\ com\ abastecimento\ de\ água\ da\ rede\ geral}{Domicílios\ particulares\ e\ domicílios\ coletivos} \times 100$$

Vale ressaltar que se optou por utilizar o IBGE como fonte de informação ao invés do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) pois o IBGE tem como menor unidade de medida o setor censitário enquanto o SNIS trabalha com municípios. Considerando a amplitude e diversidade da área trabalhada priorizou-se a menor unidade de medida visando ter maior detalhamento na caracterização da área em estudo.

O resultado foi dividido em 4 classes. A primeira classe refere-se aos setores censitários sem abastecimento de água. A segunda abrange os setores em que a porcentagem da população que possui abastecimento de água por rede geral varia no intervalo de 0 a 50%. A terceira abrange o intervalo de 50 a 95% e a quarta classe, o intervalo de 95% a 100% da população atendida por abastecimento via rede geral.

Essa divisão de classes considerou como primeiro corte o índice de 95% pois, com valores superiores a ele pode ser considerado universal o serviço (GUANDU, 2019). Como identificou-se muitos setores censitários cujos valores

eram zeros, optou-se por diferenciar claramente as áreas sem o serviço, criando-se assim a primeira classe. Como último valor de corte foi escolhido o índice de 50% gerando assim a segunda e terceira classes. A Tabela 9 apresenta as classes e seus respectivos intervalos.

Tabela 10 - Divisão das classes do índice do serviço de abastecimento de água por rede geral

Índice do serviço de abastecimento de água por rede geral	Classe
x = 0 %	1
0 % < x < 50 %	2
50 % ≤ x < 95 %	3
95 % ≤ x ≤ 100 %	4

Fonte: A autora, 2020.

Para a análise locacional final, foi realizada a sobreposição do *raster* de favorabilidade com os setores censitários pertencentes a quarta classe, ou seja, aqueles onde o serviço de abastecimento de água é no mínimo 95%.

Partindo da consideração que o abastecimento de água por rede geral é uma premissa básica devido sua importância para o empreendimento, foi utilizada na análise final a quarta classe, as demais foram desconsideradas.

- Arruamento para acesso à localização:

Os incineradores são empreendimentos que necessitam receber constantemente grande quantidade de resíduos sólidos urbanos. O local onde for implantado o empreendimento receberá grande fluxo de caminhões com resíduos. Consequentemente, é necessário que o empreendimento tenha fácil acesso.

Sendo assim, considerou-se como premissa básica a existência de arruamento para acesso a localização.

Para o cálculo das porcentagens de áreas com esta estrutura, foi utilizado a base de arruamento da INDE, onde constam todos os tipos de vias como ruas, avenidas, estradas, rodovias etc.. Os dados vetoriais foram transformados em *raster*

através da ferramenta *feature to raster* para que, por meio da contagem de *pixels,* fosse obtido o valor da porcentagem da área total servida por arruamento.

2.3.1.2 Critérios de exclusão

Os critérios de exclusão foram trabalhados visando sua participação no somatório final dos critérios, do qual resultará o mapa de favorabilidade. Adotou-se os valores -1 e 0 para representar as áreas desfavoráveis e favoráveis, respectivamente, à implantação do empreendimento. Assumiu-se esses valores pois considerou-se que, ao serem somados critérios com pesos variados, toda vez que existir uma área desfavorável, será descontado um ponto no somatório, fazendo com que aquela área assuma um valor menor na classificação final.

- Declividade do terreno:

A declividade é a inclinação da superfície do terreno em relação à horizontal, ou seja, a relação entre a diferença de altura entre dois pontos e a distância horizontal entre esses pontos. É dada pelo ângulo de inclinação (zenital) da superfície do terreno em relação à horizontal. Os valores de declividade podem variar de 0° a 90°, e podem também ser expressos em porcentagem.

Para essa pesquisa, foi utilizado como referência a classificação sugerida pela EMBRAPA, apresentada na Tabela 10 (1999).

Tabela 11 - Classificação do relevo quanto à sua declividade

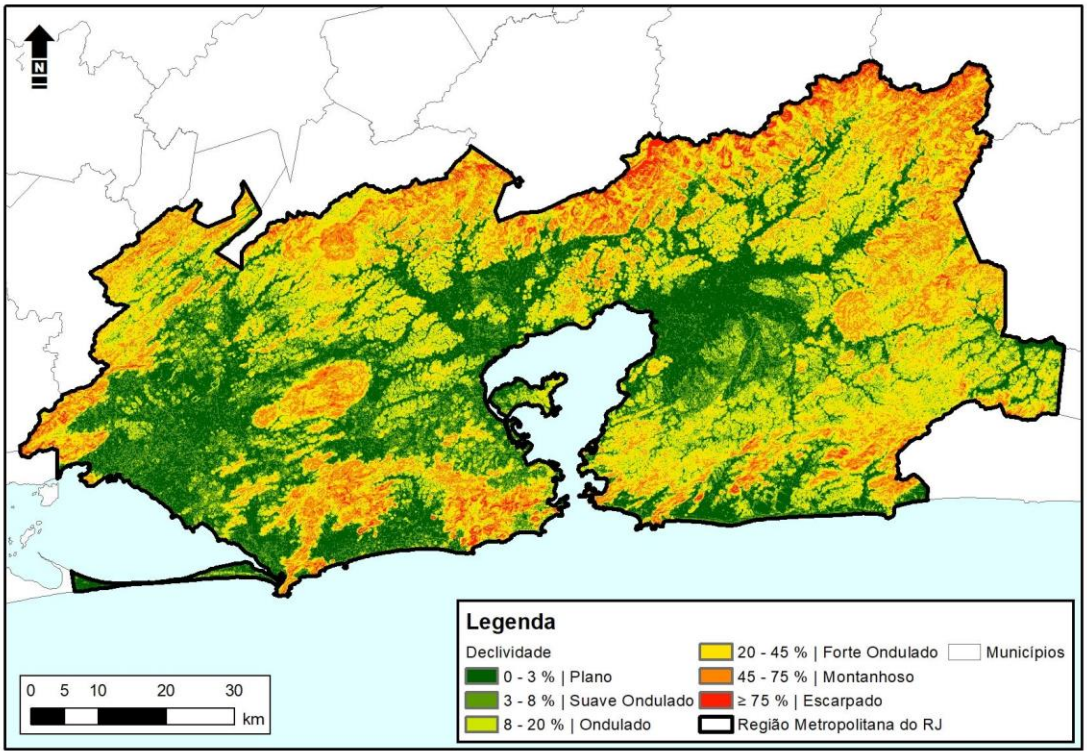
Classe do Relevo	Declividade (%)
Plano	0 – 3
Suave Ondulado	3 – 8
Ondulado	8 – 20
Forte Ondulado	20 – 45
Montanhoso	45 – 75
Escarpado	>75

Fonte: EMBRAPA; 1999.

Entre os tipos de classes de relevo definidas pela EMBRAPA, foram consideradas apropriadas as classes: plano, suave ondulado e ondulado (EMBRAPA, 1999). Para essa decisão, foi utilizado como referência a ABNT NBR 13.896, que determina os critérios para projeto de implantação e operação de aterros de resíduos não perigosos. Ela recomenda, para a construção dos aterros, locais com topografia superior a 1% e inferior a 30% (ABNT, 1997). Foi utilizada essa referência pois não existe legislação ou normas vigentes para a construção de incineradores de resíduos sólidos urbanos. Considerou-se também que um incinerador não é um empreendimento que pode ser construído em aclives e declives, requerendo cortes e/ou aterros, o que impactaria aumentando o custo da construção. As áreas cujas classes diferem-se das selecionadas foram consideradas não favoráveis na modelagem.

Como descrito anteriormente, o dado da declividade foi obtido no INPE, sendo necessário apenas a reclassificação do mesmo baseado na tabela da Embrapa, como apresentado na Figura 8, para em seguida ser feita a reclassificação entre área favorável e área desfavorável.

Figura 8 - Classificação do relevo da RMRJ segundo classificação da EMBRAPA



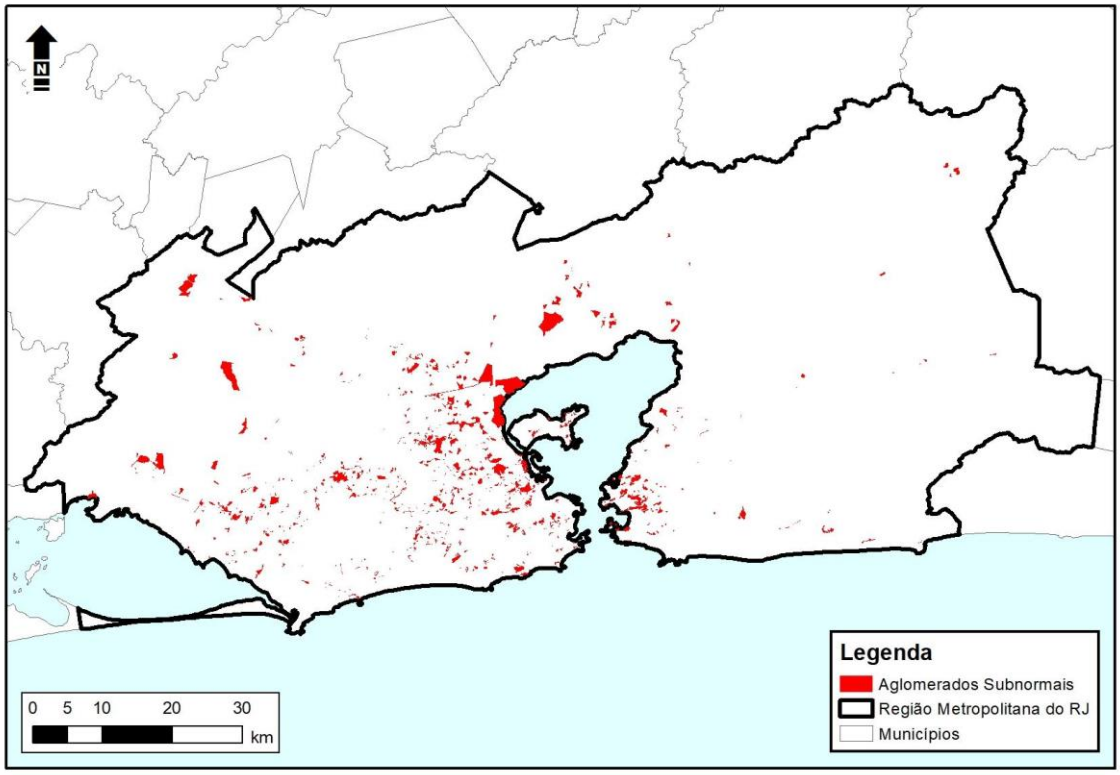
O processo de reclassificação dos dados foi feito utilizando-se a ferramenta *reclassify*, onde as classes de 0 a 20% foram reclassificadas com o valor 0 e as demais com valor de -1. Ou seja, o valor 0 corresponde a áreas favoráveis ao empreendimento enquanto o valor -1 equivale às áreas desfavoráveis.

- Aglomerados subnormais:

Aglomerado subnormal é uma forma de ocupação de terrenos públicos ou privados caracterizado por um padrão urbanístico irregular. Em geral essas áreas são carentes de serviços públicos essenciais, como abastecimento de água e rede de esgotamento sanitário. A população residente nessas comunidades vive em condições precárias de saneamento e moradia. Essas áreas foram desconsideradas pois já são habitadas e, em sua maioria, não oferecem serviços de água por rede geral, como necessita o empreendimento para seu funcionamento.

Os dados de aglomerados subnormais foram obtidos no IBGE, em formato vetorial conforme apresenta a Figura 9. Este foi transformado em *raster* através da ferramenta *feature to raster*, para na sequência ser reclassificado com *reclassify.* O valor do *pixel* foi reclassificado para -1 e 0, sendo -1 as áreas de aglomerados subnormais (áreas desfavoráveis) e 0 as demais áreas, favoráveis ao empreendimento.

Figura 9 - Aglomerados subnormais existentes na RMRJ



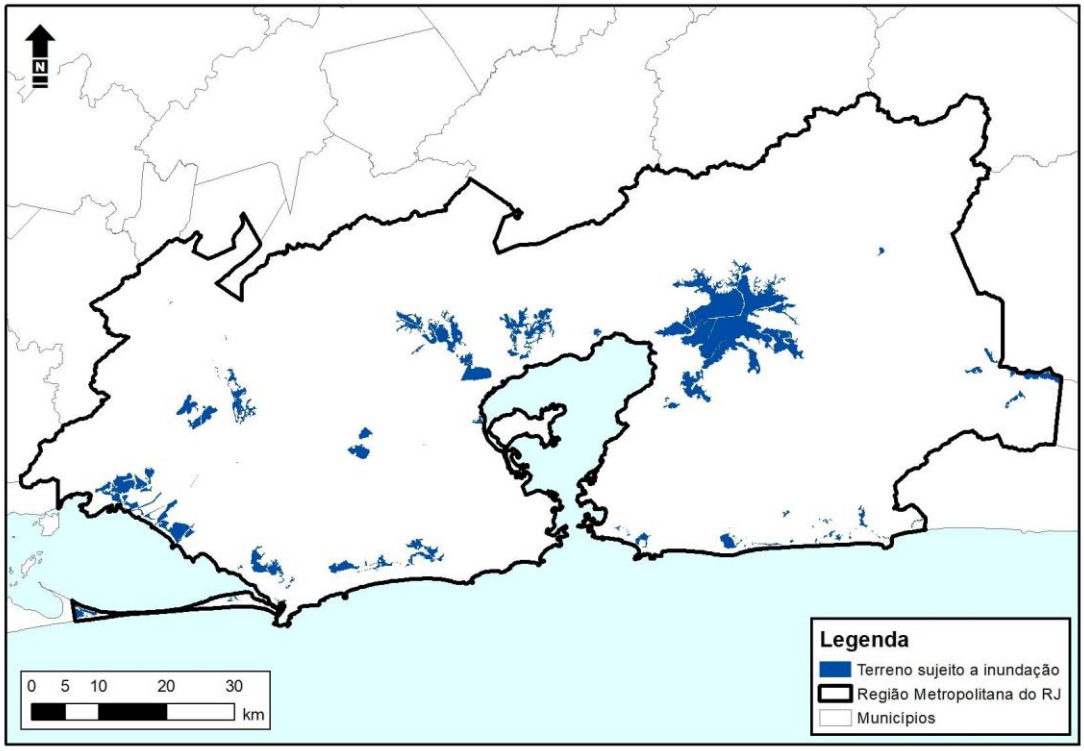
- Terrenos sujeitos à inundação

São terrenos que, no período chuvoso, são suscetíveis a inundações, ou seja, a ficar alagados por horas, dias, semanas, até que a água seja completamente drenada. Por serem incompatíveis com o funcionamento de um incinerador, os

terrenos sujeitos à inundação foram excluídos na consideração de possíveis áreas para construção do empreendimento.

Os dados de terrenos sujeitos à inundação foram obtidos no IBGE, em formato vetorial, conforme apresenta a Figura 10. Ele foi transformado em *raster* pela ferramenta *feature to raster*, na sequência foi reclassificado com *reclassify*. O valor do *pixel* foi reclassificado para -1 e 0, sendo -1 os terrenos sujeitos à inundação (áreas desfavoráveis) e 0 as demais áreas, favoráveis ao empreendimento.

Figura 10 - Terrenos sujeitos a inundação existentes na RMRJ



- Áreas verdes protegidas

As áreas verdes protegidas podem ser municipais, estaduais ou federais. São áreas, conforme a Lei nº 12.651/2012, protegidas com a função ambiental de preservar recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica e a biodiversidade, proteger o solo e assegurar o bem-estar da população (BRASIL,

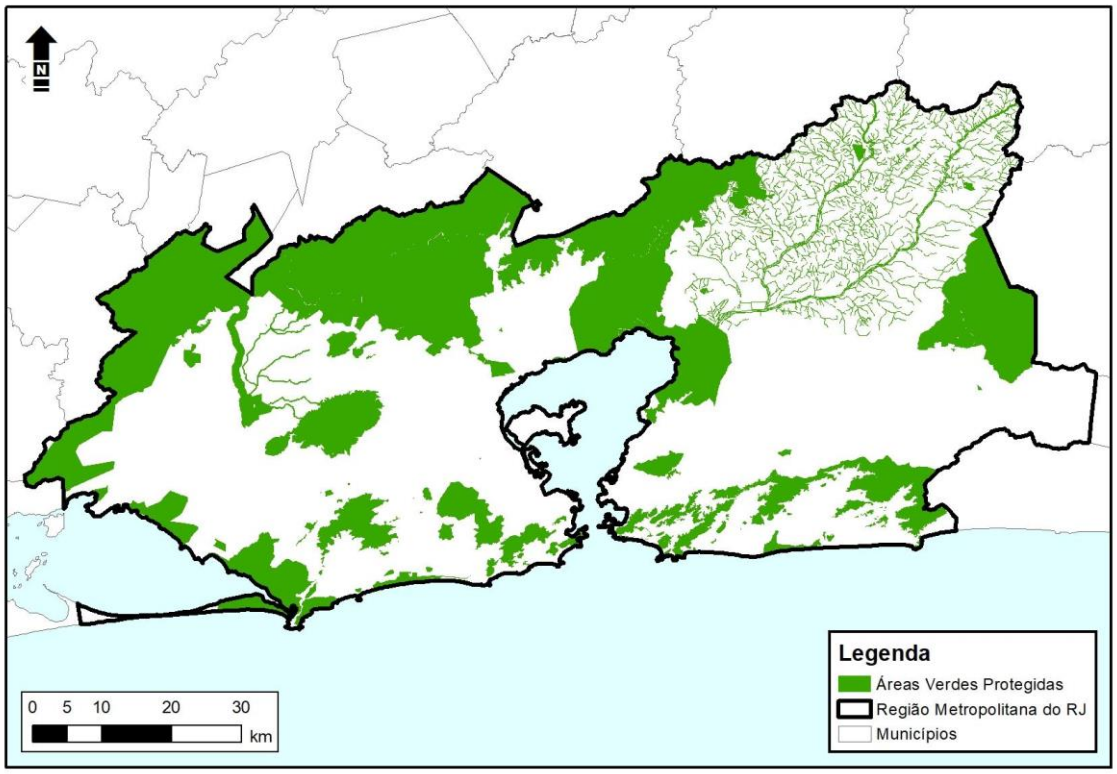
2012). Essas áreas podem ser cobertas ou não por vegetação nativa. São áreas impróprias para construções de empreendimentos, o que implica na sua exclusão como favoráveis para a implantação de um incinerador.

Para esta pesquisa, trabalhou-se com dados de todas as unidades de conservação obtido no MMA. Fazendo-se uma análise visual dos dados, foi possível identificar que algumas unidades de conservação recobrem áreas habitadas, ou seja, existem construções nas áreas protegidas. Pode-se atribuir esse fato ao artigo 8º do Código Florestal, o qual prevê que em casos de utilidade pública ou de interesse socioeconômico, a vegetação das áreas protegidas poderá ser suprimida para dar lugar à construção de obras, dentre outros (BRASIL, 2012). A Resolução 369/2006 do CONAMA veio, posteriormente, regulamentar esses casos, em seu artigo 2º, incisos I e II (CONAMA, 2006).

Todos os tipos de unidades de conservação foram considerados como áreas verdes protegidas e classificadas como áreas desfavoráveis ao empreendimento.

O dado vetorial, das áreas verdes protegidas apresentado pela Figura 11, foi convertido para *raster* através da ferramenta *feature to raster*, depois reclassificado entre -1 e 0 com *reclassify*. Foi atribuído o valor -1 ao *pixel* correspondente a área verde protegida (área desfavorável) e o valor 0 as demais áreas, favoráveis ao empreendimento.

Figura 11 - Áreas verdes protegidas existentes na RMRJ



2.3.1.3 Critérios de classificação

Para a classificação de uma área como favorável ou não à implementação do empreendimento, é necessário que esta esteja próxima de algumas estruturas consideradas importantes para o funcionamento de um Incinerador.

Os critérios classificatórios receberam pesos diferentes para cada raio de distância partindo do mesmo. Para a distribuição dos pesos, foram delimitadas áreas de influência ao redor dos pontos/polígonos que representam os critérios, cada um com um raio. Consequentemente, as áreas de cada área de influência têm pesos que variam conforme a distância a partir da origem. O raio da área de influência ao redor do critério é inversamente proporcional ao peso recebido por essa área. A distribuição dos pesos de cada critério classificatório em função das distâncias das áreas de influências é apresentada pela Tabela 11.

Tabela 12 - Critérios classificatórios e os respectivos pesos pelas distâncias das áreas de influências

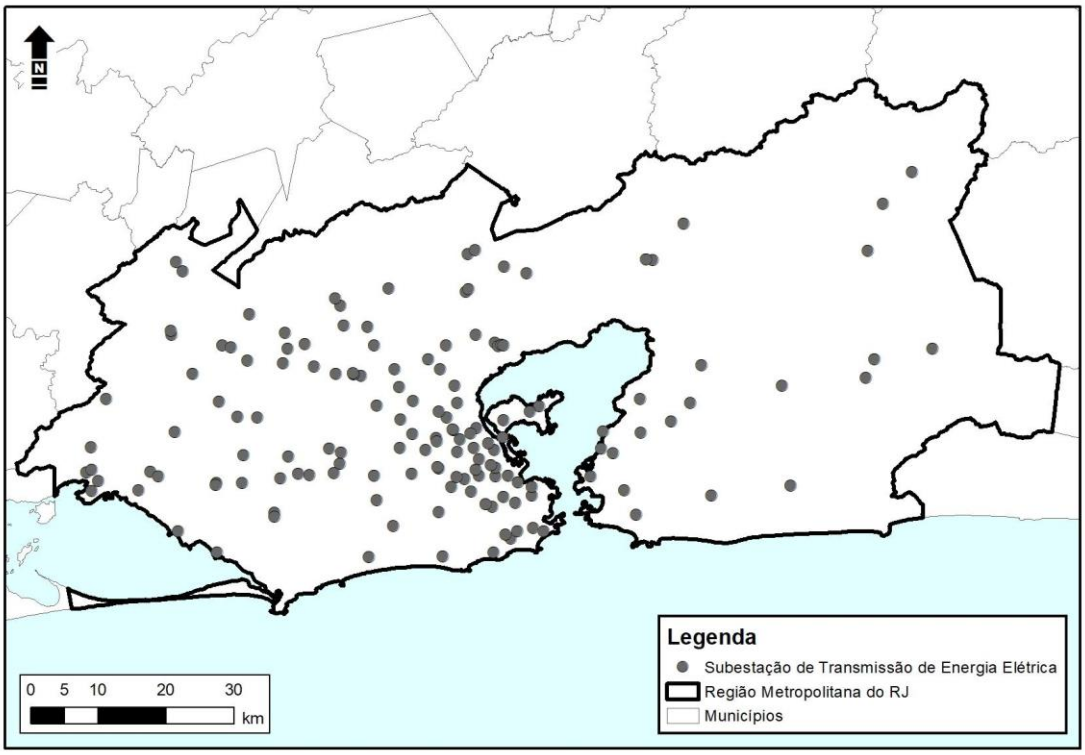
Critério Classificação	Unid.	0	1	2	3	4	5
Distância de subestação de energia elétrica	Km	> 6	< 6	< 5	< 4	< 3	< 2
Distância de aterros sanitários	Km	> 50	< 50	< 40	< 30	< 20	< 10
Distância das estações de transbordo	Km	> 20	< 20	< 15	< 10	< 5	< 2
Distância da alta densidade de edificações	km	> 60	< 60	< 50	< 40	< 30	< 20

Fonte: A autora, 2020.

- Distância de Subestações de Energia Elétrica

Um dos produtos do processo de incineração é energia, que pode ser gerada na forma de energia elétrica. Esta energia precisa ser interligada a um sistema de distribuição. Portanto, considerou-se a localização de subestações de energia elétrica como um dos critérios de classificação. Os dados da localização das subestações de transmissão de energia elétrica foram obtidos no INEA, em formato vetorial, conforme pode ser visualizado na Figura 12.

Figura 12 - Localização das Subestações de Transmissão de Energia Elétrica existentes na RMRJ



Após consultas a especialistas e pesquisas em referências bibliográficas, determinou-se que para maior otimização do projeto e redução da perda de energia no percurso, a subestação de energia deve estar a um raio máximo de 2 km de distância do incinerador. Foram geradas múltiplas áreas de influência (*ring buffers*) com as medidas de raios variando de 2 a 6, sendo o menor raio 2 km, o segundo 3 km, o terceiro 4 km, o quarto 5 km, o quinto 6 km. Cada área de influência recebeu um peso, sendo o maior peso (5) para o menor raio até o menor peso (0) para áreas com o raio maior que 6 km.

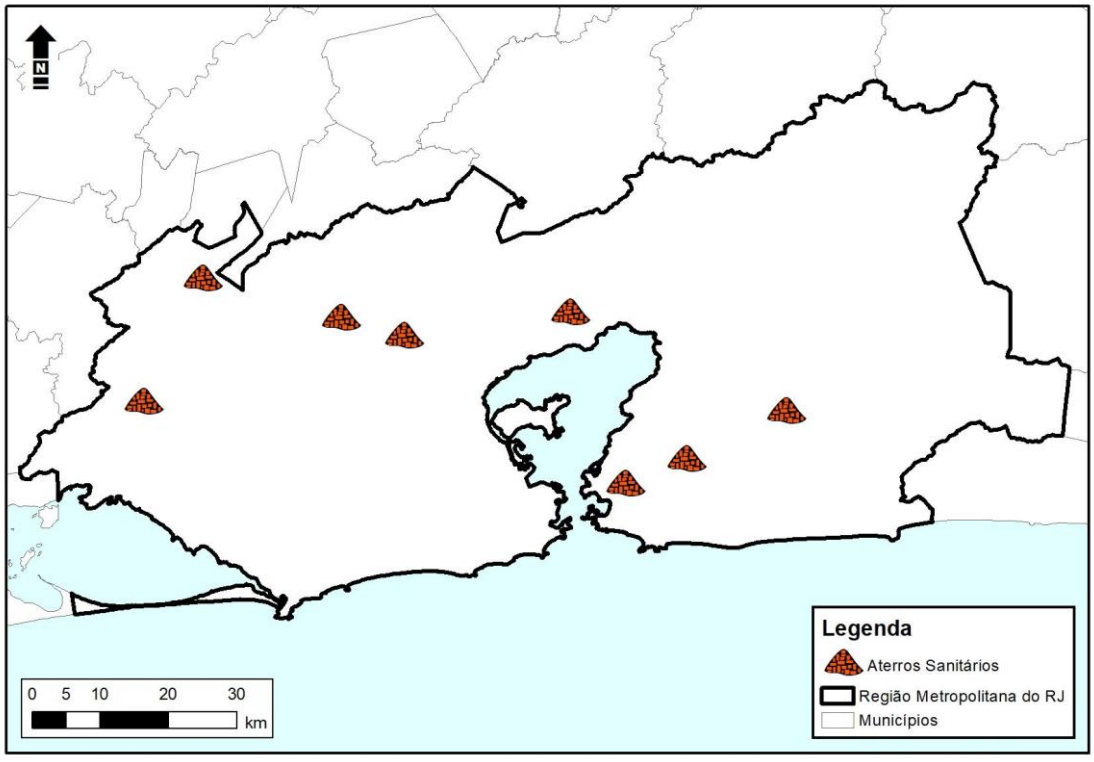
Para a geração das múltiplas áreas de influência foi utilizada a ferramenta *multiple ring buffer*, na sequência transformou-se o vetor em *raster* através da ferramenta *feature to raster.* A atribuição dos pesos foi realizada através da ferramenta *reclassify*, onde o valor de cada distância recebeu seu respectivo peso, conforme apresentado na Tabela 11.

- Distância de Aterros Sanitários

O incinerador faz parte do sistema de gerenciamento de resíduos sólidos, no entanto não é o destino final dos resíduos. Ou seja, a existência dos aterros sanitários continua sendo de vital importância dentro do gerenciamento de resíduos sólidos pois este sim, é o estágio final do gerenciamento. Após a combustão dos resíduos no incinerador, o que não foi incinerado compõem a escória. Ela é um dos subprodutos finais do processo de incineração e precisa ser descartada. Sendo assim, os aterros sanitários, local ambientalmente adequado para descarte final dos resíduos, foram considerados como uma das estruturas importantes para se ter próximo a um incinerador de resíduos sólidos.

Os dados da localização dos aterros sanitários foram obtidos no INEA, em formato vetorial, conforme apresentado na Figura 13.

Figura 13 - Localização dos Aterros Sanitários existentes na RMRJ



A classificação das áreas de influências foi feita considerando-se como menor raio a distância de 10 km e intervalos de 10 km. Ou seja, o raio de maior peso (5) é o de 10 km, o de segundo maior (4) 20 km, o terceiro (3) 30 km, o quarto (2) 40 km e o quinto (1) 50 km. Distâncias superiores a 50 km receberam o peso 0.

As áreas de influências foram estruturadas utilizando-se a ferramenta *multiple ring buffer*, na sequência transformaram-se os vetores em *raster* através da ferramenta *feature to raster*. A atribuição dos pesos foi feita por meio da ferramenta *reclassify*, onde o valor de cada distância recebeu seu respectivo peso conforme apresentado na Tabela 11.

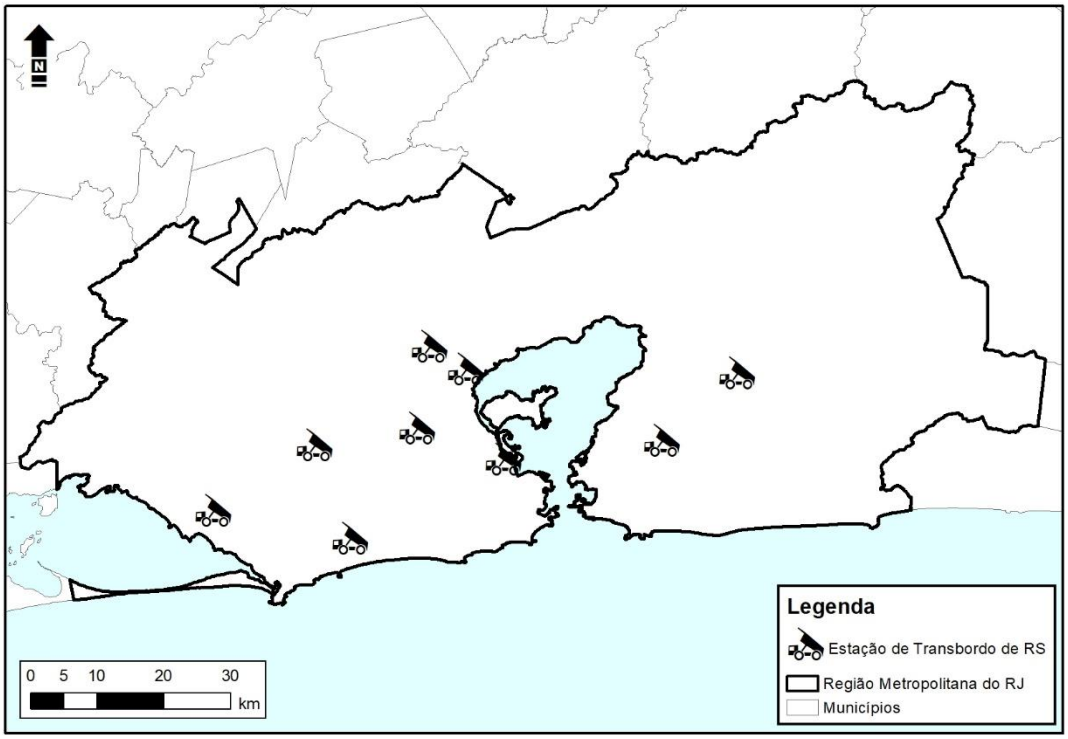
- Distância das Estações de Transbordo

O crescimento dos centros urbanos e a quantidade de resíduos gerados pela atividade humana, atrelados à dificuldade de circulação viária de grande número de caminhões até a disposição final dos resíduos, é um grande desafio enfrentado na região metropolitana do Rio de Janeiro. Diante tal cenário, foram construídas estações de transbordo, instalações onde os resíduos são transferidos de um veículo coletor para um veículo com maior capacidade de carga.

Em geral, as estações de transbordo são implantadas quando a distância entre o centro de massa de coleta e o aterro sanitário é superior a 25 km ou até mesmo inferior a 20 km, em cidades onde a condição de tráfego rodoviário não é favorável ao deslocamento (NUNES, SILVA, 2015). Nas estações de transbordo, os resíduos passam de caminhões compactadores para carretas, reduzindo o número de caminhões circulando nas vias até o local de disposição final e permitindo o seu retorno para a atividade de coleta, resultando em menor impacto no trânsito, economia dos recursos naturais e financeiros, tempo e mão de obra.

Considerando-se que os incineradores farão parte do sistema de gerenciamento integrado já existente na região, a distância das estações de transbordo foi incluída na listagem de critérios a ser analisada. Os dados de localização das estações foram obtidos no INEA, em formato vetorial, conforme apresentado pela Figura 14.

Figura 14 - Localização das Estações de Transbordo de Resíduos Sólidos Urbanos existentes na RMRJ



Tendo em vista que para o funcionamento do incinerador é necessário que haja resíduos constantemente, as distâncias adotadas para as áreas de influências foram de 2 km, 5 km, 10 km, 15 km, 20 km e maior que 20 km. A menor distância recebeu o maior peso (5) e assim sucessivamente até a maior distância receber o menor peso, ou seja, distâncias superiores que 20 km ficaram com peso 0.

As áreas de influências foram construídas utilizando-se a ferramenta *multiple ring buffer*, na sequência transformaram-se os vetores em *raster* através da ferramenta *feature to raster*. A atribuição dos pesos foi feita por meio da ferramenta *reclassify*, onde o valor de cada distância recebeu seu respectivo peso conforme apresentado na Tabela 11.

- Distância da alta densidade de edificações

O quarto critério classificatório considerado foi a distância de locais com alta densidade de edificações. Pode-se considerar que localizando-se o incinerador próximo ao centro produtor dos resíduos obtém-se uma economia no custo de transporte. Também se ganha no tempo necessário para os deslocamentos dos caminhões, permitindo assim que eles possam fazer mais viagens em um mesmo dia de trabalho. Esses aspectos impactam diretamente no meio ambiente pois, com distâncias menores a serem percorridas, consome-se menos combustível, assim como a emissão de poluição pelos veículos que transportam os resíduos é reduzida.

Os dados utilizados para análise desse critério foram provenientes da malha setorial de 2019 do IBGE, onde há uma caracterização dos setores censitários realizada por meio de ferramentas de sistema de informações geográficas sobre imagens ortorretificadas. Nessa pesquisa, foi selecionado apenas a classe correspondente a área urbana com alta densidade de edificações.

Selecionada a classe a ser considerada na pesquisa, utilizou-se a ferramenta *multiple ring buffer* para gerar as áreas de influências de cada raio em volta da feição de alta densidade. O intervalo entre os raios de influência foi de 10 km, começando o primeiro raio com 10 km, o segundo com 20 km, o terceiro com 30 km, o quarto com 40 km e o quinto com 50 km. Geradas as múltiplas áreas de influências em seguida utilizou-se a ferramenta *feature to raster* para converter o vetor em *raster*.

A atribuição dos pesos foi feita por meio da ferramenta *reclassify*, onde o valor de cada distância recebeu seu respectivo peso conforme apresentado na Tabela 11. O maior peso foi atribuído à menor distância (10 km) enquanto o menor peso foi atribuído a distâncias maiores que 50 km.

2.4 Tamanho da área necessária para a implantação de um incinerador

Visando complementar a análise locacional, fez-se um estudo de tamanho de área necessária para implementação de um incinerador. Para esse estudo, utilizou-se como base os incineradores pesquisados por Cardozo (2019), no trabalho de “Análise de Monitoramento Ambiental da Incineração de Resíduos Sólidos Urbanos na Europa”.

De todos os incineradores pesquisados por Cardozo (2019), os selecionados para o cálculo de área foram os que tinham capacidade entre 500 e 600 t/dia. Considera-se que, para atender a demanda de tratamento de resíduos da RMRJ, é necessária a construção de múltiplas plantas de incineração.

Os incineradores que tiveram suas áreas dimensionadas são apresentados na Tabela 13 juntamente com o país onde se localiza, o tipo de resíduos que este recebe e a sua capacidade de resíduos. Para dimensionamento das áreas utilizou-se o software Google Earth, o qual permite que sejam desenhados polígonos ao redor das unidades de incineração visualizadas por satélites.

Tabela 13 - Incineradores localizados em países europeus, os tipos de resíduos recebidos por eles e sua capacidade de resíduos

Nome da planta de Incineração	País	Tipo de Resíduo	Capacidade de resíduos (t/dia)
ISVAG/ BW2E	Bélgica	RSU RI	512,9
For Sur Mer/ Evere	França	RSU	516,13
Tammer Voima/ KIVO Finland	Finlândia	RSU	516,13
TAS I/S./ Energnist Kolding	Dinamarca	RSU RC	516,13
Tarragona/ SIRUSA/ AEVERSU	Espanha	RSU	542,55
Monthey SATOM	Suiça	RSU RI	548,38
Westenergy Oy Ab/ KIVO Finland	Finlândia	RSU	574,19
Esbjerg/ Energnist/ Babcock & Wilcox Vølund A/S (BWV)	Dinamarca	RSU RI	580,64
Bydgoszcz/ AECOM/ ProNatura	Polonia	RSU	580,64

Legenda: RSU – resíduos sólidos urbanos e RI – resíduos industriais
Fonte: A autora, 2020.

O primeiro passo foi identificar os endereços de cada incinerador a ser dimensionado. Identificado o endereço, este foi lançado no buscador do Google Earth para reconhecimento da localização. Após identificado o empreendimento na imagem aérea foi desenhado um polígono, baseado na imagem, em torno da planta. Este polígono permitiu que fosse feito uma estimativa de área necessária a implantação de um incinerador para sua capacidade de resíduo.

As áreas estimadas baseadas nas ortofotos das plantas europeias são apresentadas pela tabela 14, junto com os endereços. É possível concluir-se que para um incinerador cuja capacidade varie entre 500 e 600 t/dia é necessário uma área entre 20.000 e 50.000 m².

Tabela 14 - Incineradores dimensionados, seus endereços e suas áreas

Nome da planta de Incineração	País	Endereço	Área (m²)
ISVAG/ BW2E	Bélgica	Boomsesteenweg 1000, 2610 Antwerpen, Bélgica	26.723
For Sur Mer/ Evere	França	ZI de Fos-sur-Mer, Route du Quai Minéralier, 13270 Fos-sur-Mer, França	165.690
Tammer Voima/ KIVO Finland	Finlândia	Hyötyvoimankuja 1, 33680 Tampere, Finlândia	33.185
TAS I/S./ Energnist Kolding	Dinamarca	Bronzevej 6, 6000 Kolding, Dinamarca	20.551
Tarragona/ SIRUSA/ AEVERSU	Espanha	Calle del Coure, 8 43006 Tarragona	12.033
Monthey SATOM	Suíça	Route Boeuferrant-Nord 16, 1870 Monthey, Suíça	21.705
Westenergy Oy Ab/ KIVO Finland	Finlândia	Energiatie 5, 66530 Kvevlax, Finlândia	37.799
Esbjerg/ Energnist/ Babcock & Wilcox Vølund A/S (BWV)	Dinamarca	FG65+J9 Esbjerg, Esbjerg Municipality, Dinamarca	32.666
Bydgoszcz/ AECOM/ ProNatura	Polônia	Ernsta Petersona 22, 85-001 Bydgoszcz, Polônia	48.239

2.5 Identificação de áreas de localização favorável à implantação de incineradores

A identificação das áreas de localização favorável à implantação de incineradores foi feita considerando-se as áreas cujos valores da álgebra de mapas foram iguais a 18 ou superior. Considerando que o local mais favorável é aquele onde existem os 4 critérios classificatórios próximos e nenhum critério de exclusão, o valor dessa área deve corresponder ao somatório do maior peso dos 4 critérios,

sendo igual a 20. Ou seja, área com valores iguais a 18 ou superiores correspondem a áreas com favorabilidade acima de 88%. Selecionadas essas áreas, foi feita a sobreposição da base de setores censitários com serviço de abastecimento de água por rede geral superiores a 95%.

Na sequência foi feita uma análise visual utilizando-se a base de imagens aéreas do *software* Google Earth buscando encontrar áreas disponíveis.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

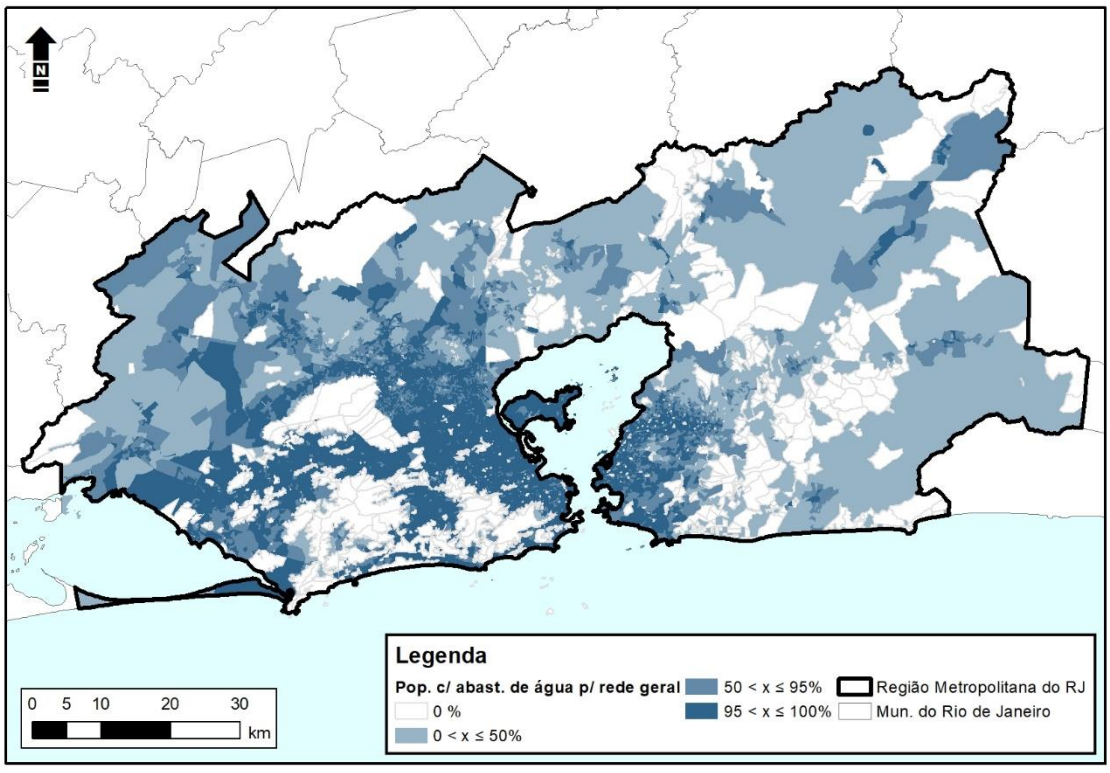
Neste capítulo serão apresentados e discutidos os resultados obtidos através da organização dos critérios, álgebra de mapas e a indicação das áreas favoráveis à localização de incineradores de resíduos sólidos urbanos na RMRJ.

3.1 Premissas Básicas

As premissas básicas mostram que, apesar de a área estudada ser uma região metropolitana, um núcleo urbano densamente povoado, nem toda a região é coberta por abastecimento de água por via rede geral nem possui arruamento.

A Figura 15 apresenta o abastecimento de água por rede geral na RMRJ. Por meio dela é possível verificar que há regiões não atendidas por esse serviço.

Figura 15 - Distribuição do abastecimento de água por rede geral na RMRJ



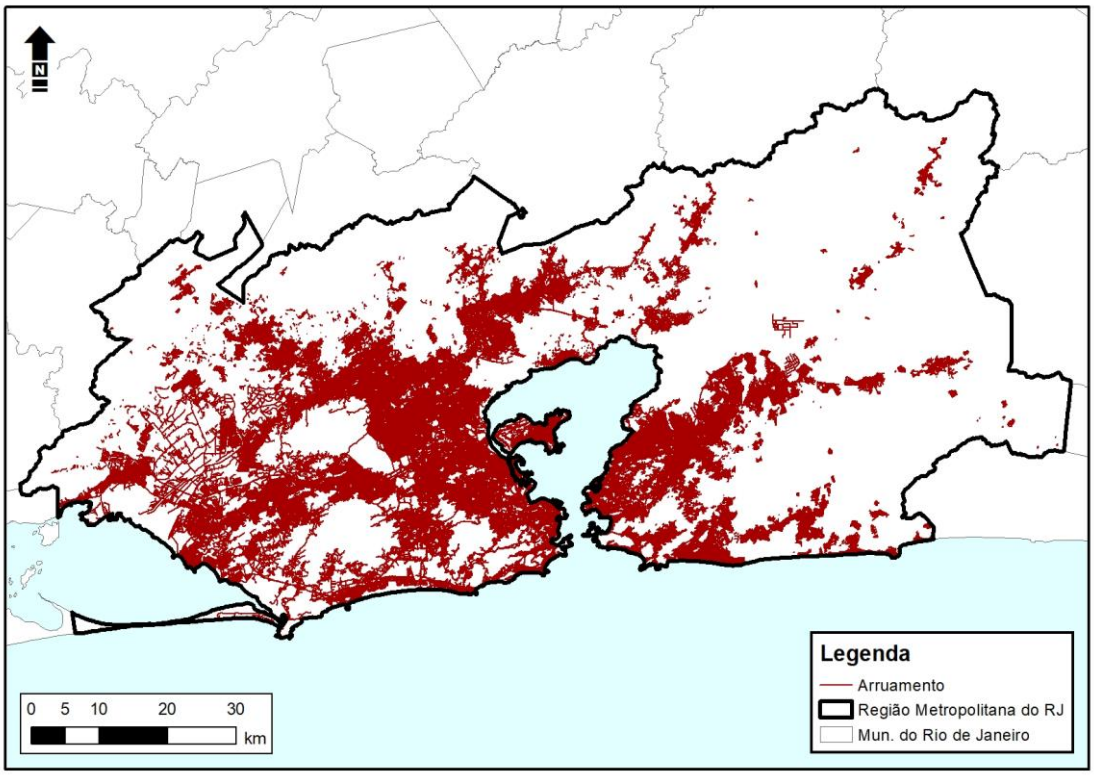
Através do cálculo da área dos setores censitários foi possível identificar que 27% da região estudada não tem abastecimento de água por rede geral, segundo censo de 2010. A maior parte da área se encontra na classe cujo intervalo é de 0% a 50% de abastecimento de água, correspondendo a 41% da área estudada.

As outras duas classes cujos intervalos são de 50% a 95% e superiores a 95% estão equiparadas no percentual de área. A porcentagem da população com o serviço inferior a 95% ocupa 17% da região metropolitana, enquanto a porcentagem da população com abastecimento de água superior a 95% representa 16% da área total.

Partindo do princípio que abastecimento de água é um serviço essencial, pode-se considerar que a RMRJ tem muito a melhorar no oferecimento desse serviço a sua população. No entanto, não se pode esquecer que o dado utilizado para essa pesquisa é de 2010, ou seja, 10 anos se passaram. Durante esse período, o serviço de abastecimento de água por rede geral pode ter aumentado sua cobertura.

A segunda premissa básica considerada nessa pesquisa foi a disponibilidade de arruamento a qual é exposta pela Figura 16. Através dela é possível verificar que há um déficit de arruamento na região. Pode-se considerar que esses vazios, muitas vezes, coincidem com as áreas de preservação e/ ou áreas de declividade acentuada, fato esse que justifica não haver arruamento nessas áreas.

Figura 16 – Disponibilidade de arruamento na RMRJ

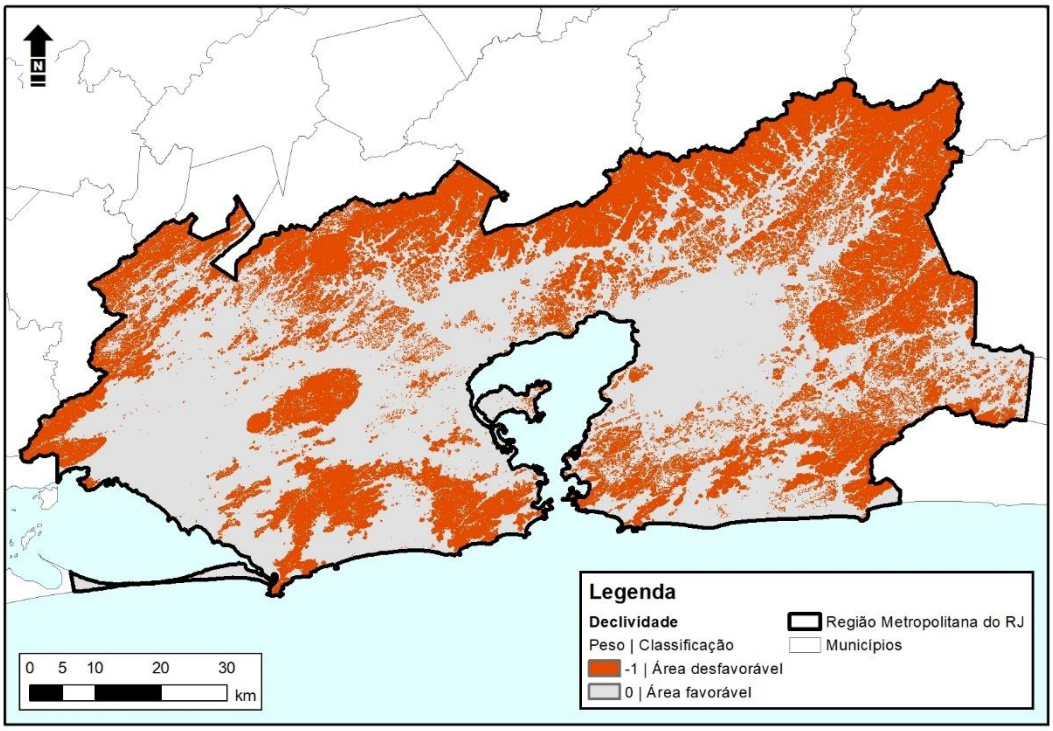


3.2 Critérios de exclusão

A Figura 17 apresenta a classificação da RMRJ quanto a declividade do relevo, já reclassificada entre áreas favoráveis e desfavoráveis. Essa reclassificação apresenta que 42% de toda a região metropolitana não é apropriada para alocar esse tipo de empreendimento.

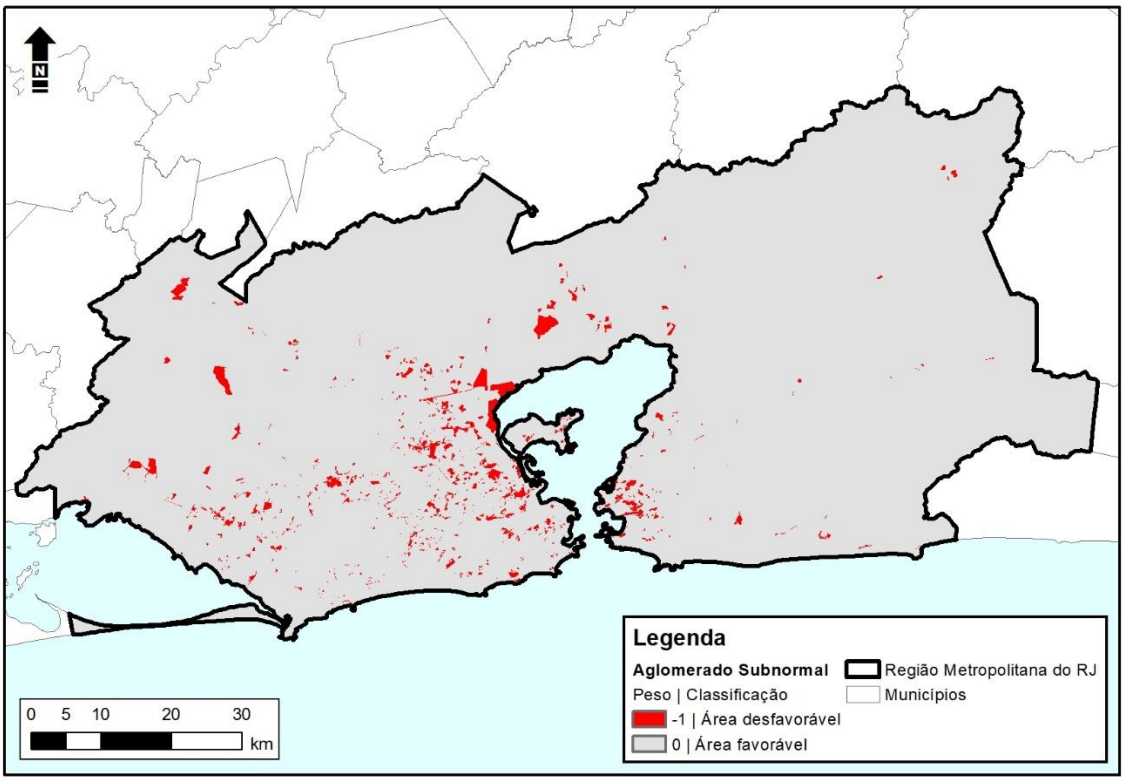
A área estudada tem relevo bem variado, apresentando mares de morros entre outros tipos. Pode-se correlacionar esse percentual de área desfavorável a grande variedade de relevo encontrado na região.

Figura 17 - Classificação da declividade na RMRJ



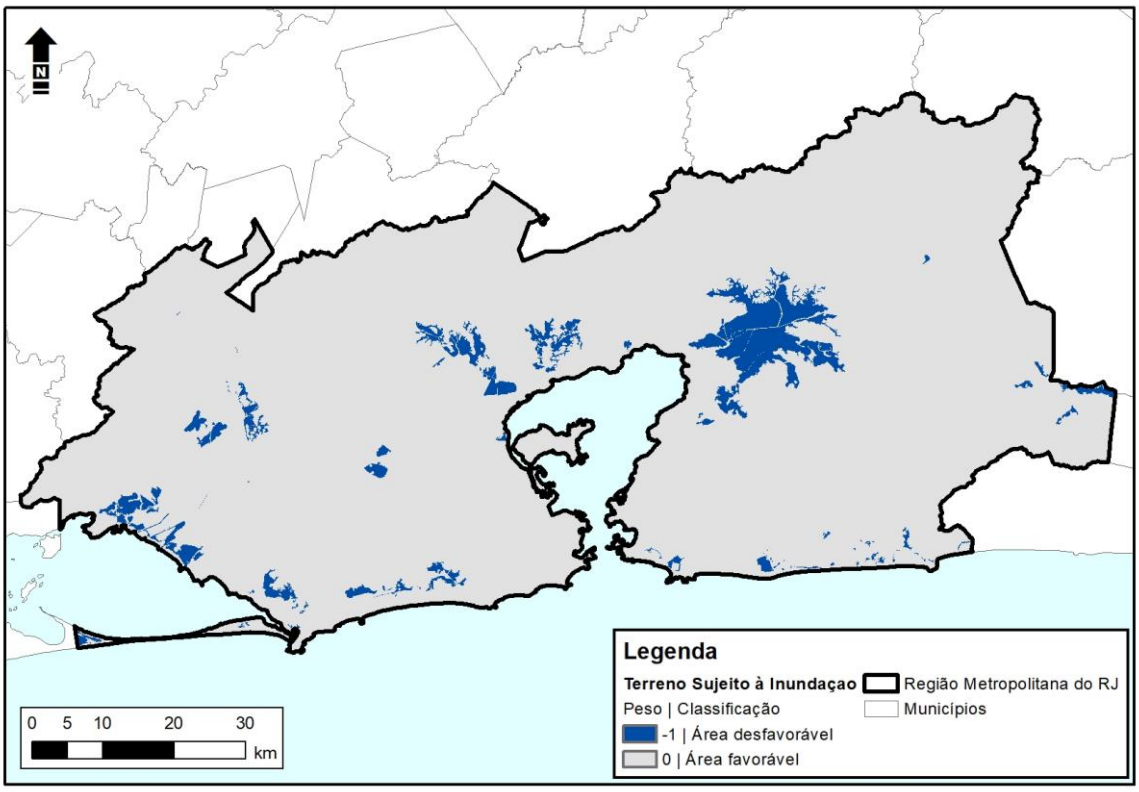
A Figura 18 apresenta a classificação da RMRJ quanto as áreas com e sem aglomerados subnormais. Através dela é possível averiguar que há muita área favorável disponível, os aglomerados subnormais representam apenas 2% da área total.

Figura 18 - Classificação das áreas de aglomerados subnormais na RMRJ



A Figura 19 apresenta a classificação da RMRJ quanto aos terrenos sujeitos à inundação. Apesar de ser possível identificar grandes extensões sujeitas a inundação, não são muitas às áreas com essa característica. Ou seja, os terrenos sujeitos à inundação representam apenas 4% da área total da RM.

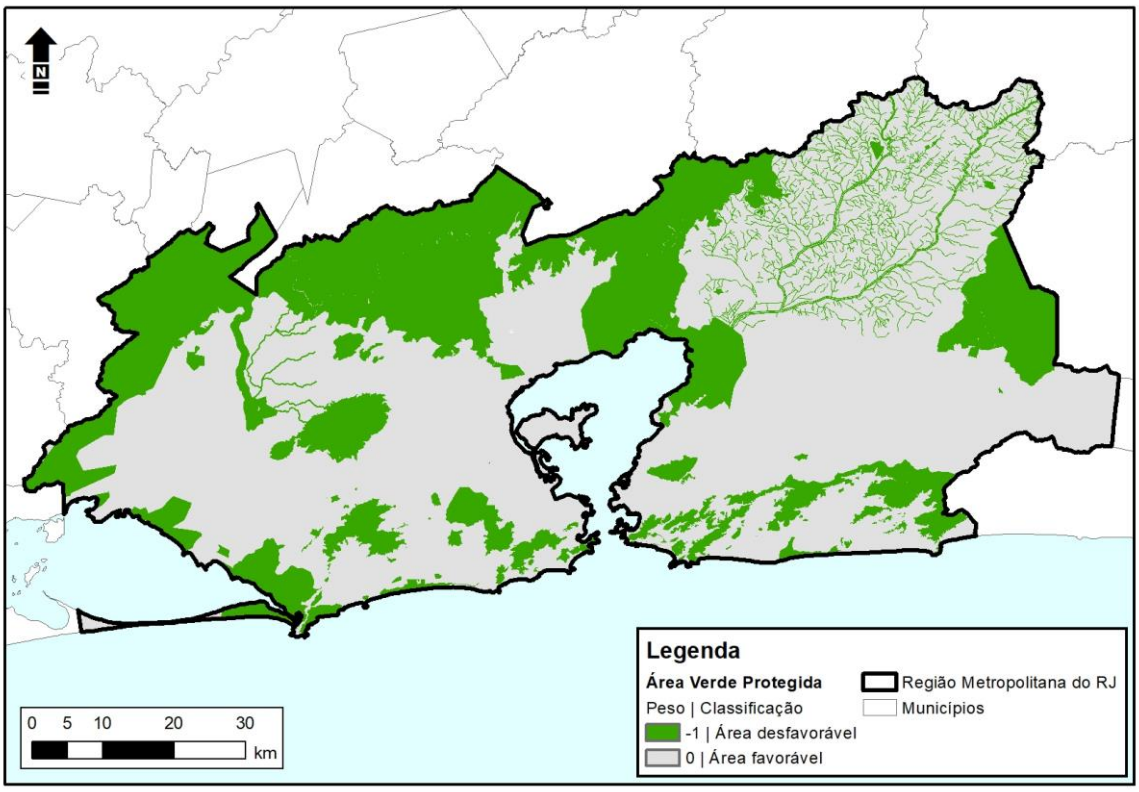
Figura 19 - Classificação das áreas de terrenos sujeitos a inundação na RMRJ



A Figura 20 expõe a classificação da RMRJ quanto as áreas verdes protegidas. É possível notar que na fronteira norte com os demais municípios do estado é onde se localiza a maior área verde protegida. Essas áreas verdes são atreladas a existência da Cadeia Montanhosa Serra do Mar que inicia no Estado do Rio de Janeiro e vai até o norte do Estado do Rio Grande do Sul. Segundo a Câmara Metropolitana do Rio de Janeiro a RMRJ está entre as metrópoles mais verdes do mundo (CÂMARA METROPOLITANA, 2018).

Todas as áreas verdes exercem um valioso papel ambiental garantindo a preservação da biodiversidade e dos recursos hídricos. Dentre esses e todos os outros motivos já explicitados no texto anteriormente, as áreas verdes foram consideradas áreas desfavoráveis para a localização de incineradores.

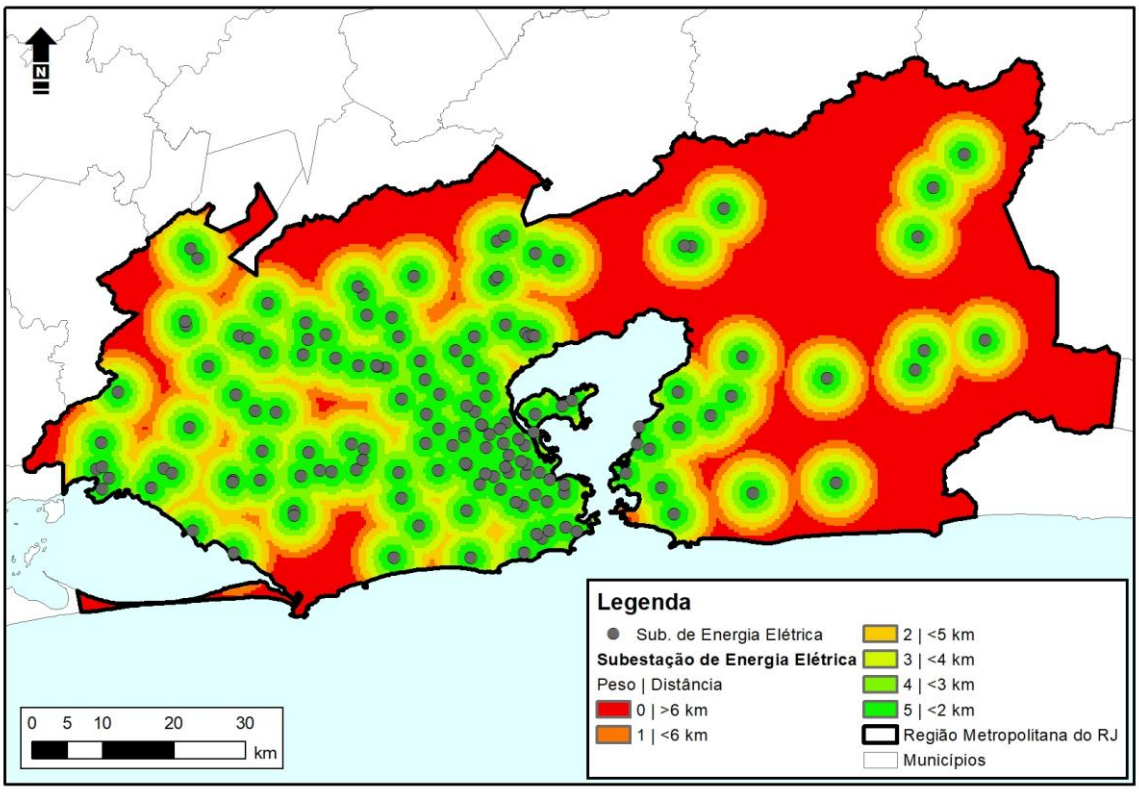
Figura 20 - Classificação das áreas verdes protegidas existentes na RMRJ



3.3 Critérios Classificatórios

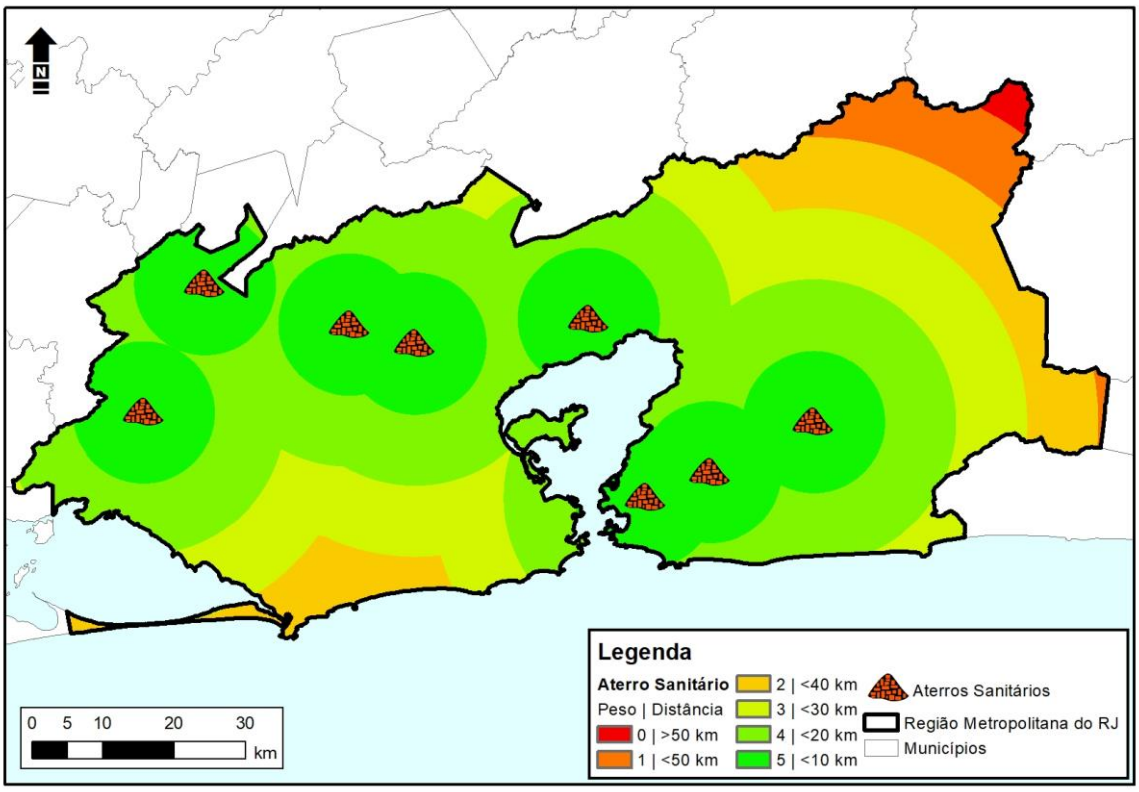
Os critérios classificatórios são os que dão pesos as áreas. Quanto mais perto a área for do critério maior peso ela ganha. A Figura 21 apresenta as classificações das áreas de influências das subestações de energia elétrica. É possível visualizar através dela que a RMRJ tem muitas subestações principalmente no eixo norte – centro – oeste. Enquanto a região leste e nordeste têm subestações com mais espaçamento entre elas.

Figura 21 - Classificação das áreas de influência das subestações de energia elétrica na RMRJ



A Figura 22 mostra a classificação das áreas de influência dos aterros sanitários. Pode-se visualizar que não existe nenhum aterro sanitário no município do Rio de Janeiro e apenas um na região nordeste. A ausência de aterro sanitário no Rio de Janeiro pode ser atrelada a falta de áreas disponíveis, visto sua alta densidade populacional. São encontrados aterros sanitários em Seropédica, Paracambi, Nova Iguaçu, Belford Roxo, Magé, Niterói, São Gonçalo e Itaboraí.

Figura 22 - Classificação das áreas de influência dos aterros sanitários na RMRJ



A Figura 23 exibe a classificação das áreas de influência das estações de transbordo de resíduos sólidos urbanos. Ao contrário do apresentado pela distribuição dos aterros sanitários para RMRJ, as estações de transbordo estão mais condensadas na região central, expandindo um pouco para o norte e para o leste. Deixando a região oeste e nordeste sem esse tipo de infraestrutura.

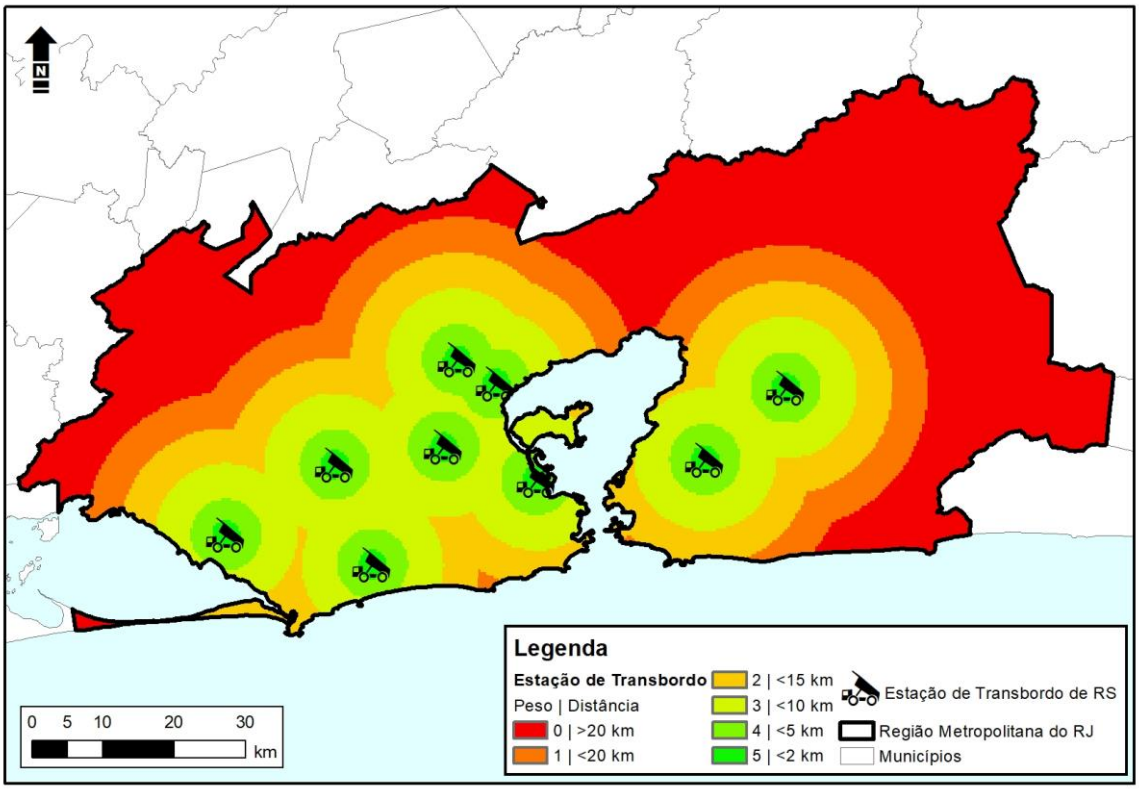
As estações de transbordo, como já exposto anteriormente, são caracterizadas por se localizarem próximas aos centros produtores de resíduos, o que justifica sua localização na região central da RMRJ.

Se comparadas as Figuras 22 e 23 pode-se ver coerência na localização das infraestruturas na região centro, norte e oeste, de forma que elas se complementam.

Onde se tem grande produção de resíduos, mas não se tem grandes áreas disponíveis para aterros sanitários operarem, têm-se estações de transbordo, que reúnem os resíduos coletados para então direcioná-los para aterros localizados mais distantes. Onde se tem aterros sanitários próximos, não se fazem necessárias as estações de transbordo.

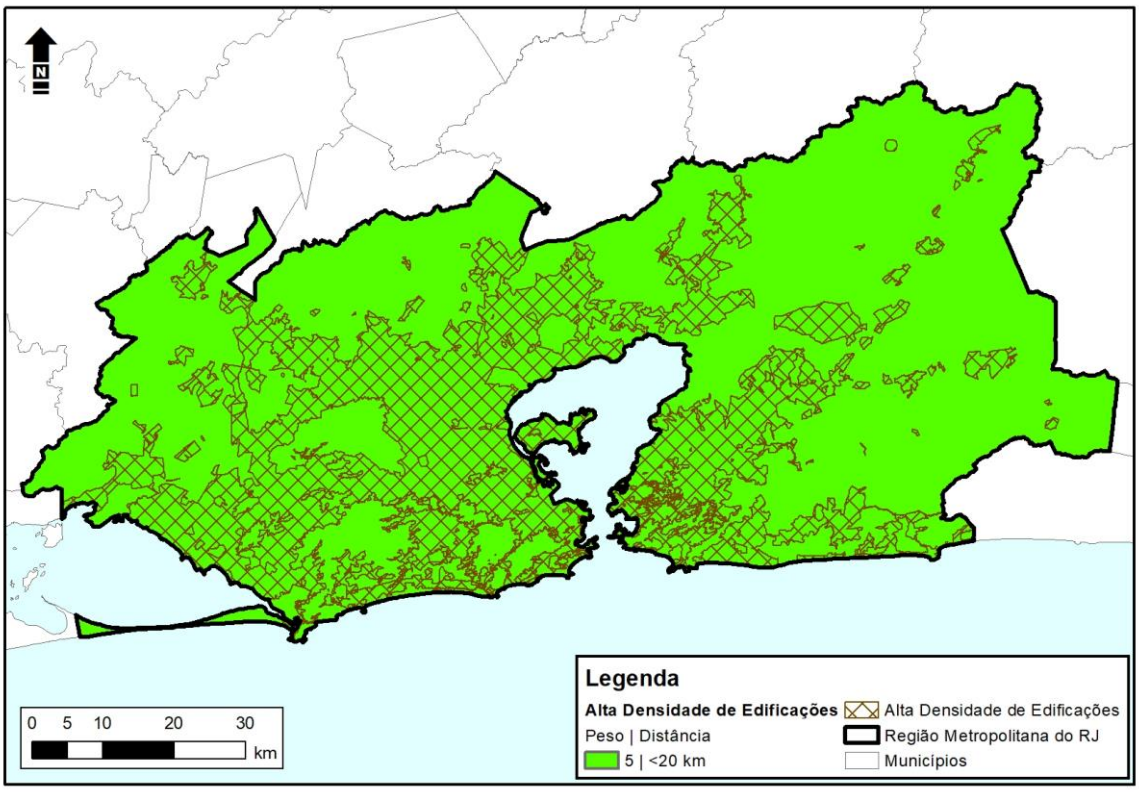
Contudo, a região nordeste apresenta uma grande deficiência no gerenciamento de seus resíduos, visto que conta apenas com um aterro sanitário, localizado no município de Magé, e nenhuma estação de transbordo para agrupar os resíduos dos municípios limítrofes visando seu direcionamento para o destino final adequado (aterro sanitário).

Figura 23 - Classificação das áreas de influência das estações de transbordo de resíduos sólidos urbanos na RMRJ



A Figura 24 mostra a classificação da área de influência da alta densidade de edificações. Toda a RMRJ recebeu o maior peso pois como é previsível por se tratar de uma região metropolitana sua concentração de pessoas é elevada, provocando um polígono de alta densidade que cobre grande parte da área de estudo.

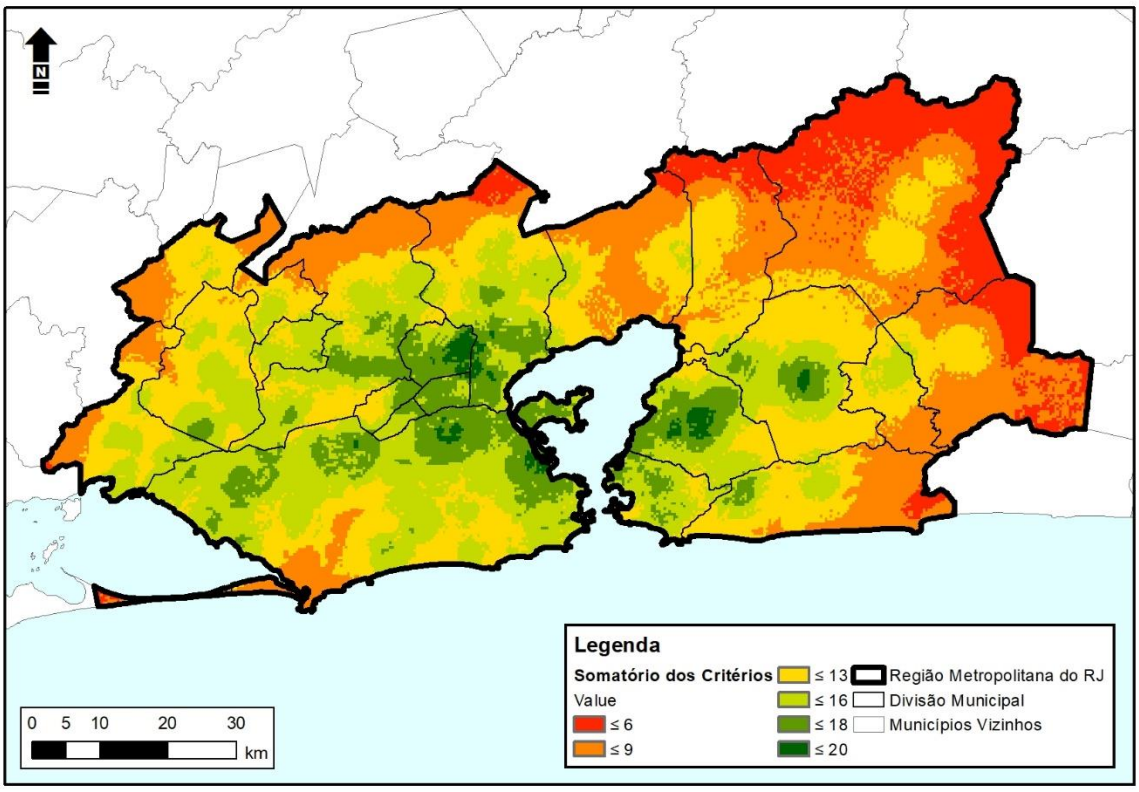
Figura 24 - Classificação da área de influência da alta densidade de edificações na RMRJ



3.4 Álgebra de mapas

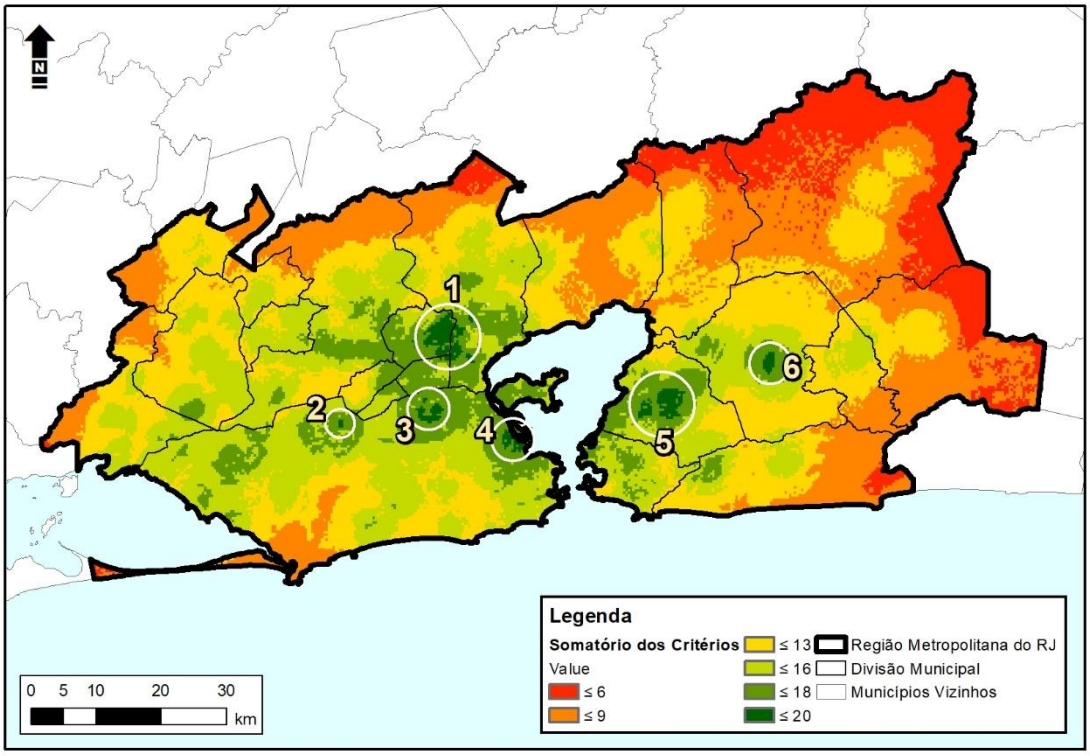
A álgebra de mapas é o resultado da soma de todos os critérios eliminatórios e classificatórios. Esse resultado é retratado pela Figura 25, onde as áreas com maior pontuação apresentam o verde mais escuro e as áreas com menor pontuação tendem para o vermelho.

Figura 25 - Resultado da álgebra de mapas



Na Figura 26, pode-se identificar que 6 regiões diferentes obtiveram os maiores valores na soma. Sendo a região 1 na divisa entre os municípios Belford Roxo, Duque de Caxias e São João de Meriti. Enquanto as regiões 2, 3 e 4 se localizam no município do Rio de Janeiro. A região 5 encontra-se no município de São Gonçalo e a região 6 em Itaboraí.

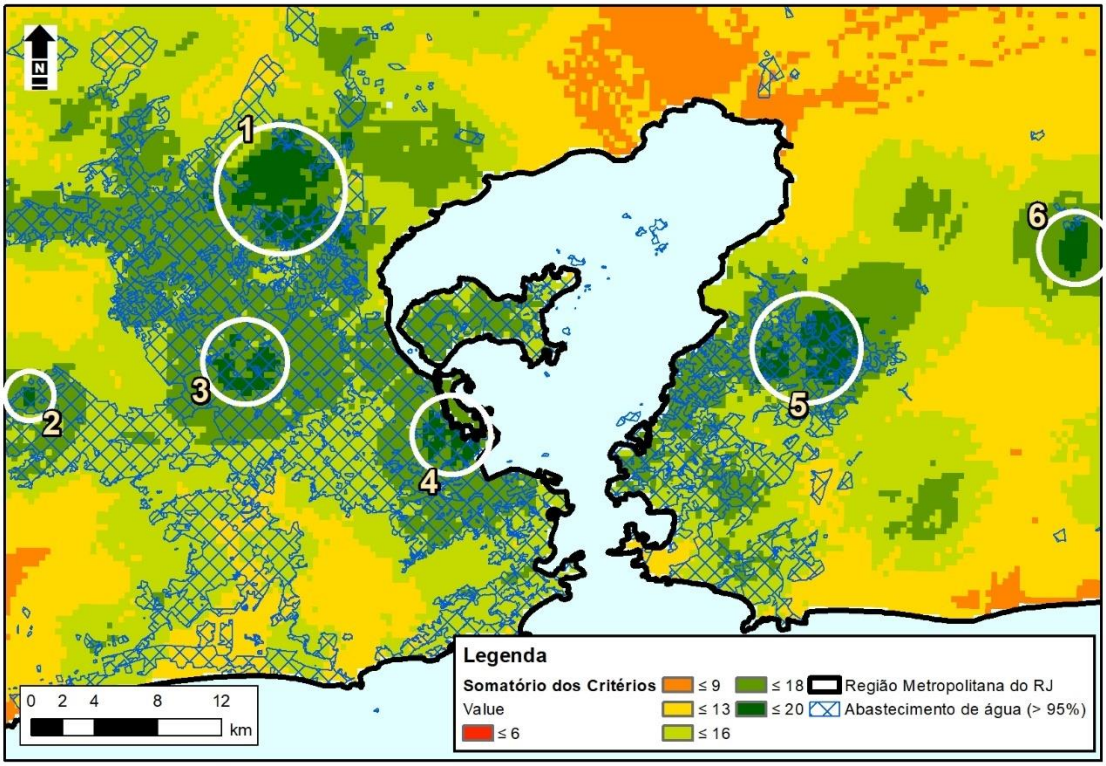
Figura 26 - Identificação das áreas mais favoráveis ao empreendimento (≥ 90%)



Identificada as áreas mais favoráveis a locação do empreendimento, o passo seguinte foi verificar se essa área cumpre a premissa básica, ter abastecimento de água por rede geral. Para essa verificação foi feita a sobreposição do dado espacializado das áreas com abastecimento de água por rede geral acima de 95% com as áreas mais favoráveis. O resultado é apresentado na Figura 27.

Nesse cruzamento de informações é possível identificar que as áreas 1 e 6 apesar de muito favoráveis ao empreendimento, segundo os critérios eliminatórios e classificatórios, não são abastecidas de água por rede geral. Vale ressaltar que o dado do abastecimento de água é de 2010, data do último censo, portanto essa realidade pode ser diferente no momento atual. Por conta da defasagem temporal dos dados, apesar de não atenderem à premissa básica, essas áreas foram consideradas, assim como as demais.

Figura 27 - Identificação das áreas favoráveis sobreposto com abastecimento de água por rede geral



Com as seis áreas identificadas como favoráveis, seguiu-se a pesquisa nas ortofotos por terrenos disponíveis para alocação de incineradores.

3.5 Localização de terrenos disponíveis

Conhecido o tamanho de área necessário para implantação de plantas de incineração, com capacidade entre 500 e 600t/dia, fez-se a análise visual de cada área favorável, com o uso do Google Earth. A Figura 28 apresenta a imagem da área um.

Figura 28 - Análise visual da área 01

O alto valor da área 1 se deve a sua proximidade com um aterro sanitário a menos de 10 km, duas estações de transbordo a 3 e 4,9 km de distâncias e a 4 subestações de energia elétrica distando 850 m, 2 km, 2,9 km e 4,1 km.

Na área favorável 1 foi encontrado um terreno disponível com área de 257.596 m², conforme é possível verificar na ortofoto, plano de fundo da Figura 28. Vale ressaltar que, apesar de a área 1 não ter apresentado, no cruzamento de bases, abastecimento de água por rede geral nela toda, esse terreno encontrado se localiza na área com esse serviço segundo confrontação dos dados.

Na Figura 28, também é possível verificar que o terreno selecionado se revela favorável ao empreendimento pois está ao lado da Estação de Tratamento de Esgotos de Sarapuí. Não obstante, ao seu outro lado encontra-se a Subestação São José, pertencente a Furnas. Uma planta localizada nessa área poderá descartar seu efluente tratado diretamente na ETE Sarapuí assim como poderá escoar sua energia gerada através da Subestação São José.

Outro ponto favorável nessa área é que se encontra na divisa dos municípios de Belford Roxo, Duque de Caxias e São João de Meriti. Portanto, esta planta poderia atender a demandas de tratamento dos resíduos sólidos dos três municípios.

A área favorável 2 localiza-se no município do Rio de Janeiro e tem sua análise visual apresentada pela Figura 29.

Figura 29 - Análise visual da área 02

A área 2 tem ao seu redor 3 subestações de energia distando 1,3 km, 1,5 km e 3,1 km, uma estação de transbordo a 2,9 km e 2 aterros sanitários a 18,3 km e 18,4 km de distância.

Na Figura 29, é possível verificar que foi encontrado um terreno disponível, com área de 190.714 m², ao lado do Aterro de Gericinó, que recebeu resíduos sólidos do município do Rio de Janeiro até abril de 2014, quando foi desativado.

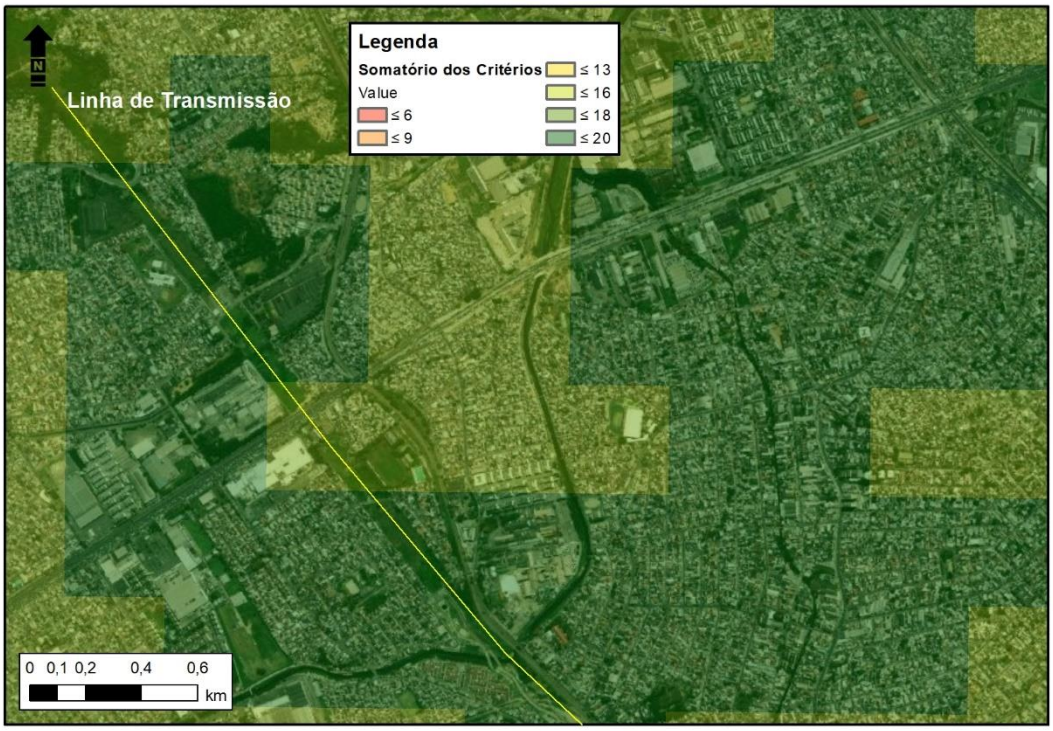
Outro ponto interessante dessa localização é estar ao lado do Complexo Penitenciário de Gericinó, o qual poderia utilizar o vapor gerado pelo incinerador para aquecimento de água para lavagem de roupas e higienização de áreas. O Complexo Penitenciário de Gericinó é composto por 25 unidades prisionais, onde grande parte de todos os detentos do Estado do Rio de Janeiro se encontram.

Com a utilização da água quente para a lavagem de roupas do complexo, este poderia reduzir seu gasto com lavanderia. Outro ponto que deve ser considerado é que a alta temperatura da água também contribui para inativar eventuais microrganismos prejudiciais à saúde, como bactérias, fungos e vírus, favorecendo a higienização de roupas e áreas de uso coletivo, com redução na transmissão de doenças entre os detentos pelo compartilhamento das roupas e ambientes.

Além dos pontos favoráveis a essa localização já apresentados anteriormente tem-se a proximidade com a Estação de Transbordo de Bangu, a qual encontra-se a 2,9 km de distância do terreno em questão. O deslocamento dos resíduos da estação de transbordo para a planta seria reduzido ou até mesmo deixaria de se fazer necessária a existência dessa estação de transbordo pois os resíduos poderiam ser direcionados diretamente para o incinerador.

A área 3, também localizada no município do Rio de Janeiro, tem sua análise visual apresentada pela Figura 30. A área 3 é valorizada pela localização de 3 subestações de energia elétrica a 1,3 km, 1,5 km e 3,1 km de distância. Essa área também está a 2,9 km de distância de uma estação de transbordo e 18,3 km e 18,4 km de dois aterros sanitários, apesar desses aspectos favoráveis esta área não dispõe de locais disponíveis para locação do empreendimento em questão.

Figura 30 - Análise visual da área 03



A análise visual da área 4 é exposta pela Figura 31. Nela é possível visualizar que o terreno disponível, com área de 30.486 m², localizado no município do Rio de Janeiro, se encontra ao lado da ETE Alegria e da Estação de Transbordo do Caju.

Figura 31 - Análise visual da área 04

A área quatro sem dúvida é a mais valorizada pois ao seu redor se encontram 6 subestações de energia com distâncias variando de 1,8 km a 3 km do terreno encontrado. Esta também se encontra a 220 metros de uma estação de transbordo.

A estação de transbordo do Caju é onde é feita a triagem de materiais recicláveis por associação de catadores e compostagem para produção de compostos orgânicos. Ela pode se complementar, no gerenciamento integrado dos resíduos sólidos, com a implantação de uma planta de incineração, a qual poderá tratar os resíduos que não foram selecionados na triagem realizada na estação de transbordo do Caju.

Outro subproduto que receberá uma destinação próxima é o efluente tratado que pode ser direcionado para ETE Alegria, ao lado da área indicada para o incinerador. A ETE Alegria é uma unidade de grande porte e está preparada para receber e tratar até 2.500 litros de esgoto por segundo e futuramente poderá receber até 5.000 L/s.

A área 5 se encontra no município de São Gonçalo e tem sua análise visual exposta pela Figura 32. A pontuação alta da área cinco é devida a proximidade com 2 subestações de energia a 2 km e 3,4 km, a 1,6 km de distância de uma estação de transbordo e a 3,5 km e 9,1 km de dois aterros sanitários, respectivamente. O terreno encontrado na área 5, tem área de 53.168 m² e localiza-se próximo a RJ 104, rodovia que liga o município de Niterói ao município de Itaboraí, passando por São Gonçalo, sendo uma das principais rodovias do estado.

Outro ponto favorável nessa localização é a proximidade de 1 km do Hospital Estadual Alberto Torres, principal hospital público do município de São Gonçalo. O hospital já teve 235 leitos e atualmente passa por uma série crise financeira. Assim como o vapor pode ser direcionado para o presídio, ele também pode ser direcionado para fins de higienização de roupas e ambientes no hospital.

Figura 32 - Análise visual da área 05

A última área favorável, a área 6 não apresenta, segundo a base de abastecimento de água, esse serviço. Contudo, vale lembrar que essa base é de 2010 portanto a realidade atual pode ser diferente. A análise visual dessa área é mostrada pela Figura 33.

A área 6 dista 1,4 km de uma subestação de energia, 3,7 km de uma estação de transbordo e 2,3 km de um aterro sanitário. Localiza-se no município de Itaboraí, próxima a BR101, um dos principais eixos rodoviários do país, fato esse que contribui para a implantação de um incinerador no local, já que o acesso para recebimento dos resíduos de diversos locais pode ser feito por uma via principal.

Em frente ao terreno disponível com área de 326.593 m², localiza-se a fábrica de tintas Jotun, o que leva crer que hoje já deve existir abastecimento de água na região, pois a fábrica necessita água para seu funcionamento. Esta também poderia utilizar a energia gerada pelo incinerador e/ou talvez a água para limpeza da fábrica se não no processo de fabricação.

Figura 33 - Análise visual da área 06

Após a análise das seis áreas em nível local e de infraestruturas do entorno, pode-se concluir que cada uma tem aspectos positivos para a localização de incineradores de resíduos sólidos urbanos.

CONCLUSÃO

A utilização de um Sistema de Informação Geográfica para estruturar a técnica de sobreposição ponderada permitiu concluir que é possível estudar aspectos complexos, como aqueles de vizinhança, proximidade e contiguidade, envolvendo áreas extensas e utilizando-se métodos de geoprocessamento e visualização espacial de forma a agilizar e conferir maior precisão ao processo de escolha de área para incineradores de resíduos sólidos urbanos. A utilização desses sistemas na gestão de resíduos mostra-se uma ferramenta relevante para avaliações fundamentais de localização devido à sua capacidade de lidar com grandes quantidades de informações espaciais de diversas fontes. Essas técnicas de geoprocessamento podem lidar facilmente com as limitações especializadas, econômicas e ambientais necessárias além de não necessitar que os dados levantados entejam em uma mesma unidade de análise.

A comparação de resultados confirma o significativo potencial da região metropolitana do Rio de Janeiro para receber plantas de incineração de resíduos sólidos urbanos. A área estudada dispõe das estruturas consideradas necessárias para alocação de uma planta de incineração. Foi possível identificar 5 áreas favoráveis a esse tipo de empreendimento, de forma satisfatória.

A execução deste projeto permitiu também mostrar o quão importante e eficiente pode ser a utilização de um SIG dentro do planejamento urbano de uma área citadina. Este trabalho poderá, em um futuro próximo, auxiliar para que as unidades de incineração sejam projetadas de acordo com o planejamento urbano, para que atuem de forma verdadeiramente integrada à gestão de resíduos e à estrutura municipal/regional onde elas estão inseridas. Com o uso de ferramentas de SIG, esse trabalho poderá auxiliar gestores governamentais a determinarem os melhores locais para alocação de unidades de incineração.

RECOMENDAÇÕES:

No desenvolvimento dessa pesquisa encontrou-se dificuldade em trabalhar-se com dados atualizados referentes a abastecimento de água. Como forma de atualizar os resultados encontrados, recomenda-se confrontar as áreas favoráveis com dados de abastecimento de água atualizados, quando este disponíveis, após o próximo censo.

A pesquisa também pode ser complementada fazendo-se a análise das bacias aéreas nas regiões favoráveis encontradas para verificação de possíveis acúmulos de gases em regiões montanhosas ou paredes rochosas.

Recomenda-se também a averiguação do plano diretor de cada município onde se localizam as áreas favoráveis, para identificar as classes de uso do solo permitidas pelo zoneamento dele, de forma a verificar a existência de eventuais restrições legais à implantação de incineradores de resíduos sólidos urbanos.

REFERÊNCIAS

ABNT NBR 13.896: 1997 – *Aterros de resíduos não perigosos* – Critérios para projeto, implantação e operação. (topografia - esta característica é fator determinante na escolha do método construtivo e nas obras de terraplenagem para a construção da instalação. Recomendam-se locais com declividade superior a 1% e inferior a 30%;)

ABREN, Associação Brasileira de Recuperação Energética de Resíduos. *Contribuição para Consulta Pública Nº 025/2019*. Brasília. 2019. Disponível em: <https://www.aneel.gov.br/consultas-publicas?p_p_id=participacaopublica_WAR_participacaopublicaportlet&p_p_lifecycle=2&p_p_state=normal&p_p_mode=view&p_p_cacheability=cacheLevelPage&p_p_col_id=column-2&p_p_col_pos=1&p_p_col_count=2&_participacaopublica_WAR_participacaopublicaportlet_ideDocumento=39240&_participacaopublica_WAR_participacaopublicaportlet_tipoFaseReuniao=fase&_participacaopublica_WAR_participacaopublicaportlet_jspPage=%2Fhtml%2Fpp%2Fvisualizar.jsp>. Acesso em: 4 out. 2020.

BARUERI terá usina de incineração de lixo na Aldeia. [*S. l.*], 31 jul. 2018. Disponível em: <https://www.baruerinarede.com.br/barueri-tera-usina-de-incineracao-de-lixo-na-aldeia/>. Acesso em: 27 set. 2020.

BRASIL. (2010) *Lei Federal nº 12.305* - Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. **Diário Oficial [da União]**, 03 de agosto de 2010.

BRAIL. (2012) *Lei Federal nº 12.651* – Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nºs 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nºs 4.711, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória nº 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. **Diário Oficial [da União]**, 25 de maio de 2012.

BRASIL. (2019) Ministério do Desenvolvimento Regional. Secretaria Nacional de Saneamento – SNS. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: *Diagnóstico do Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos – 2018*. Brasília: SNS/MDR, 2019. 247 p.

BRUNO, G.; GIANNIKOS, I. (2015) *Location and GIS*. In: Laporte G., Nickel S., Saldanha da Gama F. (eds) Location Science. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-13111-5_19

CÂMARA METROPOLITANA. (2017) *Caderno Metropolitano: 3 Cartografia e Informação*. Rio de Janeiro. Jun. 2017. Disponível em: <https://www.modelarametropole.com.br/documentos/>. Acesso em: 11 out. 2020.

CÂMARA METROPOLITANA. (2018) *Plano Estratégico de Desenvolvimento Urbano Integrado da Região Metropolitana do Rio de Janeiro* - Tomo I. 2018. 310 f. Rio de Janeiro. 2018.

CARDOSO, B. C. *Análise do Monitoramento Ambiental da Incineração de Resíduos Sólidos Urbanos na Europa*. 2019. 86 f. Dissertação – Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 2019.

CARNASCIALI, A. M. dos S.; DELAZARI, L. S. *A localização geográfica como recurso organizacional: utilização de sistemas especialistas para subsidiar a tomada de decisão locacional do setor bancário*. **Rev. adm. contemp**., Curitiba, v. 15, n. 1, p. 103-125, Fev. 2011.

CASTILHOS JR., A. B. de et. al. *Resíduos Sólidos Urbanos: Aterro Sustentável para Municípios de Pequeno Porte*. **PROSAB**, Florianópolis. 2003.

CEWEP – Confederation of European Waste-to-Energy Plants. *Waste-to-Energy in Europe in 2017*. Disponível em: <https://www.cewep.eu/wp-content/uploads/2019/04/EU-Map-2017-WtE.pdf>. Acessado em: 28 de setembro de 2020.

CEWEP – Confederation of European Waste-to-Energy Plants. *Municipal waste treatment in 2018*. Disponível em: <https://www.cewep.eu/municipal-waste-treatment-2018/>. Acesso em: 15 de outubro de 2020.

CHABUK, A. J. et al. *GIS-based assessment of combined AHP and SAW methods for selecting suitable sites for landfill in Al-Musayiab Qadhaa, Babylon, Iraq*. **Environmental Earth Sciences**, [S. l.], p. 209-, 3 mar. 2017. DOI 101007/s12665-017-6524-x.

CHI, Y.; *Waste-to-Energy in China*. ZHE JIANG UNIVERSITY. 22-23 Feb. 2017, Busan, Korea **Expert Group Meeting on Sustainable Application of Waste-to-Energy in Asian Region.** 2017.

CONAMA nº369, de 28 de março de 2006. *Dispõe sobre os casos excepcionais, de utilidade pública, interesse social ou baixo impacto ambiental, que possibilitam a intervenção ou supressão de vegetação em Área de Preservação Permanente - APP*. Brasília, DF, 2006. (Publicação – Diário Oficial da União – 29/03/2006)

COSTA, C. M. P. da. *Localização óptima do futuro hospital de Sintra: aplicação de modelos de Location-Allocation no planeamento de cuidados de saúde*. 2010. 126 f. Dissertação – Instituto Superior de Estatística e Gestão de Informação, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa. 2010.

DI CHIRICO, V. *Incineração de resíduos urbanos*. Tradução e atualização de Mauro Gandolla e Paula Mantovanini. Zurich: Swiss Reinsurance Company [1996]. Disponível em: <http://www5.ensp.fiocruz.br/biblioteca/home/exibedetalhesBiblioteca.cfm?ID=17471&Tipo=B>. Acesso em 23 de nov. 2015.

DOLFUSS, O. *A análise geográfica*. São Paulo: Difusão Europeia do Livro, 1973.

ECOPROG, 2019. *Waste to Energy 2019/2020*. Technologies, plants, projects, players and backgrounds of the global thermal waste treatment business. 12th edition 2019.

EISELT, H. A.; MARIANOV, V. *Location modeling for municipal solid waste facilities*. **Computers & Operations Research**, [*S. l.*], v. 62, p. 305-3015, 17 maio 2014. DOI http://dx.doi.org/10.1016/j.cor.2014.05.003.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Sistema brasileiro de classificação de solos. Brasília, Serviço de Produção de Informação, 1999. 412p.

ENERGY *Recovery from the Combustion of Municipal Solid Waste (MSW)*. [*S. l.*], [s.d.]. Disponível em: <https://www.epa.gov/smm/energy-recovery-combustion-municipal-solid-waste-msw#why>. Acesso em: 30 set. 2020.

FILHO, J. L.; IOCHPE, C. *Um Estudo sobre Modelos Conceituais de Dados para Projeto de Banco de Dados Geográficos*. **Revista Informática Pública**, [*S. l.*], p. 67-90, 1999. Disponível em: <http://www.dpi.ufv.br/~jugurta/papers/artigo2_03.pdf>. Acesso em: 4 out. 2020.

GAUTAM, S.; BREMA, J.; DHASARATHAN, R. *Spatio-temporal estimates of solid waste disposal in an urban city of India: A remote sensing and GIS*

approach. **Environmental Technology & Innovation**, [*S. l.*], n. 18, p. 1-12, 28 jan. 2020. DOI https://doi.org/10.1016/j.eti.2020.100650. Disponível em: <www.elsevier.com/locate/eti>. Acesso em: 28 set. 2020.

GUANDU, Comité da Bacia Hidrográfica. *Raio X do Esgotamento – Comitê Guandu – RJ*. Rio de Janeiro, 08 nov. 2019.

GUIMARÃES, R. B. et al*. O raciocínio geográfico e as chaves de leitura da Covid-19 no território brasileiro*. **Estud. av.**, São Paulo, v. 34, n. 99, p. 119-140, Aug. 2020. DOI https://doi.org/10.1590/s0103-4014.2020.3499.008

HARIZ, H. A.; DÖNMEZ, C. Ç.; SENNAROGLU, B. *Siting of a central healthcare waste incinerator using GIS-based Multi-Criteria Decision Analysis*. **Journal of Cleaner Production**, [*S. l.*], v. 166, p. 1031-1042, 14 ago. 2017. DOI http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.08.091. Disponível em: <www.elsevier.com/ locate/jclepro>. Acesso em: 17 maio 2020.

HASSAAN, M. A. *A GIS-Based Suitability Analysis for Siting a Solid Waste Incineration Power Plant in an Urban Area Case Study*: Alexandria Governorate, Egypt. **Journal of Geographic Information System**, [*S. l.*], v. 7, p. 643-657. 2015. <http://dx.doi.org/10.4236/jgis.2015.76052>

HATAMLEH, R. I. et al. *The use of a GIS System as a decision support tool for Municipal Solid Waste Management Planning: The case study of Al Nuzha District, Irbid, Jordan*. **Procedia Manufacturing**, [*S. l.*], v. 44, p. 189-196. 2020.

HENRIQUES, R. M. *Aproveitamento energético dos resíduos sólidos urbanos: Uma abordagem Tecnológica*. 2004. 204 f. Dissertação (Mestre em Ciências em Planejamento Energético) – Programa de Pós-Graduação de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro. 2004.

IBGE. População estimada: IBGE, Diretoria de Pesquisas, Coordenação de População e Indicadores Sociais, Estimativas da população residente com data de referência 1º de julho de 2020. 2020.

IBGE. 25/2/2005. *Altera a caracterização do Sistema Geodésico Brasileiro*, [S. l.], 25 fev. 2005.

JARDIM, N. Z. et al. *O Gerenciamento Integrado do Lixo Municipal*. In: CEMPRE - Compromisso Empresarial Para a Reciclagem. Lixo Municipal: **Manual de Gerenciamento Integrado**. 4 ed. São Paulo, 2018. cap.1, p. 3-26.

JULIATTO, D. L.; CALVO, M. J.; CARDOSO, T. E. *Gestão Integrada de Resíduos Sólidos para Instituições Públicas de Ensino Superior*. **Revista Gestão Universitária na América Latina**, Florianópolis, v. 4, ed. 3, p. 170-193, set/dez. 2011.

KHAN, M.; VAEZI, M.; KUMAR, A. *Optimal siting of solid waste-to-value-added facilities through a GIS-based assessment*. **Science of the Total Environment**, [*S. l.*], p. 1065-1075, 30 ago. 2017. DOI <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.08.169>. Disponível em: <www.elsevier.com/locate/scitotenv>. Acesso em: 17 maio 2020.

LONGLEY, P. A. et al. *Sistemas e Ciência da Informação Geográfica*. 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013.

LUPATINI, G. *Desenvolvimento de um sistema de apoio à decisão em escolha de áreas para aterros sanitários*. 2002. 166 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 2002.

MAGALHÃES, M. A. F. M. et al. *Sistemas de Informações Geográficas em saúde*, in 1 Serie: **Capacitação e Atualização em Geoprocessamento em Saúde**, Ministério da Saúde, Brasília, 2006.

MAGUIRI, A. El et al. *Landfill site selection using GIS, remote sensing and multicriteria decision analysis: case of the city of Mohammedia, Morocco*. **Bulletin of Engineering Geology and the Environment**, [*S. l.*], p. 1301-1309, 10 maio 2016.

MAKARICHI, L.; JUTIDAMRONGPHAN, W.; TECHATO, K. *The evolution of waste-to-energy incineration: A review*. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, [*S. l.*], v. 91, p. 812-821, 14 abr. 2018. DOI https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.04.088.

MANNARINO, C. F.; FERREIRA, J. A.; GANDOLLA, M. *Contribuições para a evolução do gerenciamento de resíduos sólidos urbanos no Brasil com base na experiência Europeia*. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 21, n. 2, p. 379–385, 2016.

MAPA, S. M. S.; LIMA, R. da S. *Uso combinado de sistemas de informações geográficas para transporte e programação linear inteira mista em problemas de localização de instalações*. [Editorial] **Gestão & Produção**, v. 19, n. 1, p. 119-136, 2012.

MARCHEZETTI, A. L. *Avaliação de alternativas tecnológicas para o tratamento de resíduos sólidos domiciliares pela aplicação do método AHP: estudo de caso da região metropolitana de Curitiba*. 2009. 173 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental, Universidade Federal do Paraná. Curitiba. 2009.

MICHAEL, T.; KRISHNAN, K. *Energy Recovery Council.* 2018 Directory of Waste-to-Energy Facilities. **Energy Recovery Council**. Out. de 2018.

MORGADO, T. C.; FERREIRA, O. M. *Incineração de Resíduos Sólidos Urbanos, aproveitamento na co-geração de energia. Estudo para a região metropolitana de Goiânia*. Goiânia. 2006. Disponível em: <http://web-resol.org/textos/incineracao_de_residuos_solidos_urbanos,.pdf> Acesso em: 21 jan 2017.

NASCIMENTO, V. F. et al. *Evolução e desafios no gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos no Brasil*. **Ambiente & Água**, [*S. l.*], v. 10, n. 4, p. 879 - 902, 27 ago. 2015. DOI: 10.4136/1980-993X. Disponível em: <www.ambi-agua.net>. Acesso em: 4 out. 2020.

NATIONAL Data: National Bureau of Statistics of China. [*S. l.*], 2020. Disponível em: <https://data.stats.gov.cn/english/easyquery.htm?cn=C01>. Acesso em: 4 out. 2020.

NUNES, R. R.; SILVA, R. A. P. da. *Transbordo de resíduos sólidos*. **Revista Pensar Engenharia**, [S. l], v. 3, n. 1. Jan. 2015.

PINTO, F. A. dos S. *Geomarketing e SIG como suporte ao planeamento e gestão turística do centro do Rio de Janeiro*. 2015. 106 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Sistemas de Informações Geográfica) – Universidade NOVA. Lisboa. Disponível em: https://run.unl.pt/handle/10362/18343. Acesso em: 29 nov. 2020.

POPULATION density per country. [S.l.]. 2019. Disponível em: <https://www.populationpyramid.net/population-density/2020/>. Acesso em: 4 out. 2020.

RAHMAT, Z. G. et al. *Landfill site selection using GIS and AHP: a Case Study: Behbahan, Iran*. **Journal of Civil Engineering**, [*S. l.*], p. 111-118, 10 jun. 2016. DOI 10.1007/s12205-016-0296-9. Disponível em: www.springer.com/12205. Acesso em: 4 maio 2018.

RATHORE, P.; SARMAH, S. P. *Modeling transfer station locations considering source separation of solid waste in urban centers: A case stydy of Bilaspur city, India*. **Journal of Cleaner Production**, [*S. l.*], v. 211, p. 44-60, 20 nov. 2018. DOI https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.11.100. Disponível em: www.elsevier.com/locate/jclepro. Acesso em: 25 set. 2020.

SANTOS, M. *A natureza do espaço: técnica e tempo: razão e emoção*. São Paulo: Hucitec, 2000.

SINGH, A.. *Remote sensing and GIS applications for municipal waste management*. **Journal of Environmental Management**, [*S. l.*], v. 243, p. 22-29, 9 maio 2019. DOI https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.05.017. Disponível em: www.elsevier.com/locate/jenvman. Acesso em: 27 set. 2020.

SOARES, E. L. de S. F. *Estudo da caracterização gravimétrica e poder calorífico dos resíduos sólidos urbanos*. 2011. 150 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 2011.

VEHLOW, J. *Air pollution control systems in WtE units: An overview*. **Waste Management**, v. 37, p. 58–74, 2015.

VIEIRA, F. P. *Importância do Georreferenciamento*. 2007. Artigo (trabalho de conclusão de curso) que será apresentado ao curso de Pós-Graduação em Georreferenciamento, da Faculdade de Rolim de Moura – Farol em Cacoal/ RO.

UYAN, M.. *MSW landfill site selection by combining AHP with GIS for Konya, Turkey*. **Environmental Earth Sciences**, [*S. l.*], p. 1630-1639, 29 maio 2013.

YADAV, V. et al. *A facility location model for municipal solid waste management system under uncertain environment*. **Science of The Total Environment**. [S. l.], p. 760-771, 8 abr. 2017. DOI http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.02.207

ZAMORANO, M. et al. *Evaluation of a municipal landfill site in Southern Spain with GIS-aided methodology*. **Juornal of Hazardous Materials**, v.160, p. 473-481, 2008.