

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL
CURSO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL

Igor Marcon Belli

**CONSTRUÇÃO DE BASE DE DADOS SIG PARA ANÁLISE ESPACIAL DE
CENÁRIOS DE GESTÃO DA FRAÇÃO ORGÂNICA DOS RESÍDUOS SÓLIDOS
URBANOS NO BRASIL**

Florianópolis

2022

Igor Marcon Belli

**CONSTRUÇÃO DE BASE DE DADOS SIG PARA ANÁLISE ESPACIAL DE
CENÁRIOS DE GESTÃO DA FRAÇÃO ORGÂNICA DOS RESÍDUOS SÓLIDOS
URBANOS NO BRASIL**

Trabalho Conclusão do Curso de Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental do Centro Tecnológico da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Sanitária e Ambiental.

Orientador: Prof. Armando Borges de Castilhos Junior, Dr.

Florianópolis

2022

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Belli, Igor Marcon

Construção de base de dados SIG para análise espacial de cenários de gestão da fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos no Brasil / Igor Marcon Belli ; orientador, Armando Borges de Castilhos Jr, 2022.

87 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental, Florianópolis, 2022.

Inclui referências.

1. Engenharia Sanitária e Ambiental. 2. Resíduos orgânicos. 3. SIG. 4. Gestão centralizada. 5. Gestão descentralizada. I. Castilhos Jr, Armando Borges de. II. Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental. III. Título.

Igor Marcon Belli

**CONSTRUÇÃO DE BASE DE DADOS SIG PARA ANÁLISE ESPACIAL DE
CENÁRIOS DE GESTÃO DA FRAÇÃO ORGÂNICA DOS RESÍDUOS SÓLIDOS
URBANOS NO BRASIL**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do Título de “Bacharel em Engenharia Sanitária e Ambiental” e aprovado em sua forma final pelo Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental.

Florianópolis, 16 de dezembro de 2022.

Prof^a. Maria Elisa Magri, Dr^a.
Coordenadora do Curso

Banca Examinadora:

Prof. Armando Borges de Castilhos Junior, Dr.
Orientador
Universidade Federal de Santa Catarina

Eng. Igor do Nascimento Quaresma, Msc.
Avaliador
Universidade Federal da Paraíba

Eng. Marcelo Seleme Matias, Dr.
Avaliador
Universidade Federal de Santa Catarina

Este trabalho é dedicado aos meus queridos e amados pais, Paulo e Kenia.

AGRADECIMENTOS

Começo escrevendo para as duas pessoas que me servem de inspiração, meus pais, Paulo Belli Filho e Kenia Marcon Belli. O amor, afeto, carinho, amizade, conselho e apoio sempre estiveram presentes em minha jornada até o momento.

A minha namorada, Pâmela Bogo Pessini, dedicada e com coração gigante que sempre me apoia, me incentiva e me acolhe. Agradeço pelos momentos únicos que passamos juntos e pelo carinho de sempre.

A toda minha família, por sempre estarem presentes em momentos de alegria em nossas confraternizações.

A Universidade Federal de Santa Catarina, pelo ensino gratuito e de qualidade durante esses 7 anos. Por me permitir realizar intercâmbio universitário com bolsa no país que nasci e construir minha carreira profissional. Agradeço também por todas as experiências vividas dentro da nossa querida UFSC.

Ao Prof. Armando Borges de Castilhos Júnior pela confiança de ser meu orientador, pelos conselhos e pela amizade de sempre. Agradeço também por abrir as portas para ser bolsista no LARESO, lugar onde tive o contato com a pesquisa e o “mundo dos resíduos”, área com a qual me identifico e busco me aperfeiçoar cada dia mais. Além de me proporcionar conhecer excelentes pesquisadores.

Ao Prof. do INSA Rémy Bayard, por ser meu orientador de estágio durante meu intercâmbio e que me proporcionou trabalhar com esse tema no meu TCC. Agradeço pelas reuniões quinzenais no Deep e por todo suporte profissional e pessoal durante meu período em Lyon.

A CAPES pelo apoio financeiro durante meu período de intercâmbio na França, pelo programa Brafitec.

Ao Igor do Nascimento Quaresma e Marcelo Seleme Matias por terem aceitado participar da banca examinadora.

Por fim, agradeço todos meus amigos, por me proporcionarem momentos de alegria e felicidade durante todos esses anos.

RESUMO

A gestão dos resíduos orgânicos urbanos é um dos principais desafios para o futuro da sociedade, pois a sua negligência pode provocar sérios problemas econômicos, sociais e ambientais. De modo a administrar o resíduo orgânico de forma mais eficaz, devem ser previstas etapas de coleta, tratamento e valorização. A compostagem e a digestão anaeróbica são as duas principais tecnologias de tratamento dos resíduos orgânicos, as quais fornecem como produto final um material rico em nutrientes e o biogás, respectivamente. A escolha da área mais apropriada para a implantação do centrais de tratamento e valorização de resíduos mostra-se uma dificuldade em grandes centros urbanos. A ferramenta SIG vêm sendo amplamente empregada em análises espaciais, tendo em vista a facilidade em processar diferentes tipos de dados para identificar a disponibilidade de áreas para a implementação de tecnologias. Nesta perspectiva, este estudo tem como objetivo analisar espacialmente as melhores opções de gestão de resíduos sólidos orgânicos em áreas urbanas, por meio de uma base SIG para duas capitais brasileiras, João Pessoa-PB e Florianópolis-SC. Foram identificadas as localidades mais adequadas, com o auxílio da ferramenta SIG, para uma possível implantação de centros de tratamento e a valorização dos resíduos orgânicos. As principais estratégias de gestão de resíduos orgânicos incluem a gestão centralizada e a descentralizada. Para a gestão centralizada, foram definidos critérios geográficos, ambientais e técnicos como avenidas, cursos d'água, espaços verdes sensíveis, poços artesianos e áreas residenciais, além de suas restrições para a seleção das áreas mais apropriadas. Na gestão descentralizada, por outro lado, o critério se baseou na escolha de parques e praças como áreas adequadas. Os resultados indicaram que, para a gestão centralizada, as áreas adequadas para uma possível instalação de um centro de tratamento em João Pessoa e Florianópolis representam 8% e 0,5% do território total, respectivamente. Em relação as áreas disponíveis para a valorização do composto gerado pela etapa de tratamento, a superfície disponível é de 46,92 km² para João Pessoa e 164 km² para Florianópolis. Já para a gestão descentralizada, o bairro com a maior área disponível em João Pessoa é o Costa do Sol, com 34,5% do seu território apropriado, enquanto para Florianópolis, o distrito continental mostrou-se mais apto, com 2% da área do distrito disponível, ao passo que a parte insular apresentou somente 0,8% do território disponível.

Palavras-chave: Resíduos orgânicos, SIG, Gestão centralizada, Gestão descentralizada.

ABSTRACT

The management of urban organic waste is one of the main challenges for the future of society, since its neglect can cause serious economic, social and environmental problems. In order to manage organic waste more effectively, stages of collection, treatment, and recovery should be foreseen. Anaerobic digestion and composting are the two main technologies for the treatment of organic waste, which provide as a final product biogas and a material rich in nutrients, respectively. The choice of the most appropriate area for the implementation of the central treatment and recovery of waste is a difficulty in large urban centers. The GIS tool has been widely used in spatial analysis, given the ease in processing different types of data to identify the availability of areas for the deployment of technologies. In this context, this study aims to spatially analyze the best management options for organic solid waste in urban areas, using a GIS basis for two Brazilian capitals, João Pessoa-PB and Florianópolis- SC. The most appropriate locations will be identified, with the help of the GIS tool, for a possible implementation of treatment centers and the valorization of organic waste. The main strategies for organic waste management were studied, which include centralized and decentralized management. For centralized management, geographic, environmental, and technical criteria such as avenues, waterways, sensitive green spaces, artesian wells, and residential areas were defined, as well as their restrictions for the selection of the most appropriate areas. In decentralized management, on the other hand, the criterion was based on the choice of parks and squares as adequate areas. The results indicated that, for centralized management, the areas suitable for a possible installation of a treatment center in João Pessoa and Florianópolis represent 8% and 0.5% of the total territory, respectively. In relation to the areas available for the valorization of the compost generated by the treatment stage, the surface available is 46.92 km² for João Pessoa and 164 km² for Florianópolis. For the decentralized management, the district with the largest available area in João Pessoa is Costa do Sol, with 34.5% of its appropriate territory, while for Florianópolis, the continental district proved to be more suitable, with 2% of the district area available, while the insular part presented only 0.8% of the available territory.

Keywords: Organic waste, GIS, Centralized management, Decentralized management.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1: Compostagem centralizada - Experiência do mercado atacadista de Glasgow, Escócia. | 23 |
| Figura 2: Compostagem comunitária - Experiência da casa de repouso Bergerac - Dordogne, França. | 26 |
| Figura 3: Risco de contaminação no solo de resíduos tóxicos e não tóxicos em Ferreira do Zêzere, Portugal..... | 31 |
| Figura 4: Contribuições dos bairros de Montréal para instalações de compostagem e digestão anaeróbica. | 32 |
| Figura 5: Áreas adequadas para implantação da planta de digestão anaeróbia na cidade de Oita, Japão. | 33 |
| Figura 6: Série histórica SNIS dos RSU coletados no Brasil entre os anos de 2010 e 2020. .. | 34 |
| Figura 7: Tratamento e destinação final dos RSU no Brasil entre 2011 e 2020..... | 36 |
| Figura 8: Fluxograma da metodologia. | 44 |
| Figura 9: Localização da cidade de Florianópolis. | 45 |
| Figura 10: Características socioeconômicas dos distritos de Florianópolis. (a) N° de habitantes por distrito; (b) Renda média mensal do responsável por domicílios permanentes; (c) Densidade demográfica por distrito..... | 46 |
| Figura 11: Resíduos orgânicos no território de Florianópolis. (a) % de resíduos orgânicos coletados pela coleta convencional por distrito; (b) Produção de resíduos orgânicos por distrito. | 47 |
| Figura 12: Características ambientais, técnicas e geográficas de Florianópolis. (a) Informações ambientais e técnicas; (b) Uso e ocupação do solo. | 48 |
| Figura 13: Localização da cidade de João Pessoa. | 50 |
| Figura 14: Características socioeconômicas do território de João Pessoa. (a) N° de habitantes por bairro; (b) Renda média por bairro; (c) Densidade demográfica por bairro. | 51 |
| Figura 15: Resíduos orgânicos no território de João Pessoa. (a) % de resíduos orgânicos gerados por bairro; (b) Produção de resíduos orgânicos por bairro..... | 52 |
| Figura 16: Características ambientais, técnicas e geográficas de João Pessoa. (a) Informações ambientais e técnicas; (b) Uso e ocupação do solo. | 53 |
| Figura 17: Resultado dos critérios e restrições estabelecidos para a gestão centralizada em Florianópolis. (a) Cursos d'água; (b) Áreas verdes sensíveis | 60 |

| | |
|--|----|
| Figura 18: Resultado dos critérios e restrições estabelecidos para a gestão centralizada em Florianópolis..... | 61 |
| Figura 19: Resultado dos critérios e restrições estabelecidos para a gestão centralizada em Florianópolis. (a) Área residencial de alta densidade; (b) Área residencial de baixa densidade | 62 |
| Figura 20: Composição dos critérios estabelecidos para locais de tratamento centralizado em Florianópolis..... | 63 |
| Figura 21: Resultado dos critérios e restrições estabelecidos para a gestão centralizada em João Pessoa. (a) Área residencial de alta densidade; (b) Área residencial de baixa densidade | 64 |
| Figura 22: Resultado dos critérios e restrições estabelecidos para a gestão centralizada em João Pessoa. (a) Avenidas; (b) Poços artesianos; (c) Cursos d'água; (d) Áreas verdes sensíveis.... | 65 |
| Figura 23: Composição dos critérios estabelecidos para locais de tratamento centralizado em João Pessoa..... | 66 |
| Figura 24: Locais de valorização para gestão centralizada em Florianópolis. | 67 |
| Figura 25: Locais de valorização para gestão centralizada em João Pessoa. | 68 |
| Figura 26: Áreas de tratamento para gestão descentralizada em Florianópolis. | 70 |
| Figura 27: Áreas de tratamento para gestão descentralizada em João Pessoa..... | 72 |
| Figura 28: Áreas de valorização para gestão descentralizada em Florianópolis. | 73 |
| Figura 29: Áreas de valorização para gestão descentralizada em João Pessoa. | 74 |

LISTA DE QUADROS

| | |
|--|----|
| Quadro 1: Relação na literatura de resíduos sólidos orgânicos tratados pela compostagem descentralizada..... | 27 |
| Quadro 2: Soluções técnicas para a compostagem coletiva descentralizada..... | 27 |
| Quadro 3: Lista de resíduos considerados como bioresíduos pela obrigação de valorização. . | 38 |
| Quadro 4: Características das instalações de acordo com a Norma nº 2780. | 39 |
| Quadro 5: Características das instalações de acordo com a Norma nº 2781. | 40 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 1: Critérios e restrições para a gestão centralizada de resíduos sólidos orgânicos em zona urbana. | 55 |
|--|----|

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

| | |
|----------|--|
| ABNT | Associação Brasileira de Normas Técnicas |
| ADEME | Agência para a Transição Ecológica |
| AEA | Agência Europeia do Meio Ambiente |
| ASMJP | Aterro Sanitário Metropolitano de João Pessoa |
| COMCAP | Companhia de Melhoramentos da Capital |
| CONAMA | Conselho Nacional do Meio Ambiente |
| EMLUR | Autarquia Municipal Especial de Limpeza Urbana |
| GEE | Gases de Efeito Estufa |
| IBGE | Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística |
| ICPE | Instalação Classificada para a Proteção do Meio Ambiente. |
| ONU | Organização das Nações Unidas |
| PMCL | Plano Municipal de Coleta Seletiva |
| PMGIRS | Plano Municipal de Gestão Integrada dos Resíduos Sólidos Urbanos |
| PNRS | Política Nacional de Resíduos Sólidos |
| PLANARES | Plano Nacional de Resíduos Sólidos |
| RSU | Resíduos Sólidos Urbanos |
| RSO | Resíduos Sólidos Orgânicos |
| SIG | Sistema de Informação Geográfica |
| SNIS | Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento |
| SPAn | Subprodutos Animais |
| UE | União Europeia |

SUMÁRIO

| | | |
|--------------|--|-----------|
| 1 | INTRODUÇÃO | 17 |
| 2 | OBJETIVOS | 20 |
| 2.1 | OBJETIVO GERAL | 20 |
| 2.2 | OBJETIVOS ESPECÍFICOS | 20 |
| 3 | REVISÃO BIBLIOGRÁFICA | 21 |
| 3.1 | ASPECTOS SOBRE A GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS ORGÂNICOS.... | 21 |
| 3.1.1 | Possibilidades de gestão em zonas urbanas | 21 |
| 3.1.1.1 | <i>Gestão centralizada</i> | <i>21</i> |
| 3.1.1.2 | <i>Gestão descentralizada.....</i> | <i>25</i> |
| 3.1.2 | Aplicações da gestão em áreas urbanas | 28 |
| 3.1.3 | Importância da gestão de resíduos sólidos orgânicos..... | 29 |
| 3.2 | SIG COMO FERRAMENTA PARA A GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS... 30 | |
| 3.2.1 | O conceito do SIG | 30 |
| 3.2.2 | Aplicações do SIG na gestão de resíduos sólidos urbanos | 30 |
| 3.3 | PANORAMA SOBRE OS RESÍDUOS SÓLIDOS ORGÂNICOS NO BRASIL 34 | |
| 3.3.1 | Geração | 34 |
| 3.3.2 | Gestão..... | 35 |
| 3.4 | ASPECTOS LEGAIS E NORMATIVOS DE RESÍDUOS SÓLIDOS ORGÂNICOS..... | 37 |
| 3.4.1 | Aspectos normativos na União Europeia (UE) | 37 |
| 3.4.2 | Normatização brasileira | 40 |
| 3.4.2.1 | <i>Legislação de Florianópolis, SC</i> | <i>41</i> |
| 3.4.2.2 | <i>Legislação de João Pessoa, Pb</i> | <i>42</i> |
| 4 | METODOLOGIA..... | 43 |
| 4.1 | ETAPAS DA PESQUISA | 43 |
| 4.2 | CARACTERIZAÇÃO DAS ÁREAS DE ESTUDO..... | 44 |
| 4.2.1 | Florianópolis, SC | 44 |
| 4.2.1.1 | <i>Características pela base de dados SIG.....</i> | <i>46</i> |

| | | |
|--------------|---|-----------|
| 4.2.2 | João Pessoa, Pb | 49 |
| 4.2.2.1 | <i>Características pela base de dados SIG.....</i> | 51 |
| 4.3 | CONSTRUÇÃO DA BASE DE DADOS SIG..... | 53 |
| 4.4 | ANÁLISE ESPACIAL DA GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS ORGÂNICOS..... | 54 |
| 4.4.1 | Critérios e restrições analisados para a gestão centralizada | 56 |
| 4.4.1.1 | <i>Tratamento.....</i> | 56 |
| 4.4.1.2 | <i>Valorização.....</i> | 57 |
| 4.4.2 | Critérios e restrições analisados para a gestão descentralizada..... | 58 |
| 4.4.2.1 | <i>Tratamento.....</i> | 58 |
| 4.4.2.2 | <i>Valorização.....</i> | 59 |
| 5 | RESULTADOS E DISCUSSÃO..... | 59 |
| 5.1 | GESTÃO CENTRALIZADA..... | 59 |
| 5.1.1 | Tratamento | 59 |
| 5.1.1.1 | <i>Florianópolis, SC.....</i> | 60 |
| 5.1.1.2 | <i>João Pessoa, Pb.....</i> | 64 |
| 5.1.2 | Valorização..... | 66 |
| 5.1.2.1 | <i>Florianópolis, SC.....</i> | 66 |
| 5.1.2.2 | <i>João Pessoa, Pb.....</i> | 68 |
| 5.2 | GESTÃO DESCENTRALIZADA | 69 |
| 5.2.1 | Tratamento | 69 |
| 5.2.1.1 | <i>Florianópolis, SC.....</i> | 69 |
| 5.2.1.2 | <i>João Pessoa, Pb.....</i> | 71 |
| 5.2.2 | Valorização..... | 73 |
| 5.2.2.1 | <i>Florianópolis, SC.....</i> | 73 |
| 5.2.2.2 | <i>João Pessoa, Pb.....</i> | 74 |
| 6 | CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES | 76 |
| | REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 78 |

1 INTRODUÇÃO

O crescimento populacional, a rápida urbanização e a industrialização contribuem para o aumento da quantidade de resíduos sólidos gerados pelas atividades humanas. Até 2050, a previsão é chegar a 3,40 bilhões de toneladas de resíduos gerados anualmente, portanto, é possível prever que em muitas regiões, onde não há uma gestão adequada, os resíduos serão um dos maiores problemas urbanos (KAZA *et al.*, 2018). Nos países desenvolvidos, 51% dos resíduos gerados são transformados em produtos reciclados, enquanto os países não desenvolvidos reciclam apenas 16%, sendo a maior parte depositada em aterros (KHAN *et al.*, 2022). Além disso, os resíduos sólidos orgânicos (RSO) representam cerca de 53% dos resíduos sólidos urbanos (RSU) gerados na América Latina e no Caribe, Leste Asiático e Pacífico (KAZA *et al.*, 2018). Para os países membros da UE, esta porcentagem é inferior e, de acordo com a Agência Europeia do Meio Ambiente, é de cerca de 34% (EEA, 2020). Observa-se que a gestão dos RSO urbanos deve ser realizada de forma adequada, a fim de reduzir seus potenciais incômodos (odores, desenvolvimento de microrganismos patogênicos, proliferação de insetos e roedores, riscos à saúde, caráter poluente no sentido mais amplo do termo) e possíveis problemas socioeconômicos nas cidades.

As principais tecnologias envolvidas na gestão dos resíduos orgânicos devem ser levadas em conta para a valorização do produto final, pois é possível recuperá-los na forma de energia ou material (BAYARD e GOURDON, 2010). Cidades europeias como Milão, Áustria e Genebra estão desenvolvendo estratégias para reduzir os possíveis impactos dos resíduos orgânicos urbanos e, ao mesmo tempo, buscam uma maior participação dos cidadãos para que o fluxo deste tipo de resíduos seja realizado de forma mais ecológica ao longo do processo. A separação na fonte e o envolvimento municipal são alternativas para iniciar o fluxo (ADEME, 2021). A gestão dos resíduos sólidos orgânicos inclui a coleta seletiva, o tratamento e a valorização do produto final. O objetivo da coleta seletiva é evitar a mistura com outros tipos de resíduos e otimizar as etapas de tratamento e valorização. Se esta coleta for realizada corretamente, os custos do tratamento serão reduzidos (ADEME, 2020). Para o tratamento deste tipo de resíduos, as tecnologias mais utilizadas são a compostagem e a digestão anaeróbica. A compostagem consiste na decomposição de materiais fermentáveis na presença de oxigênio com a ajuda de microrganismos, enquanto a digestão assegura a decomposição da matéria orgânica em condições anaeróbicas rigorosas de metanização.

Os produtos deste processo biológico são um resíduo sólido bioestabilizado que pode ser utilizado na agricultura como composto orgânico, e o biogás, um gás que pode ser convertido em eletricidade, energia térmica ou em biometano (EEA, 2020). Com a implementação da gestão de resíduos biodegradáveis, esses resíduos são desviados do aterro, com múltiplos benefícios: aumento da vida útil das instalações de armazenamento de resíduos não perigosos, redução das emissões de gases de efeito estufa (GEE), redução dos custos operacionais e pós-operacionais, entre outros (KENG *et al.*, 2020). Os custos evitados podem ser direcionados para as outras etapas da gestão de resíduos, contribuindo para a criação de novos empregos e grandes benefícios para a sociedade.

Neste contexto, a destinação dos resíduos orgânicos para o aterro sanitário caracteriza-se como um dos principais problemas da gestão e gerenciamento de resíduos. A falta de iniciativas públicas para a recuperação de resíduos orgânicos promove a perda do uso potencial da matéria orgânica, gerando um passivo nos aterros existentes devido ao volume e área ocupada. O desenvolvimento relacionado ao tratamento e valorização de resíduos orgânicos requer a disponibilidade de áreas adequadas para a implementação de tecnologias, visto que possíveis instalações podem causar problemas de mau cheiro, ruídos, detritos e geração de resíduos ou efluentes (BELTRAN *et al.*, 2010). A ferramenta SIG vêm sendo amplamente empregada em análises de uso e ocupação do solo, tendo em vista a facilidade em processar diferentes tipos de dados em um único sistema. Especificamente no âmbito da gestão de resíduos, a ferramenta é utilizada para otimizar a localização de centros de coleta de reciclagem em áreas urbanas (CHANG e WEI, 2000), determinar locais apropriados para digestão anaeróbica (BABALOLA, 2018) e instalações de compostagem (YALCINKAYA *et al.*, 2021), além de avaliar espaços territoriais em áreas urbanas para recuperação de resíduos (TANGUY *et al.*, 2017).

O presente estudo visa analisar espacialmente as melhores opções de gestão de resíduos sólidos orgânicos em áreas urbanas, por meio da construção de uma base de dados SIG. Neste trabalho serão analisadas duas capitais brasileiras, João Pessoa-Pb e Florianópolis- SC, onde serão identificadas as possíveis áreas mais adequadas, com o auxílio da ferramenta SIG, para a implantação de tecnologias de tratamento e valorização dos resíduos orgânicos.

Essa pesquisa foi desenvolvida durante um período de estágio apoiado pelo Programa CAPES/Brafitec no Institut National des Sciences Appliquées de Lyon – INSA/Lyon. O estudo foi primeiramente direcionado ao município de João Pessoa-Pb, integrando-se a tese de

doutorado de Igor do Nascimento Quaresma. Em seguida, a metodologia foi aplicada na cidade de Florianópolis-SC. O entendimento da gestão de resíduos orgânicos na União Europeia (UE) estabeleceu a base para as alternativas aplicadas para às duas capitais brasileiras.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

A analisar espacialmente as melhores opções de gestão da fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos, por meio da construção de uma base de dados SIG.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analisar as principais estratégias de gestão de resíduos sólidos orgânicos urbanos;
- Definir critérios e restrições para a locação de unidades de gerenciamento de resíduos sólidos orgânicos urbanos;
- Identificar as áreas urbanas aptas à serem utilizadas para implementação de sistemas de tratamento e valorização de resíduos sólidos orgânicos.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 ASPECTOS SOBRE A GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS ORGÂNICOS

3.1.1 Possibilidades de gestão em zonas urbanas

As três principais atividades de gestão de resíduos são a coleta, tratamento e valorização, mas igualmente a disposição final ambientalmente adequada dos produtos no processo. Neste contexto, são descritas duas opções para o gerenciamento de resíduos orgânicos, de modo a otimizar o processo de gestão. A primeira opção visa separar os resíduos na fonte, coletando-os separadamente e tratando-os de forma centralizada. A segunda opção visa tratar e valorizar os resíduos em locais próximos da produção, ou seja, de forma descentralizada (ADEME, 2020).

3.1.1.1 Gestão centralizada

Esta opção busca reduzir os resíduos sólidos orgânicos (RSO) depositados em aterros sanitários, com o objetivo de valoriza-los em forma de energia ou matéria. A recuperação residual por compostos orgânicos para fertilização do solo, recuperação de energia através do biogás, redução do uso de combustíveis fósseis e a otimização das operações de triagem para as frações recicláveis devem ser considerados para este tipo de gestão (ADEME, 2020; EEA, 2020). Entretanto, sua implementação em áreas urbanas apresenta aspectos desfavoráveis, que precisam ser levados em consideração:

- Instalação de contentores adicionais em locais onde muitas vezes não há espaço de armazenamento (ADEME, 2020);
- Problemas técnicos envolvendo sacos específicos para resíduos orgânicos (ADEME, 2020);
- Criação de novas rotas específicas para caminhões (ADEME, 2020);
- Vigilância quanto ao cumprimento das instruções de segregação (LOHRI *et al.*, 2017).

A coleta seletiva visa facilitar o tratamento e a recuperação de produtos, nos quais apenas um fluxo de resíduo é mantido durante todo o percurso do processo. Para os resíduos

biodegradáveis produzidos, as duas principais formas de coleta são a coleta porta a porta e a coleta ponto a ponto. A primeira opção tem uma rota de coleta predefinida pelas ruas do bairro e os resíduos são depositados em contentores específicos que são levados para as proximidades do caminho do caminhão. Na segunda opção, os resíduos são depositados em coletores específicos instalados em pontos fixos na rota do caminhão de coleta (ADEME, 2020). Quanto às duas últimas etapas de gestão (tratamento e valorização), as principais tecnologias utilizadas para o tratamento são a compostagem e a digestão anaeróbica, cuja a valorização pode ser energética, com a produção de biogás e, posteriormente a obtenção do metano ou material, pela produção de adubo orgânico para o setor agrícola (EEA, 2020).

a) Compostagem

Os princípios da compostagem estão bem estabelecidos no gerenciamento de resíduos orgânicos, uma vez que a prática foi identificada nas antigas civilizações (FITZPATRICK, WORDEN e VENDRAME, 2005). Esta tecnologia é considerada um tratamento simples e sua utilização já foi bem comprovada em áreas de baixa, média e alta renda (LOHRI *et al.*, 2017). Além disso, o uso da compostagem reduz muitos impactos ambientais, incluindo a redução das emissões de GEE dos aterros sanitários, o melhoramento estrutural do solo e a substituição de fertilizantes químicos por fertilizantes orgânicos (KENG *et al.*, 2020). Segundo Bayard e Gourdon (2010), a compostagem é um processo biológico para a recuperação da matéria orgânica, seja de origem urbana, doméstica, industrial ou agrícola.

A matéria orgânica se decompõe na presença de oxigênio sob a ação de microrganismos presentes nos resíduos. A biodegradação produz um material humificado, chamado de composto, que pode ser usado como corretivo orgânico do solo. Entende-se que a compostagem no contexto da gestão centralizada de resíduos orgânicos é denominada de compostagem centralizada, visto que a instalação está geralmente localizada fora da área urbana densa e recebe a grande parcela dos resíduos coletados. Estas instalações podem possuir plataformas de compostagem mecanizadas de grande escala. As etapas de fermentação e maturação são controladas para garantir a melhor qualidade do composto final. O processamento em tonelagens altas da matéria orgânica requer o uso de equipamentos mecânicos como correias transportadoras, equipamentos rotativos, trituradores e telas de tambor rotativo para garantir o processamento eficiente do material (ADEME, 2012a).

Figura 1: Compostagem centralizada - Experiência do mercado atacadista de Glasgow, Escócia.



Fonte: ADEME (2012a).

O processo de biodegradação pela compostagem pode ser distinguido em quatro etapas: mesofílica, termofílica, resfriamento e maturação (BAYARD e GOURDON, 2010). No entanto, em muitos casos, as três primeiras etapas também são referidas como fermentação. Sob estas condições, para que a compostagem prossiga de forma otimizada, fatores como temperatura, umidade, relação carbono/nitrogênio (C/N), aeração e pH devem ser controladas (BAYARD e GOURDON, 2010).

- **Mesofílica:** esta etapa é realizada principalmente por fungos e bactérias que degradam os compostos simples da matéria orgânica. Pode atingir temperaturas entre 35 e 45°C em poucas horas ou dias, dependendo das condições de operação
- **Termofílica:** esta é a etapa mais quente do processo, inicia quando a temperatura está entre 50 e 65°C. Os microrganismos patogênicos são eliminados durante esta fase. No final desse processo, o composto perde peso devido à liberação de dióxido de carbono;
- **Resfriamento:** esta fase começa quando a matéria orgânica está quase degradada e se prolonga por até um mês. A alta temperatura da etapa anterior já não está presente, estando esta etapa entre 40 e 50°C. O composto perde seu cheiro desagradável;
- **Maturação:** este é o estágio de estabilização da matéria orgânica, quando ela é completamente transformada em húmus. A temperatura está entre 45 e 30°C. A maturação é geralmente a fase mais lenta do processo.

b) Digestão anaeróbica

A aplicação de tecnologia de digestão anaeróbica é uma alternativa confiável, devido ao conhecimento econômico e técnico existente (ZAMRI *et al.*, 2021). Sua aplicação é possível para uma grande variedade de materiais orgânicos e é considerada uma tecnologia que oferece dois importantes produtos finais para a economia, em termos de energia (biogás) e material (digestato) (FRANCO, BAYARD e BUFFIÈRE, 2018). Apesar de muitas vantagens, a aplicação da digestão anaeróbica para o tratamento de resíduos orgânicos urbanos é ainda recente. É uma solução promissora para a gestão de resíduos orgânicos, pois reduz o uso do solo e da água, e pode eliminar problemas de energia em áreas isoladas ou subdesenvolvidas (ZAMRI *et al.*, 2021).

A digestão anaeróbica, também conhecida como metanização, é um processo biológico realizado em digestores onde os microrganismos degradam a matéria orgânica na ausência de oxigênio (ADEME, 2015a). Os dois principais produtos são biogás e o digestato. A primeira é uma mistura gasosa composta principalmente de metano que pode ser convertida em eletricidade, energia térmica ou biocombustível gasoso, enquanto a segunda contribui para melhorar a qualidade do solo. Fatores como temperatura e pH, se não forem devidamente controlados, podem afetar fortemente o processo, pois as operações geralmente ocorrem em uma zona mesófila, ou seja, em uma faixa de temperatura entre 25 e 40°C. O pH deve estar próximo do neutro (BAYARD e GOURDON, 2010). O processo de digestão anaeróbica pode ser dividido em quatro fases, sendo executadas por grupos de bactérias (ADEME, 2015a):

- **Hidrólise:** a matéria orgânica complexa de alto peso molecular é degradada em compostos solúveis mais simples por bactérias anaeróbicas facultativas. Essas bactérias crescem com relativa rapidez. São capazes de se adaptar a uma carga elevada e toleram valores de pH de até 5;
- **Acidogênese:** as pequenas moléculas do estágio anterior são transformadas principalmente em ácidos graxos voláteis e, em quantidades menores, em álcoois, ácido láctico, dióxido de carbono, hidrogênio, amônia e sulfeto de hidrogênio. As bactérias presentes têm as mesmas características que a etapa da hidrólise;

- **Acetogênese:** as bactérias anaeróbicas estritas e muito particulares presentes nessa etapa, oxidam os produtos gerados na fase anterior e os transformam em hidrogênio, dióxido de carbono e acetato. Estas bactérias são de crescimento lento e são inibidas a um pH abaixo de 6. Nesta fase, há um acúmulo progressivo de ácidos graxos voláteis no meio;
- **Metanogênese:** o ácido acético e o hidrogênio formados durante a fase de acetogênese são convertidos em gás metano por bactérias metanogênicas. Estas bactérias crescem lentamente devido à sua pobre capacidade de consumir moléculas orgânicas simples e são inibidas à pH abaixo de 6.

3.1.1.2 Gestão descentralizada

Diante de possíveis problemas logísticos relacionados à coleta seletiva, ao custo do transporte do material, baixa participação em relação à triagem e possíveis erros de segregação, uma alternativa é a gestão descentralizada. Esta técnica visa conscientizar a população sobre todas as questões relacionadas à gestão de resíduos, desde a prevenção até o destino final. Além disso, realiza o gerenciamento em locais próximos à fonte, a fim de limitar o uso da coleta tradicional e reduzir o tratamento em locais centralizados (ADEME, 2015b).

As instalações centralizadas de tratamento de resíduos orgânicos já estão implementadas em muitos lugares e sua tecnologia já é conhecida. No entanto, a gestão descentralizada é proposta como uma solução mais simples e complementar para a recuperação de resíduos sólidos orgânicos (MARTINEZ-BLANCO *et al.*, 2010). Em termos de custo, um sistema descentralizado é mais econômico do que um sistema centralizado, especialmente pela redução dos custos de coleta (RATHORE *et al.*, 2022). Em termos de qualidade do produto final, a gestão descentralizada pode atingir níveis semelhantes, se não melhores, do que a gestão centralizada (BARRENA *et al.*, 2014).

Conforme a ADEME (2015b), a gestão descentralizada de RSO está associada à compostagem descentralizada de resíduos biodegradáveis. O tratamento pela compostagem é geralmente realizado em composteiras domésticas ou composteiras comunitárias, também chamadas de coletivas, localizados em espaços públicos como praças ou parques. O dispositivo mais simples e menos caro, a compostagem doméstica, é geralmente manual e relativamente simples, pois não é necessário nenhum equipamento sofisticado para controlar o processo. O composto produzido em casa é normalmente utilizado no local. A compostagem compartilhada

é uma operação de compostagem comunitária em um bairro ou no pé de um edifício. O trabalho voluntário local é importante para a eficiência do processo (ADEME, 2012a; ADEME, 2012b).

Figura 2: Compostagem comunitária - Experiência da casa de repouso Bergerac - Dordogne, França.



Fonte: ADEME (2012a).

A técnica de compostagem descentralizada se complementa com a gestão centralizada. Entretanto, na literatura, para caracterizar a compostagem descentralizada, em termos de quantidade de resíduos orgânicos tratados, o valor difere de autor para autor. Bortolotti, Kampelmann e Muynck (2018) caracterizam a compostagem descentralizada como menos de 10 ton/ano, ao contrário de Miller, Wilson e Warburton (2013), que consideram inferior a 26 ton/ano.

Pai, Ai e Zheng (2019) dividem a compostagem descentralizada em doméstica e compartilhada, sendo caracterizadas entre 0,4 e 0,5 ton/ano e menos de 250 ton/ano, respectivamente. Embora não haja quantidade exata a ser tratada, deve-se observar que esta técnica de tratamento tem dimensões relativamente pequenas e sua localização deve ser próxima ao centro de valorização. No Quadro 1, é possível verificar cada valor de acordo com os autores.

Quadro 1: Relação na literatura de resíduos sólidos orgânicos tratados pela compostagem descentralizada.

| Autores | Compostagem doméstica (ton/ano) | Compostagem comunitária (ton/ano) | Compostagem descentralizada (ton/ano) |
|--|--|--|--|
| Pai, Ai e Zheng (2019) | 0,4 - 0,5 | < 250 | - |
| Bortolotti, Kampelmann e Muynck (2018) | - | - | < 10 |
| Miller, Wilson e Warburton (2013) | - | - | < 26 |
| Andersen <i>et al.</i> , (2010) | < 0,2 | - | - |
| Martínez-Blanco <i>et al.</i> , (2010) | < 0,55 | - | - |
| Drescher e Zurbrügg (2006) | - | - | < 10 |

Fonte: Pai, Ai et Zheng (2019); Bortolotti, Kampelmann et Muynck (2018); Miller, Wilson et Warburton (2013); Andersen *et al.*, (2010); Martínez-Blanco *et al.*, (2010); Drescher et Zurbrügg (2006).

A ADEME (2012b) indica que, para sistemas descentralizados, existem soluções de compostagem em contentores, em pavilhão e em leiras. Além disso, para a compostagem coletiva, a localização do tratamento deve ser entre 100 e 150 metros das casas, a fim de não desestimular a participação do público. O Quadro 2 apresenta as características técnicas das três soluções mencionadas.

Quadro 2: Soluções técnicas para a compostagem coletiva descentralizada.

| Soluções técnicas | Contentor | Pavilhão | Leiras |
|----------------------------------|------------------|-----------------|--|
| Limite de ton/ano | 2 - 3 | 1 - 20 | Várias dezenas de toneladas |
| Limite de residências | 3 - 200 | 10 - 200 | De 20 a várias centenas de residências |
| Área utilizada (m ²) | 3 - 50 | 3 - 50 | Várias centenas de m ² |
| Custos de instalação (€) | 100 - 1.000 | 500 - 4.400 | Mais de 10.000 € sem maquinário (prestação de serviço) |

Fonte: ADEME (2012b).

3.1.2 Aplicações da gestão em áreas urbanas

A cidade de Milão, com uma população de 1,4 milhões de habitantes, é um excelente exemplo de gerenciamento de resíduos orgânicos. Com o intuito de desenvolver um modelo integrado de gestão de resíduos biodegradáveis, a cidade italiana impôs a obrigação de coleta seletiva em porta a porta em 2012. Uma primeira campanha de informação foi realizada com o objetivo de distribuir recipientes de cozinha ventilado de 10 L, juntamente com um rolo de sacos biodegradáveis. Os usuários usam atualmente sacos de compras, que são produtos compostáveis obrigatórios no país desde 2010. Neste sistema, a gestão descentralizada não existe formalmente e a digestão anaeróbica, seguida da compostagem do digestato, é a tecnologia utilizada para o tratamento dos resíduos orgânicos urbanos. Os resíduos alimentares e de jardinagem são separados, representando, respectivamente, 99,7% e 0,3% dos resíduos biodegradáveis coletados em Milão (ADEME, 2021).

Para a cidade de Copenhague, na Dinamarca, a coleta separada de resíduos alimentares é obrigatória desde 2021. Além disso, ela é estimulada por uma série de impostos sobre incineração e aterro sanitário, visando a produção de energia renovável. A cidade tem 602.500 habitantes e pretende atingir uma meta de 70% de recuperação de resíduos até 2024. Toda a população é coberta pela coleta de lixo biológico em porta a porta e a metanização, com aplicação direta da terra do digestato, é a forma mais comum de tratamento e valorização. A triagem é feita exclusivamente para resíduos alimentares. Composteiras domésticos e sacos plásticos compostáveis são fornecidos pela cidade para famílias com jardim (ADEME, 2021).

A cidade de Viena, na Áustria, introduziu a coleta separada de lixo orgânico em 1991, com o objetivo de encontrar um adubo orgânica de qualidade para o mercado de horticultura da cidade. Atualmente, conta com uma população de 1.900.000 habitantes dos quais 6% da população é coberta pela coleta em porta a porta. Além disso, a cidade possui mais de 10.000 contentores espalhados na cidade para contribuição voluntária, uma vez que a coleta de porta a porta é complementada pelo modelo ponto a ponto. A cidade não fornece composteiras ou sacos biodegradáveis para a população e a principal opção para o tratamento de resíduos orgânicos é a compostagem centralizada. O lixo biológico, que está misturado ou contaminado com impurezas é enviado para uma unidade de metanização (ADEME, 2021). Em Genebra, na Suíça, a coleta separada de resíduos orgânicos não é obrigatória, mas é incentivada por lei. A cidade tem 205.000 habitantes e todos estão cobertos pela coleta porta a porta, embora existam

123 contentores espalhados na cidade para contribuição voluntária em áreas de grande densidade.

A gestão descentralizada está presente através de iniciativas associativas ou individuais, em áreas residenciais onde são instaladas composteiras para uso coletivo. A cidade fornece gratuitamente sacos plásticos compostáveis e contentores de 7 L. Para o tratamento, a tecnologia mais utilizada é a metanização seguida de compostagem (ADEME, 2021).

Em Florianópolis, no Brasil, no bairro Monte Cristo, a partir do Projeto Revolução dos Baldinhos, ocorre a gestão comunitária dos resíduos sólidos orgânicos. Essa ação teve início em 2008, com objetivo de minimizar os graves problemas de saúde pública pela prática de compostagem descentraliza em áreas comunitárias. Inicialmente, cerca de 15 ton/mês de resíduos orgânicos eram coletadas, provenientes de 200 famílias. Os resíduos gerados são destinados a pontos de coleta voluntária na comunidade, sendo coletados e compostados em pátios específicos. O produto final é utilizado principalmente na comunidade e nas hortas escolares (ABREU, 2013).

3.1.3 Importância da gestão de resíduos sólidos orgânicos

Os aterros sanitários são uma fonte significativa de emissões de gases de efeito estufa e a redução da quantidade de resíduos orgânicos depositados em aterros sanitários europeus reduziria as emissões totais na UE em 3% (EEA, 2020). Além disso, o tempo de operação dessas instalações seria significativamente aumentado pela redução do volume de resíduos orgânicos e, como resultado, os impactos ambientais, sociais e econômicos dessas instalações seriam reduzidos (KENG *et al.*, 2020). Os custos evitados em aterros sanitários podem ser direcionados para a expansão da coleta seletiva e tecnologias de tratamento. Com o aumento das toneladas de resíduos reciclados, é possível gerar novos empregos, novos produtos e novas oportunidades (EEA, 2020). Em uma economia circular e seguindo os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da ONU, os resíduos orgânicos gerados são um recurso valioso, visto que são fontes de correção orgânica para solos agrícolas empobrecidos pela agricultura intensiva. Além disso, a digestão anaeróbica também produz biogás, importante fonte para gerar calor e eletricidade ou um biocombustível de baixo teor de carbono, sendo importante para um mundo que quer diversificar suas fontes de energia e reduzir o uso de combustíveis fósseis (EEA, 2020).

Diante disso, a problemática sobre a gestão e gerenciamento dos resíduos orgânicos é caracterizada pela falta de políticas públicas, ineficiência do sistema e o baixo entendimento do

fluxo completo desses tipos de resíduos pela população. A sua grande parte é misturada com outros tipos de resíduos e encaminhada para os aterros sanitários, devido à falta de segregação na fonte ou ao sistema de coleta que não é seletivo para os resíduos biodegradáveis. Desta forma, evidencia-se que é necessário implementar estratégias em diferentes setores da sociedade, de acordo com aspectos econômicos, operacionais, técnicos e geográficos, com objetivo de criar iniciativas e alcançar o entendimento da geração do resíduo sólidos orgânicos até a sua valorização.

3.2 SIG COMO FERRAMENTA PARA A GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS

3.2.1 O conceito do SIG

O SIG é definido como um sistema de ferramentas tecnológicas para a coleta, armazenamento, análise, transformação e manipulação de dados espaciais. O objetivo é utilizar ferramentas informáticas para processar diferentes tipos de dados em um único sistema, incluindo dados vetoriais, que são formas geométricas com informações associadas, e dados compostos de uma matriz de pixels, chamados de dados raster. Assim, é possível resolver problemas sociais complexos que requerem o uso de análise espacial de um possível território (CHALKIAS e LASARIDI, 2011). Esta ferramenta tornou-se essencial no apoio à decisão nas mais diversas áreas da sociedade, permitindo o acesso aos dados e encontrando soluções para as respostas de forma rápida e eficiente. Além disso, é uma chave importante para analisar a evolução espacial e temporal de diferentes fenômenos geográficos. Pode ser aplicado em áreas como planejamento urbano, espaços públicos, infraestrutura, recursos naturais, agricultura, proteção civil, gestão de resíduos, energia, gestão de transportes, entre outras. Ela fornece informações essenciais aos tomadores de decisão para a implementação de políticas de gestão de recursos e atividades. Além disso, o SIG é uma das ferramentas que permite apoiar e analisar em profundidade o território estudado, com suas diversas aplicações na base de dados construída (FERREIRA, 2019).

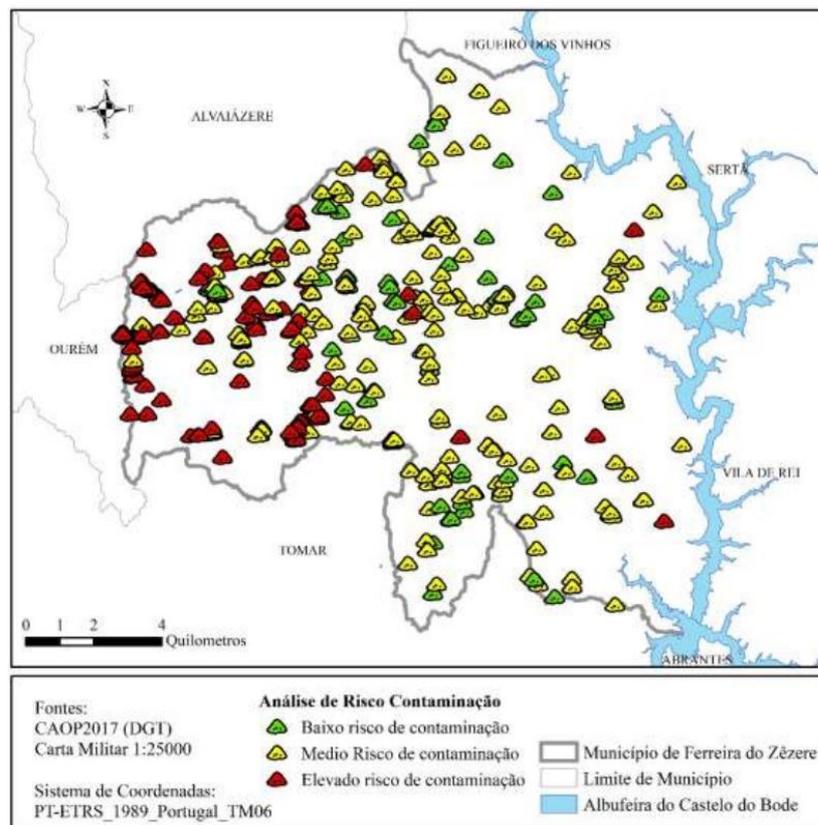
3.2.2 Aplicações do SIG na gestão de resíduos sólidos urbanos

Nas aplicações mencionadas anteriormente, considera-se o uso do SIG na gestão de resíduos sólidos em territórios urbanos. De acordo com Chalkias e Lasaridi (2011), a aplicação

mais difundida na literatura é a modelagem baseada em SIG para encontrar áreas de aterros sanitários e otimizar a coleta e o transporte de resíduos. No entanto, esta ferramenta foi implementada com sucesso para monitorar a geração e eliminação descontrolada de resíduos (SUFİYAN, DASUKI e KONTAGORA 2015), auxiliar na gestão de resíduos em áreas costeiras (SARPTAS *et al.*, 2005) e otimizar a localização de centros de coleta de reciclagem em áreas urbanas (CHANG e WEI, 2000).

Ferreira (2019) avaliou o risco de contaminação dos resíduos tóxicos e não tóxicos depositados ao ar livre, de acordo com as características de permeabilidade do solo, declividade, usos e ocupação do solo, proximidade aos cursos d'água e rodovias na cidade de Ferreira do Zêzere, em Portugal (Figura 3). No estudo, foi verificado que 34% dos resíduos se encontram no grupo de elevado risco de contaminação e dos 611 locais selecionados, 207 estão em área de elevado risco de contaminação, exigindo a necessidade urgente de monitorar essas áreas.

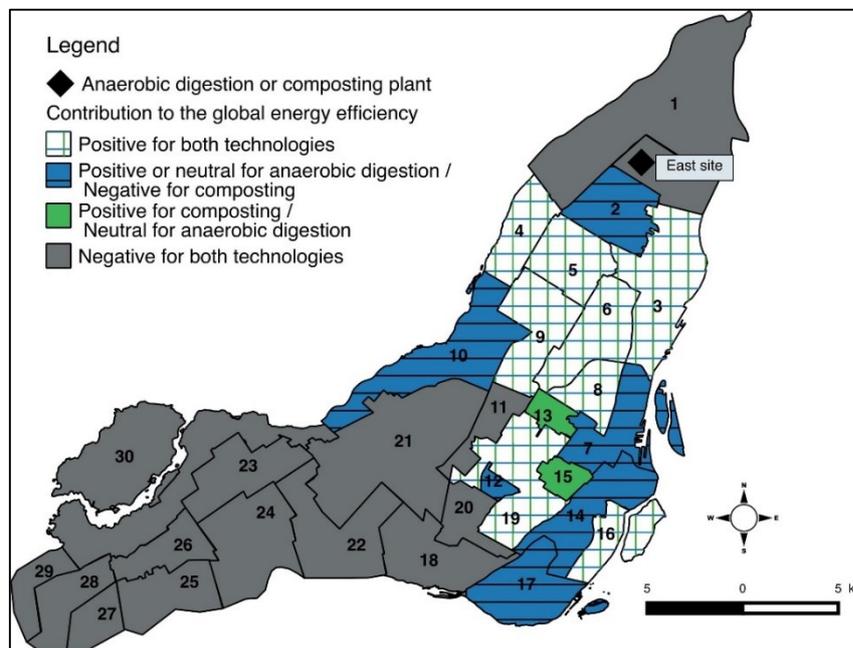
Figura 3: Risco de contaminação no solo de resíduos tóxicos e não tóxicos em Ferreira do Zêzere, Portugal.



Fonte: FERREIRA (2019).

Segundo Tanguy *et al.* (2017), a abordagem pode ser usada para retratar a dinâmica espacial dos resíduos orgânicos em áreas urbanas para uma possível recuperação. O desempenho de cada bairro depende de características relacionadas a geração de resíduos e tamanho, além da distância até a instalação e o tipo de tecnologia de tratamento. A Figura 4 mostra que apenas 10 bairros da cidade de Montréal, no Canadá, podem ser incluídos na área de serviço da usina de compostagem, enquanto 16 para digestão anaeróbica. Entretanto, as duas tecnologias têm escalas espaciais diferentes, o que implica em cenários com um número diferente de instalações e/ou dimensões.

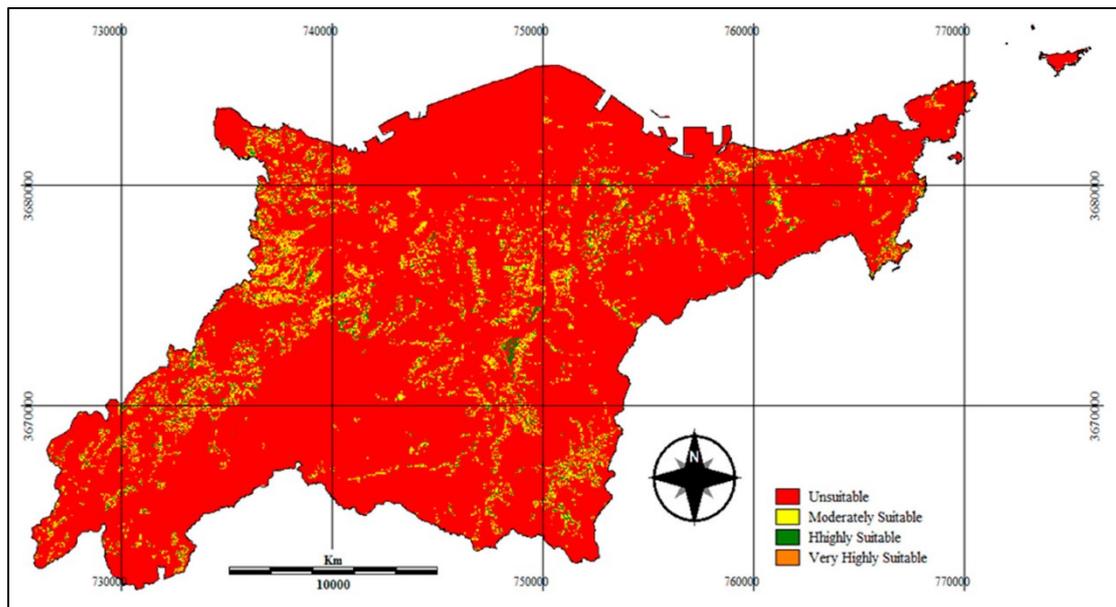
Figura 4: Contribuições dos bairros de Montréal para instalações de compostagem e digestão anaeróbica.



Fonte: TANGUY *et al.*(2017).

Além disso, o SIG pode determinar locais apropriados para uma possível implantação de uma planta digestão anaeróbica (Figura 5), juntamente com análise de decisão multicritério baseada em critérios técnicos e econômicos na cidade de Oita no Japão. O estudo selecionou fatores limitantes como corpos d'água, áreas florestais, áreas residências, estradas, centros turísticos e declividade do solo. A adequação de todos os critérios indicou que apenas 13,36 km² do território é considerado adequado para os critérios selecionados (BABALOLA, 2018).

Figura 5: Áreas adequadas para implantação da planta de digestão anaeróbia na cidade de Oita, Japão.



Fonte: BABALOLA (2018).

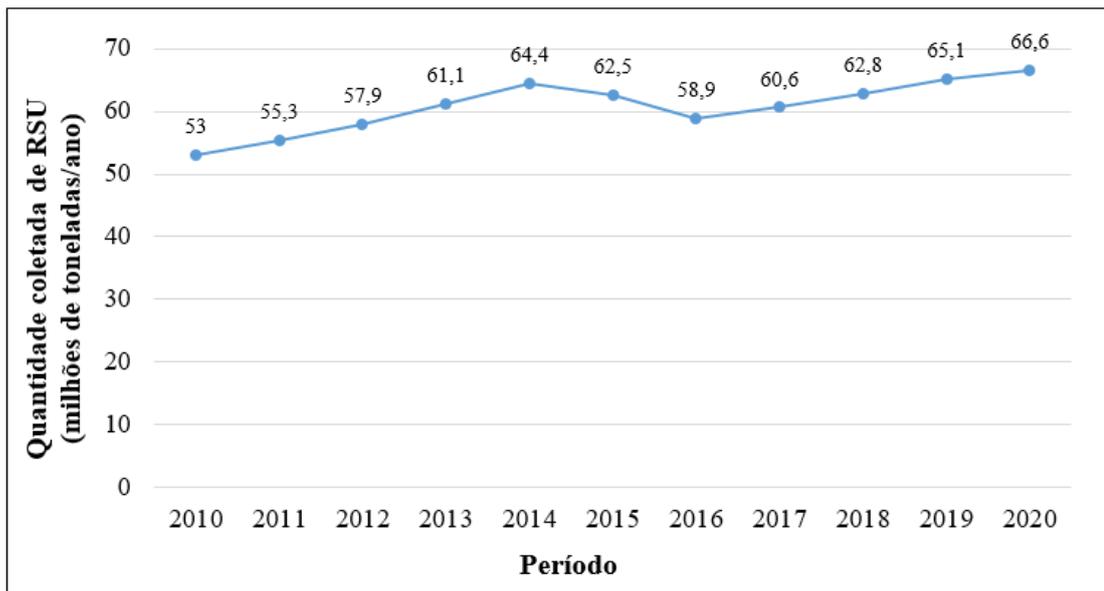
A localização das instalações de tratamento é uma questão estratégica na gestão de resíduos, uma vez que podem apresentar problemas de mau cheiro, ruídos, detritos e geração de resíduos ou efluentes (BELTRAN *et al.*, 2010). Além disso, com a finalidade de encontrar as áreas ideais para a instalação e com o mínimo de incômodo para a população, é necessário levantar a quantidade máxima de informações ambientais, sociais e geográficas do território (COLEBROOK e SICÍLIA, 2007). A fim de estabelecer as soluções, a escolha do local de tratamento está associada à definição de restrições. Critérios como avenidas, cursos d'água, áreas residenciais, áreas protegidas, declividade, relevo e uso do solo foram identificados como os principais fatores analisados com a ferramenta SIG para determinar restrições e locais potenciais para uma futura usina de compostagem ou digestão anaeróbica (CHUKWUMA *et al.*, 2021; YALCINKAYA *et al.*, 2021; YEO *et al.*, 2021; HUMAGAIN, 2020; THIRIET, BIOTEAU e TREMIER, 2020; BABALOLA, 2018).

3.3 PANORAMA SOBRE OS RESÍDUOS SÓLIDOS ORGÂNICOS NO BRASIL

3.3.1 Geração

De acordo com a série histórica do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), a massa de RSU coletada no Brasil, entre os anos de 2010 e 2020, aumentou aproximadamente 26%, passando de 53 milhões de toneladas para 66,6 milhões de toneladas. Em relação à população total, a taxa média de coleta passou de 0,93 kg/hab.dia para 0,97 kg/hab.dia (BRASIL, 2022c). Em cidades com até 30.000 habitantes, o último relatório mostra que a taxa de coleta foi de 0,85 kg/hab.dia, enquanto em cidades com 1 e 4 milhões de habitantes foi de 1,06 kg/hab.dia (BRASIL, 2021). A Figura 6 ilustra a evolução da quantidade coletada de resíduos sólidos urbanos no Brasil entre os anos de 2010 e 2020, de acordo com a série histórica do SNIS.

Figura 6: Série histórica SNIS dos RSU coletados no Brasil entre os anos de 2010 e 2020.



Fonte: Brasil (2022c).

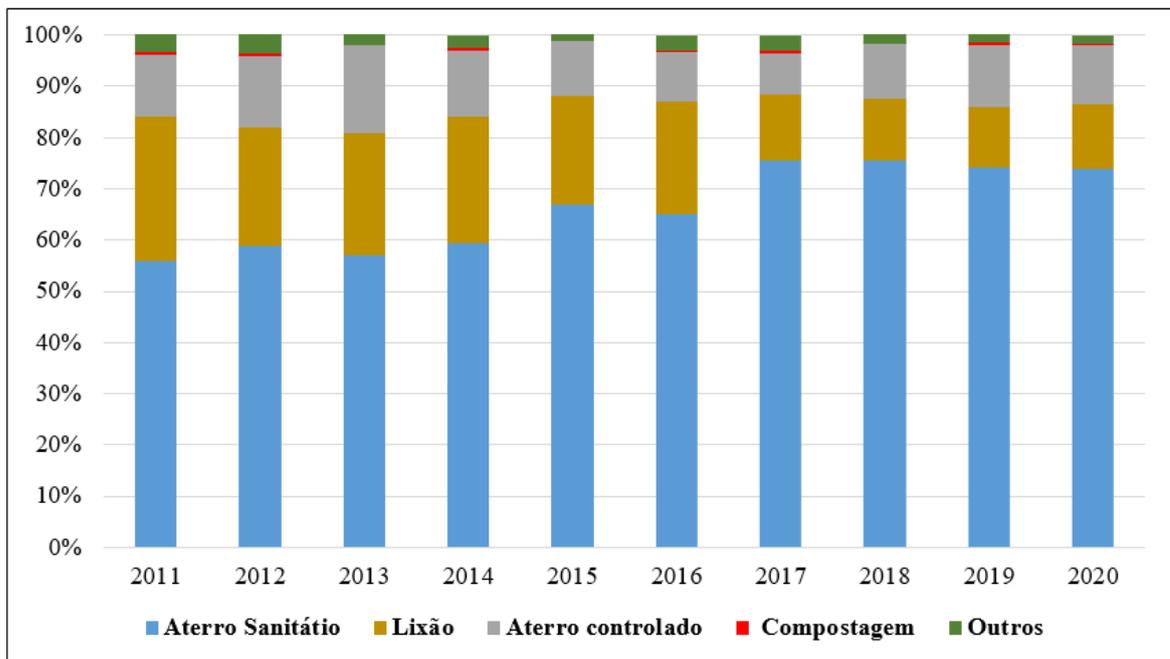
Apesar de a composição dos resíduos sólidos urbanos ser muito heterogênea no Brasil, a análise gravimétrica mais recente revela que a fração orgânica (resíduos alimentares e resíduos verdes) representa 45,3% dos RSU, correspondendo a 30,2 milhões de toneladas de resíduos orgânicos coletados em 2020 (BRASIL, 2021; BRASIL, 2022c).

Em nível regional, a maior massa coletada foi registrada na região Sudeste, representando 13,1 milhões de toneladas da massa total coletada, seguida pela região Nordeste, com 8,6 milhões de toneladas. As regiões Centro-Oeste e Norte tiveram a menor participação, cerca de 2,4 milhões de toneladas para cada Estado (BRASIL, 2021). Uma das principais causas de geração de resíduos orgânicos é o desperdício de alimentos e, segundo Porpino *et al.* (2018), o Brasil encontra-se entre os países que mais desperdiçam no mundo, com as famílias brasileiras desperdiçando, em média, 353 g/dia ou 128,8 kg/ano. Em uma análise per capita, os resíduos são 114 g/dia, representando um desperdício anual de 41,6 kg/habitantes. Isto confirma que os domicílios têm uma influência dominante na produção de resíduos orgânicos no Brasil.

3.3.2 Gestão

O descarte descontrolado de resíduos no solo ainda é uma prática comum no Brasil, embora existam regulamentações e programas para o descarte de resíduos sólidos urbanos em condições controladas. Uma das principais razões para esta prática é a taxa média de cobertura de coleta dos RSU de 90,5% em 2020. A taxa de cobertura é ainda mais baixa para algumas regiões: a região Norte tem uma cobertura de 80,7%, enquanto a região Sudeste, a mais rica, tem uma cobertura de 96,1%. Assim, estima-se que 20,8 milhões de brasileiros não tenham acesso aos serviços de coleta no país. Destes, 2,5 milhões vivem em áreas urbanas e 18,3 milhões em áreas rurais (BRASIL, 2021). Desde 2011, aproximadamente 60% dos RSU são depositados em aterros sanitários, ao passo que o restante é encaminhado para lixões e aterros controlados. Pela Figura 7, percebe-se que entre os anos de 2011 e 2020, a quantidade descartada em aterros sanitários passou de 56% para 74%. Em relação aos lixões, a disposição inadequada reduziu de 28% para 12,6%. No mesmo período, a compostagem esteve presente para os resíduos orgânicos, porém com números irrisórios se comparados com a União Europeia.

Figura 7: Tratamento e destinação final dos RSU no Brasil entre 2011 e 2020.



Fonte: Brasil (2022c).

Do total de resíduos urbanos coletados por serviços em 2020, cerca de 30,2 milhões de toneladas correspondem a resíduos biodegradáveis (BRASIL, 2021; BRASIL, 2022c). Entretanto, devido à falta de políticas públicas que incentivem a separação na fonte e devido à baixa prática, ela é misturada e "descartada" juntamente com os demais tipos de resíduos. Em 2020, a quantidade de RSU depositada em aterros foi estimada em 65,3 milhões de toneladas, dos quais 48,2 milhões de toneladas foram armazenados nos 652 aterros sanitários existentes no território nacional e 17,2 milhões de toneladas, nos 2.162 aterros não controlados e lixões (BRASIL, 2021). Nessas condições, os resíduos não podem ser recuperados em condições corretas, em termos econômicos, ambientais e de saúde.

Em relação à valorização dos orgânicos, em 2020, apenas 0,27 milhões de toneladas de resíduos orgânicos foram enviadas para 74 usinas de compostagem, o que corresponde a menos de 1% dos resíduos orgânicos coletados no país (BRASIL, 2021). Além disso, foi realizado um levantamento em 2015 e estimou-se que existiam 8 estações de tratamento dedicadas especificamente à recuperação de resíduos biológicos pela digestão anaeróbica e 17 aterros para fins energéticos, demonstrando que a metanização está presente no Brasil, porém lenta se comparar com os países desenvolvidos (MARIANI, 2015).

3.4 ASPECTOS LEGAIS E NORMATIVOS DE RESÍDUOS SÓLIDOS ORGÂNICOS

3.4.1 Aspectos normativos na União Europeia (UE)

Os resíduos urbanos biodegradáveis gerados pelos países membros da UE são habitualmente chamados de bioresíduos. De acordo com a Diretiva (UE) 2018/851 do Parlamento Europeu, os bioresíduos são definidos como resíduos verdes, resíduos alimentares de residências ou de qualquer atividade econômica. Produtos agrícolas, esterco, lodo de esgoto e outros resíduos biodegradáveis, como têxteis naturais, papel ou madeira processada não entram nessa categoria. A mesma Diretiva obriga a separação e reciclagem dos resíduos biodegradáveis na fonte ou a coleta seletiva a partir de 2023, de modo que não sejam misturados com os demais resíduos. No mais, esse tipo de resíduo só poderá ser contabilizado como reciclado se for tratado pelas tecnologias aeróbicas ou anaeróbicas (UE, 2018a; ADEME, 2013). Considerando que são definidas importantes restrições pela Diretiva (UE) 2018/850, os Estados-Membros deverão tomar medidas adequadas, a partir de 2030, para restringir o depósito dos bioresíduos em aterros sanitários.

O tratamento e a valorização dos bioresíduos devem ser promovidos pelos governos locais e os resíduos adequados para reciclagem, valorizados em forma de energia ou material. A compostagem, incluindo a compostagem doméstica, e a digestão anaeróbica são soluções para garantir a máxima valorização e reduzir os possíveis impactos causados pelo depósito em aterros sanitários, além de obter um produto final que cumpra os elevados padrões de qualidade aplicáveis (UE, 2018a; UE, 2018b). De acordo com a ADEME (2013), os bioresíduos são considerados resíduos orgânicos, mas nem todos os resíduos orgânicos são necessariamente classificados como bioresíduos. Com isso, o Quadro 3 indica quais resíduos se enquadram na categoria de bioresíduos, a fim de saber quais devem ser triados e valorizados dentro dos países da UE. No Regulamento Sanitário Europeu (UE) nº 1069/2009, os Subprodutos Animais (SPAn) são definidos como corpos inteiros ou partes de animais, produtos animais ou outros produtos obtidos de animais, que não devem ser consumidos por seres humanos.

Quadro 3: Lista de resíduos considerados como bioresíduos pela obrigação de valorização.

| Origem | Bioresíduos considerados | Bioresíduos não considerados |
|----------------------------------|---|--|
| Resíduos de parques e de jardins | Restos de gramíneas, podas de arbustos, folhas mortas, mudas de vegetação | Grandes troncos e resíduos de poda para recuperação de energia |
| Resíduos alimentares | Todos os resíduos vegetais (restos de frutas, cascas de legumes, etc.) | - |
| Resíduos de cozinha | SPAn de categoria 3 (C3) | SPAn de categoria 1 e 2 (C1 e C2) |
| Resíduos líquidos | Óleos alimentares | Molhos e bebidas |

Fonte: ADEME (2013).

Os SPAn de categoria 3 (C3) podem ser derivados de uma ampla variedade de produtos e estão entre os menos prejudiciais à saúde humana (UE, 2009). A ADEME (2013) considera os SPAn C3 como:

- Cascas de ovos;
- Todos os produtos de padaria e confeitaria que contenham manteiga, leite ou ovos;
- Laticínios;
- Carnes;
- Todas as preparações culinárias, frescas ou enlatadas, à base de ovos, manteiga, leite;
- Produtos derivados do mar;
- Gordura animal;
- Mel.

Embora os SPAn C3 pertençam à categoria de bioresíduos, cabe aos países membros da UE decidirem se esses tipos de resíduos podem ser valorizados. Os produtos animais podem ser compostados se não excederem 200 kg/semana para resíduos de cozinha, sendo duplicado se o composto não for comercializado. Portanto, a compostagem doméstica e a compostagem de pequenas regiões não são afetadas pelas exigências do Regulamento (UE) nº 1069/2009 quando o composto não é colocado no mercado (ADEME, 2012b). Para estabelecer ações unificadas, foram desenvolvidas legislações comuns entre os Estados-Membros da UE. Alguns se aplicam a todos os países, outros apenas em alguns.

Os Regulamentos são atos legais obrigatórios que se aplicam integralmente na UE e devem ser obedecidos na sua totalidade por todos os países. As Diretivas fixam objetivos gerais que todos os países devem atingir, porém cada um é livre para propor medidas e criar suas próprias leis. Em países europeus como a França, as instalações agrícolas ou industriais que apresentam um perigo para os seres humanos e ao meio ambiente, seguem um conjunto de normas para sua operação. Estas instalações, chamadas de Instalação Classificada para a Proteção do Meio Ambiente (ICPE), por definição do Código Ambiental francês, devem solicitar uma licença ambiental, de acordo com a natureza de suas atividades ou das substâncias produzidas.

Conforme a gravidade dos riscos ou dos possíveis distúrbios, as instalações estão sujeitas ao regime de declaração (riscos ambientais baixos), regime de registro (risco ambiental médio) e regime de autorização (riscos elevados) (FRANÇA, 2022). Uma ICPE pode ser classificada por diferentes normas, que fornecem uma descrição das regras de funcionamento, de acordo com os riscos ambientais. As instalações de tratamento de resíduos orgânicos seguem as normas da ICPE. Para a compostagem de resíduos não perigosos ou materiais vegetais, a Norma nº 2780 define os limites de operação, características de implantação da usina e quantidade tratada. O Quadro 4 simplifica estas informações, embora as características de implantação sejam independentes da quantidade processada (FRANÇA, 2009a).

Quadro 4: Características das instalações de acordo com a Norma nº 2780.

| Quantidade tratada (ton/dia) | Regime | Características técnicas de implantação |
|-------------------------------------|-----------------------------|--|
| 3 - 30 | Declaração (risco baixo) | Distância mínima de 200 m de habitações se a instalação é aberta, distância mínima de 35 m de qualquer corpo d'água destinada ao abastecimento de água, distância mínima de 200 m de áreas de banho públicas e praias, distância mínima de 500 m de pisciculturas. |
| 30 - 75 | Registro (risco médio) | |
| > 75 | Autorização (risco alto) | |

Fonte: França (2009a).

Para a instalação de metanização de resíduos não perigosos ou matérias-primas vegetais, existe a Norma nº 2781. O Quadro 5 mostra algumas características relacionadas à implantação (FRANÇA, 2009b).

Quadro 5: Características das instalações de acordo com a Norma nº 2781.

| Quantidade tratada (ton/dia) | Regime | Características técnicas de implantação |
|------------------------------|--------------------------|--|
| < 30 | Declaração (risco baixo) | Distância mínima de 100 m de habitações, distância mínima de 35 m de qualquer corpo d'água destinada ao abastecimento de água. |
| 30 - 100 | Registro (risco médio) | Distância mínima de 200 m de habitações, distância mínima de 35 m de qualquer corpo d'água destinada ao abastecimento de água. |
| > 100 | Autorização (risco alto) | |

Fonte: França (2009b).

3.4.2 Normatização brasileira

No Brasil não existe a diferenciação entre bioresíduos e resíduos sólidos orgânicos, apenas a definição de resíduos sólidos orgânicos. De acordo com a Resolução CONAMA nº 481/2017, os resíduos orgânicos são a fração orgânica dos resíduos sólidos de origem urbana, industrial ou agrosilvopastoril que podem ser compostados. Os critérios são estabelecidos na mesma resolução para controlar efetivamente a qualidade do processo de compostagem. Os resíduos orgânicos originários dos RSU e que são destinados ao processo de compostagem devem, portanto, de preferência, vir da segregação entre resíduos recicláveis, orgânicos e rejeitos (BRASIL, 2017). Por sua vez, pela ABNT NBR 10.004/2004, os resíduos podem ser classificados quanto aos possíveis riscos à saúde pública e ao meio ambiente. A norma estabelece Classe I como sendo aqueles que possuem características perigosas (toxicidade, inflamabilidade, patogenicidade, corrosividade ou reatividade) e Classe II, não perigosos.

Essa última, é dividida em duas categorias: Classe II A - Não Inertes e Classe II B - Inertes. Assim, os resíduos orgânicos, por terem propriedades de solubilidade em água, combustibilidade ou biodegradabilidade, são classificados como Classe II A - Não Inertes. A principal legislação sobre resíduos no Brasil, Lei Federal nº 12.305/2010, institui a Política Nacional dos Resíduos Sólidos. A lei mencionada dispõe sobre as diretrizes relativas à gestão integrada e ao gerenciamento de resíduos sólidos, incluídos os perigosos, às responsabilidades dos geradores e do poder público e aos instrumentos econômicos aplicáveis. A gestão de resíduos urbanos deve incluir coleta, transferência, transporte, segregação,

tratamento, que pode ser compostagem, e disposição final. Além disso, com relação à coleta, o Decreto nº 10.936/2022 afirma que os geradores deverão segregar e acondicionar adequadamente os resíduos, na forma acordada pelo titular do serviço de manejo dos resíduos sólidos. A coleta seletiva deve ser estabelecida, no mínimo, entre resíduos secos e resíduos orgânicos, de forma separada dos rejeitos. É estabelecido que os resíduos secos são resíduos domésticos não biodegradáveis, enquanto os resíduos orgânicos são essencialmente restos de alimentos e resíduos de jardim (BRASIL, 2022b; BRASIL, 2022a).

A compostagem e o aproveitamento energético são técnicas presentes, que devem ser priorizadas, a fim de padronizar o tratamento e a valorização dos resíduos orgânicos. Os padrões operacionais específicos devem ser atendidos para cada classificação específica de resíduos, evitando riscos à saúde pública e minimizando os impactos ambientais negativos. Ressalta-se que a disposição final ambientalmente adequada, nos termos da PNRS, cabe apenas aos rejeitos, resíduos que não apresentam mais possibilidade de recuperação. Logo, por meio de tecnologias de tratamento anaeróbicas e aeróbicas, os resíduos orgânicos devem ser recuperados e desviados dos aterros sanitários (BRASIL, 2010).

O tratamento e a valorização dos resíduos orgânicos são necessários, visto que podem ocasionar graves problemas à saúde pública e ao meio ambiente. Para isso, metas foram estabelecidas pelo Plano Nacional de Resíduos Sólidos (PLANARES). Até 2040, a recuperação da fração orgânica deverá ser de cerca de 13,5% da massa total de resíduos sólidos urbanos gerados, contribuindo para a redução dos custos relacionados ao transporte a disposição final, além de diminuir a emissão de GEE dos aterros sanitários. Os municípios brasileiros deverão possuir alguma iniciativa para valorizar os resíduos orgânicos, seja pela coleta seletiva, compostagem ou digestão anaeróbica até 2040 (BRASIL, 2022a).

3.4.2.1 Legislação de Florianópolis, SC

A prática de valorização dos resíduos orgânicos no município de Florianópolis tem sido difundida há quase 30 anos. Por meio de iniciativas públicas, associações e empresas foram criadas, no intuito de promover a reciclagem orgânica pelo processo de compostagem (FLORIANÓPOLIS, 2016a). O Projeto Revolução dos Baldinhos, criado em 2008, foi um dos pioneiros em gestão comunitária de resíduos orgânicos e agricultura urbana em Florianópolis. A prática de compostagem descentraliza em áreas comunitárias incentiva e facilita o cultivo de alimentos pelas famílias nos espaços domésticos ou públicos (ABREU, 2013). Em consonância

à Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei Federal nº 12.305/2010) e dentro de obrigações e metas definidas, Florianópolis, por meio do Decreto nº 17.910/2017, estabeleceu o Plano Municipal de Gestão Integrada dos Resíduos Sólidos Urbanos. Para os próximos 10 anos, o manejo dos resíduos sólidos urbanos do Município deverá se adequar através de planejamentos específicos, visando aumentar os índices de reciclagem e compostagem.

Segundo o PMGIRS, deve-se incentivar a segregação na fonte dos orgânicos, motivar o abandono da utilização de sacolas de plástico e estimular investimentos para a implantação de biodigestores (FLORIANÓPOLIS, 2017). Em 2018, por meio do Decreto nº 18.646, a capital catarinense instituiu o Programa Florianópolis Capital Lixo Zero, incentivando a sociedade civil, iniciativa privada e o poder público a não produção ou redução da geração e a valorização dos RSU (FLORIANÓPOLIS, 2018). Além disso, pela Lei municipal nº 10.501/2019, existe a obrigatoriedade da destinação ambientalmente adequada de resíduos sólidos orgânicos de forma gradativa, por meio de processos de valorização, visto que até 5 de junho de 2030, 100% dos resíduos orgânicos devem ser obrigatoriamente destinados à compostagem em Florianópolis (FLORIANÓPOLIS, 2019).

3.4.2.2 Legislação de João Pessoa, Pb

Diante do objetivo de apoiar a transição agroecológica, João Pessoa criou em 2005 o Programa Cinturão Verde para beneficiar atividades ecologicamente sustentáveis, incentivando a agricultura familiar e mudando o perfil da economia agrícola do Município.

Os agricultores familiares de comunidades rurais, ao desejarem utilizar composto orgânico em suas propriedades, podem obter linhas de crédito, a fim de comercializar os alimentos junto aos principais centros urbanos da cidade. Em 2014, por meio da Lei Ordinária nº 12.957/2014, João Pessoa deferiu o Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos. O referido plano, por meio de metas e programas, visa promover a diminuição da quantidade aterrada de resíduos úmidos e estimular a implantação de tecnologias de tratamento de resíduos orgânicos, sendo a compostagem como a principal prioridade, seguida de biodigestão. O composto produzido deve ser utilizado em espaços verdes, praças, jardins públicos e em projetos educativos, com a finalidade de conscientizar a população. No mais, é papel do Município incentivar e promover a segregação entres os resíduos secos e úmidos (JOÃO PESSOA, 2014a; JOÃO PESSOA, 2014b). Pelo Decreto nº 8886/2016, a Prefeitura de João Pessoa dispõe sobre a Política Municipal de Resíduos Sólidos. Este Decreto estabeleceu

os princípios, procedimentos e critérios referentes à geração, acondicionamento, armazenamento, coleta, transporte e destinação final dos resíduos sólidos gerados no município. Referente aos resíduos orgânicos, o Decreto garante que devem ser segregados diretamente na fonte geradora, dos demais resíduos recicláveis e rejeitos, de maneira a permitir a compostagem (JOÃO PESSOA, 2016).

4 METODOLOGIA

4.1 ETAPAS DA PESQUISA

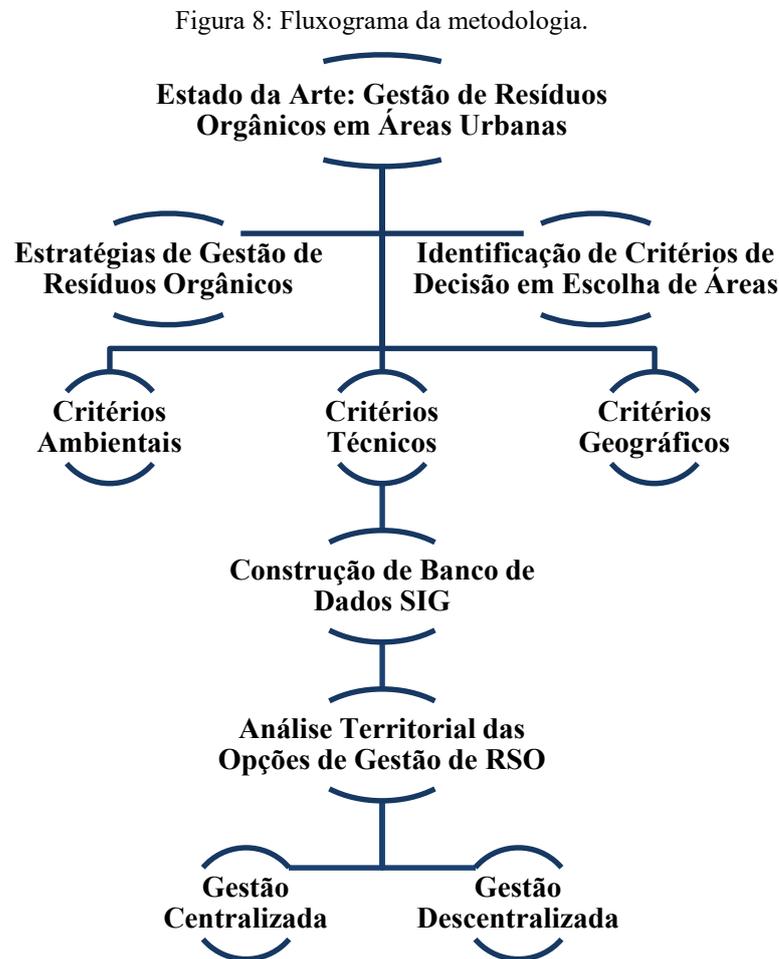
A fim de conduzir este estudo, foi realizado uma leitura completa na literatura, legislações e documentos das agências ambientais europeias e brasileiras para entender como os resíduos orgânicos são administrados em diferentes regiões. Este passo preliminar foi necessário para identificar as principais estratégias aplicadas para a gestão centralizada e descentralizada durante a coleta, tratamento e valorização dos resíduos biodegradáveis em áreas urbanas. Além disso, foram identificados as legislações e os países que regulamentam especificamente este tipo de resíduo.

Esta revisão mostrou que muitos critérios são utilizados para alcançar uma gestão mais eficaz, através da mais ampla participação popular. A escolha destes diferentes critérios foi determinante para a construção de um banco de dados sobre o território estudado, considerando que estas informações serão utilizadas para a elaboração de decisões nas etapas seguintes do trabalho. Foram selecionados critérios ambientais, geográficos e técnicos. A análise territorial foi realizada com a perspectiva de compreender os principais fatores limitantes sobre as áreas. Com base em todas essas informações, as gestões centralizadas e descentralizadas são comumente propostas para o gerenciamento específico de resíduos orgânicos em zonas urbanas.

No presente estudo foram escolhidas duas cidades brasileiras para a aplicação dos critérios e restrições selecionados: Florianópolis, capital do Estado de Santa Catarina e João Pessoa, capital do Estado da Paraíba. A primeira cidade busca, pelo Programa Florianópolis Capital Lixo Zero, recuperar mais de 90% dos resíduos orgânicos até o ano de 2030, enquanto a capital paraibana visa atender a transição agroecológica, por meio de atividades ecologicamente sustentáveis, que não usem agrotóxicos.

Evidencia-se que a implantação de uma gestão e manejo exclusivo de resíduos orgânicos deve ser aplicada nessas duas cidades, no sentido de alcançar as metas estabelecidas,

valorizar os resíduos orgânicos e, conseqüentemente, diminuir o seu envio a aterros sanitários. A Figura 8 ilustra o fluxograma da metodologia desta pesquisa.



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

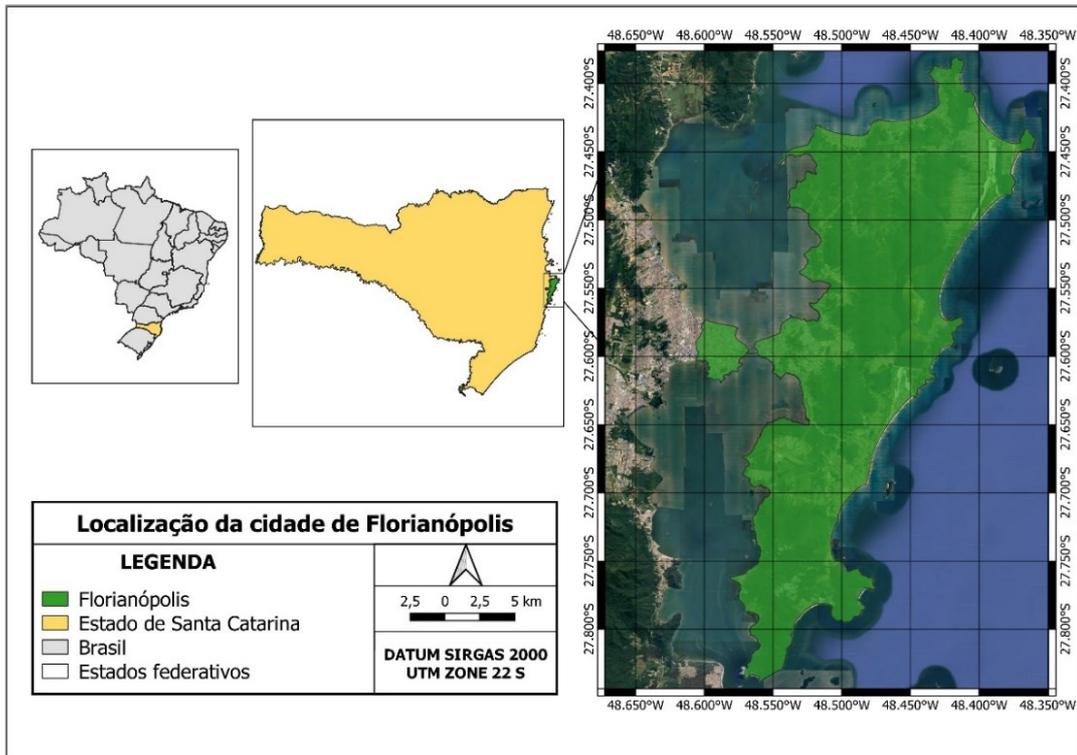
4.2 CARACTERIZAÇÃO DAS ÁREAS DE ESTUDO

4.2.1 Florianópolis, SC

O município de Florianópolis (Figura 9) é a capital do Estado de Santa Catarina e está situado na região Sul do Brasil. Possui como limite o Oceano Atlântico e o município de São José. De acordo com o IBGE (2022), a área territorial é de 674,84 km², sendo uma parte na ilha (97,2%) e outra na parte continental (2,8%). A capital catarinense contava com uma população de 421.240 habitantes em 2010, e para 2021 foi estimado 516.524 habitantes. (FLORIANÓPOLIS, 2016a).

Quanto a divisão territorial, o município de Florianópolis pode ser dividido em 12 distritos, os quais desmembram a cidade em grandes áreas, conforme as características semelhantes. A população é predominante urbana, visto que no último censo, em 2010, a população rural do município era de 15.954 habitantes, enquanto a população urbana representava 405.286 habitantes.

Figura 9: Localização da cidade de Florianópolis.



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Os serviços de coleta, transporte e tratamento de resíduos sólidos urbanos, além da limpeza dos logradouros e vias públicas são operados diretamente pela empresa Companhia de Melhoramentos da Capital (COMCAP). Florianópolis possui dois tipos de coleta: coleta convencional e coleta seletiva, a primeira recolhe os resíduos sem segregação na fonte, ou seja, os resíduos orgânicos estão misturados com os outros tipos de resíduos, enquanto a coleta seletiva recolhe os resíduos recicláveis secos (papéis, plásticos, vidros e metais) separados na origem. Atualmente os dois tipos de coleta atendem a maioria dos moradores, porém, em regiões de difícil acesso, existem contentores públicos para utilização coletiva.

Todos os resíduos coletados pela coleta convencional são encaminhados ao aterro sanitário no município de Biguaçu, de propriedade privada, contratada pela prefeitura municipal

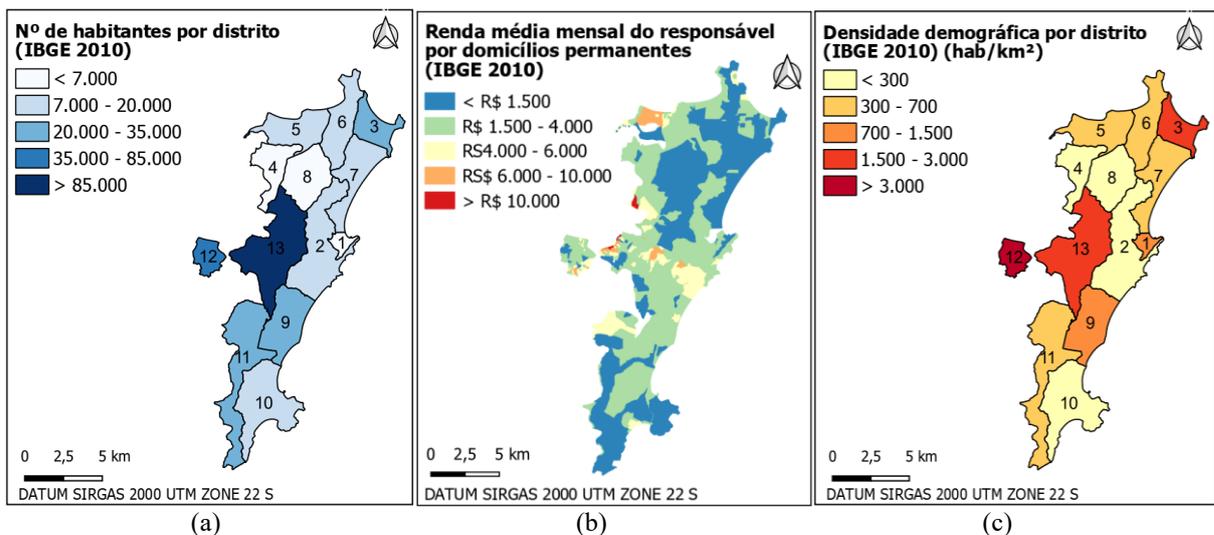
de Florianópolis (FLORIANÓPOLIS, 2016a). A maioria dos resíduos orgânicos é enviada para o aterro sanitário por meio de coleta convencional, porém, em alguns bairros da capital, a coleta seletiva de orgânicos está sendo implantada de forma piloto, com o objetivo de direcionar os restos de alimentos e resíduos verdes para pátios de compostagem.

De acordo com o estudo gravimétrico realizado para o PMCS de Florianópolis, os resíduos orgânicos representam 35% dos RSU coletados, sendo 24% resíduos alimentares e 11% resíduos verdes (FLORIANÓPOLIS, 2016a). Em 2021, o total de RSU coletado foi 223.850 toneladas, o qual pode-se inferir que 53.724 toneladas são resíduos alimentares e 24.623 toneladas são resíduos verdes (FLORIANÓPOLIS, 2022).

4.2.1.1 Características pela base de dados SIG

As últimas informações oficiais sobre a população de Florianópolis por distrito são de 2010 e provêm do censo do IBGE. A Figura 10 (a) identifica o município de Florianópolis em 13 distritos, visto que a parte insular (nº 13) é separada da região continental (nº 12). A região insular tem a maior população, 164.797 habitantes, seguida pela região continental, 84.680 habitantes. O distrito menos povoado é o de Ratoles (nº 8), com uma população total de 3.671 habitantes. Nota-se, também, que existem três distritos (Ribeirão da Ilha (nº 11), Ingleses do Rio Vermelho (nº 3) e Campeche (nº 9)) com população entre 20.000 e 35.000 habitantes.

Figura 10: Características socioeconômicas dos distritos de Florianópolis. (a) N° de habitantes por distrito; (b) Renda média mensal do responsável por domicílios permanentes; (c) Densidade demográfica por distrito.

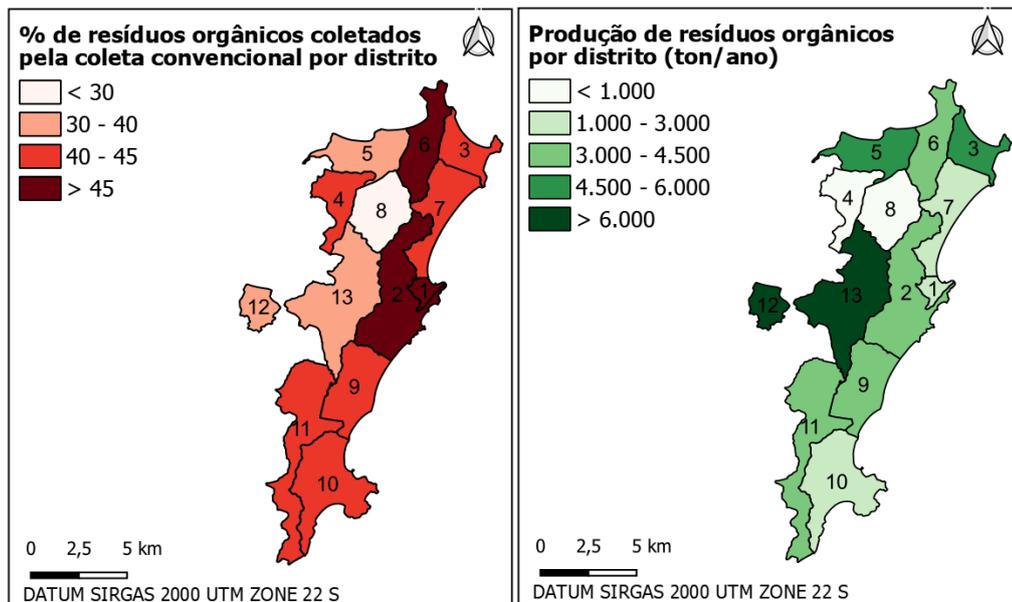


Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Em relação a Figura 10 (b), observa-se que a distribuição de renda é muito heterogênea entre as regiões de Florianópolis. A região Central e o distrito de Santo Antônio de Lisboa concentram a maior renda média do município, com valores superiores a R\$ 10.000 por mês. Os distritos do Pântano do Sul e Ribeirão da Ilha, localizadas na região sul, e parte do distrito de Ratonos, na região norte, possuem uma renda inferior a R\$ 1.500 por mês. A Figura 10 (c), representa a densidade demográfica por distrito. Por meio das informações geradas, o distrito Continental (nº 12) é o mais denso da cidade, com 7.063 hab/km². O distrito Ingleses do Rio Vermelho (nº 3) e o distrito Insular (nº 13) apresentam densidade de 1.532 hab/km² e 2.623 hab/km², respectivamente.

A dinâmica espacial dos resíduos orgânicos em Florianópolis é apresentada na Figura 11 (a) e (b). Observam-se informações sobre a porcentagem de resíduos orgânicos e a geração de material passível a compostagem por distrito. Em Florianópolis (2016b), foi possível reunir informações sobre os resíduos orgânicos por distrito e transformá-los em dados informáticos (Figura 11 (a)). Na figura, nota-se que os distritos de Cachoeira do Bom Jesus (nº 6), Lagoa da Conceição (nº 2) e Barra da Lagoa (nº 1) apresentam mais de 45% de resíduos orgânicos presentes na coleta convencional. Além disso, a região de Ratonos (nº 8) é a única que gera menos de 30% de resíduos biodegradáveis.

Figura 11: Resíduos orgânicos no território de Florianópolis. (a) % de resíduos orgânicos coletados pela coleta convencional por distrito; (b) Produção de resíduos orgânicos por distrito.



(a)

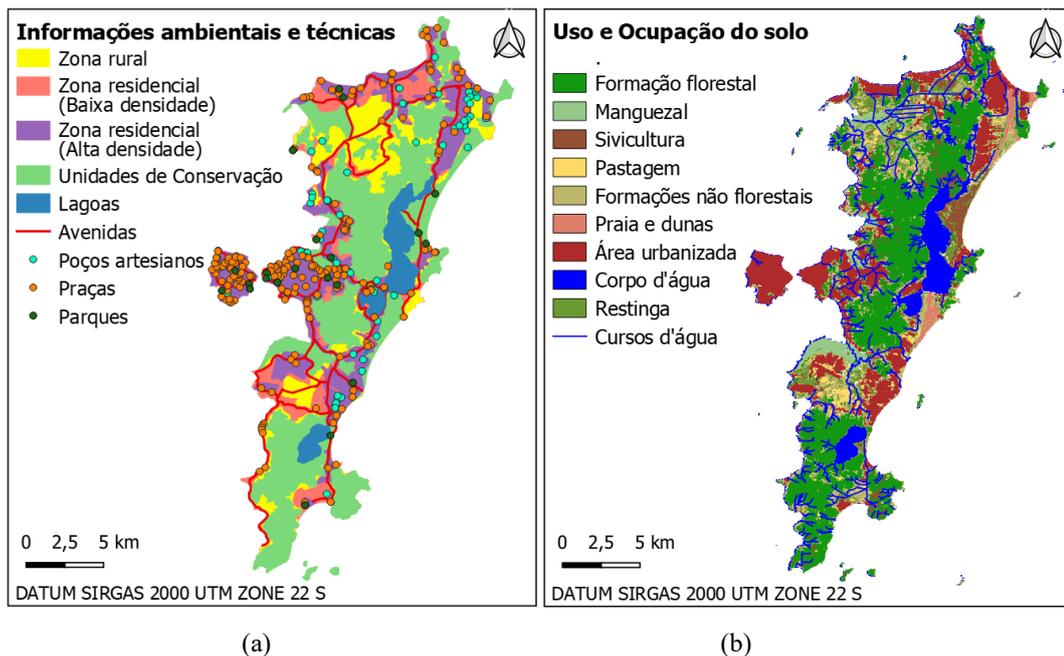
(b)

Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

No Figura 11 (b), os dados coletados são de Florianópolis (2016a), referentes a projeção da geração de resíduos domiciliares para os 20 anos de planejamento por distrito, com base no crescimento mediano entre os anos de 2010 e 2014. No presente trabalho, apenas os dados de 2014 foram utilizados. Os distritos centrais aparecem como os maiores geradores de resíduos, visto que são as regiões mais populosas. Na região Continental (nº 12), projetou-se 9.574 toneladas geradas, enquanto na parte Insular (nº 13), 17.818 toneladas.

Apesar das informações coletadas serem de 2010 e 2014, elas são importantes para conhecer o perfil social da cidade de Florianópolis, uma vez que a possibilidade de estabelecer uma gestão de resíduos orgânicos pode ser influenciada pelas especificidades da cidade. A Figura 12, a seguir, apresenta as características ambientais técnicas e geográficas de Florianópolis, além de identificar os principais parques urbanos e praças da cidade.

Figura 12: Características ambientais, técnicas e geográficas de Florianópolis. (a) Informações ambientais e técnicas; (b) Uso e ocupação do solo.



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

A Figura 12 mostra que Florianópolis apresenta características ambientais extremamente heterogêneas. Em toda a extensão da área de estudo, as formações florestais e manguezais representam 42% do território, sendo caracterizadas como unidades de conservação ou áreas de preservação permanente (APP). As áreas urbanas mais densas, que correspondem

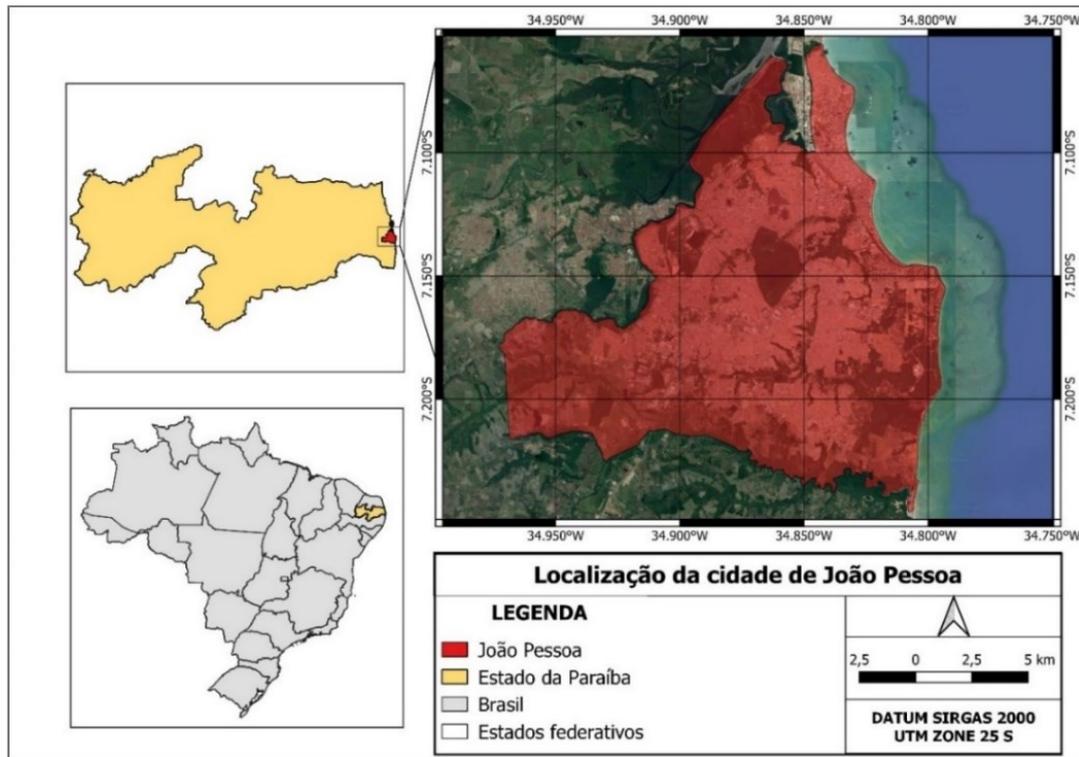
a 25% da área total, estão concentradas em regiões específicas do território, principalmente no distrito Insular, Continental, Ingleses do Rio Vermelho e Campeche. Além disso, foram identificados 67 poços artesianos nos 12 distritos da cidade, 21 parques urbanos e 201 praças. Para os objetivos do estudo, Florianópolis foi dividida em três zonas (Figura 12 (a)).

Note-se que as zonas rurais, que representam 16% do território, estão principalmente presentes nos distritos de Ratonés e Ribeirão da Ilha, uma vez que estão mais distantes dos centros urbanos mais densos. A zona residencial de baixa densidade está concentrada no extremo norte da capital catarinense, nos distritos de Canasvieiras e Cachoeira do Bom Jesus, e no sul, pelos distritos de Pântano do Sul e Ribeirão da Ilha. Essa região corresponde a 13% da área total de Florianópolis.

4.2.2 João Pessoa, Pb

A cidade de João Pessoa (Figura 13), capital do Estado da Paraíba, está localizada na região Nordeste do Brasil. É delimitada ao norte pelo município de Cabedelo pelo rio Jaguaribe e ao sul pelo município de Conde pelo rio Gramame, ao leste pelo oceano Atlântico e ao oeste pelos municípios de Bayeux e Santa Rita (JOÃO PESSOA, 2014a). De acordo com o IBGE (2022), João Pessoa contava com uma população de 723.515 habitantes em 2010, e para 2021 foi estimado 825.796 habitantes, em uma área total de 210,04 km² (JOÃO PESSOA, 2021a). Quanto à distribuição espacial da população, o município está dividido em 64 bairros, agrupados em quatro regiões: Norte, Oeste, Leste e Sul.

Figura 13: Localização da cidade de João Pessoa.



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

João Pessoa é altamente urbanizada, com uma população rural de apenas 2.730 habitantes (2010) e uma densidade populacional de 3.421,28 habitantes/km² (JOÃO PESSOA, 2021a). O gerenciamento de resíduos sólidos urbanos na cidade é fornecido pela empresa Autarquia Municipal Especial de Limpeza Urbana (EMLUR), que pertence ao município de João Pessoa. No município, não há coleta seletiva dos resíduos orgânicos, portanto, eles são coletados em conjunto com os outros tipos de resíduos (JOÃO PESSOA, 2014a).

Desta forma, todos os resíduos sólidos urbanos gerados na cidade são depositados no Aterro Sanitário Metropolitano de João Pessoa (ASMJP), que se encontra na cidade vizinha, Santa Rita. Quanto à coleta de resíduos verdes, que geralmente são gerados pela poda de árvores, eles são enviados ao viveiro municipal da cidade (JOÃO PESSOA, 2014a).

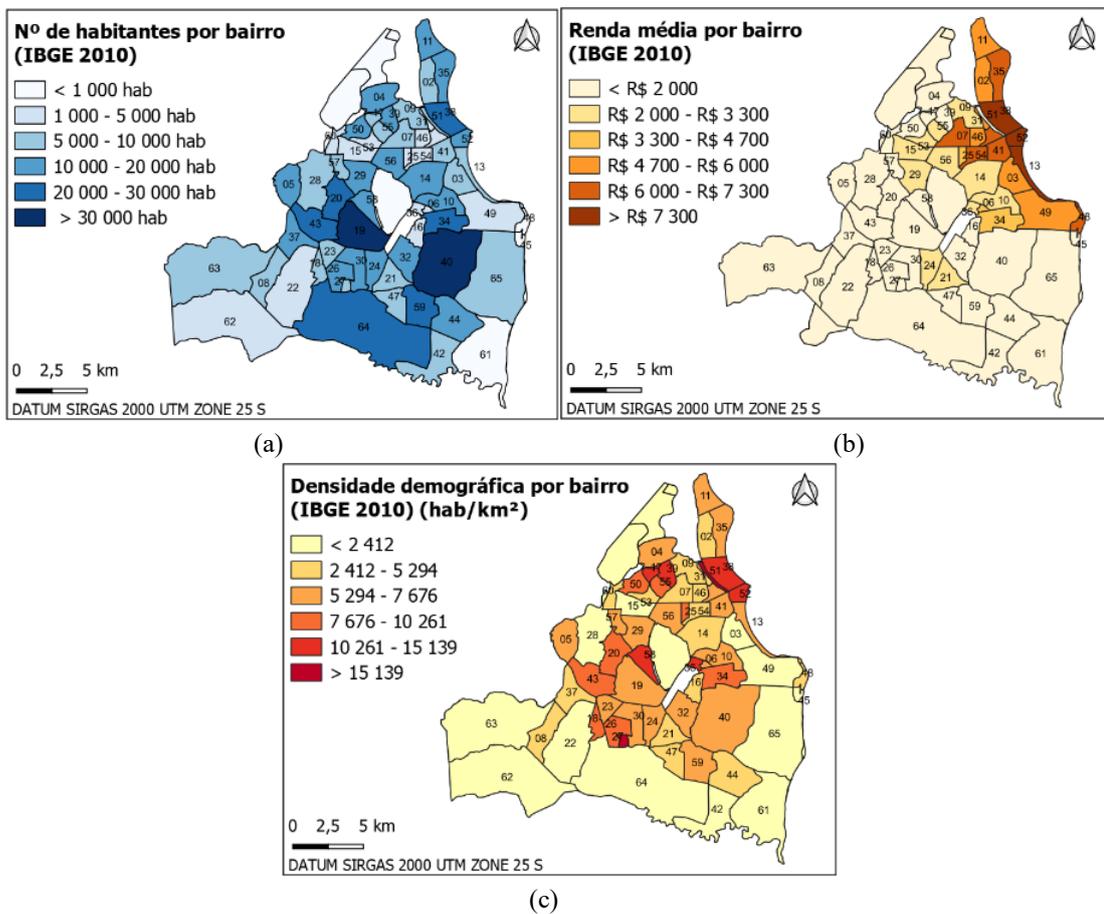
A produção de resíduos urbanos foi de 263.520 toneladas em 2013, considerando exclusivamente resíduos domésticos e serviços públicos de limpeza (JOÃO PESSOA, 2014a). Assim, a taxa de produção per capita é estimada em 0,94 kg/habitante/dia. Neste contexto, os resíduos orgânicos representam 49% da composição dos resíduos produzidos, dos quais 33% são resíduos alimentares e 16% são resíduos verdes (BAPTISTA e DE ARAUJO MORAIS, 2016). Com base nessas informações, pode-se afirmar que foram geradas 129.125 toneladas de

resíduos orgânicos, sendo 86.961 toneladas de resíduos alimentares e 42.163 toneladas de resíduos verdes.

4.2.2.1 Características pela base de dados SIG

A última publicação de informações oficiais sobre a população de João Pessoa foi em 2010, com 723.515 habitantes, de acordo com o IBGE. Dessa forma, os mapas feitos foram baseados nessas informações. A Figura 14 (a), mostra que apenas dois bairros apresentam mais de 30.000 habitantes, Cristo Redentor (nº 19) e Mangabeira (nº 40), com 37.358 e 76.000 habitantes, respectivamente. Por outro lado, três bairros possuem menos de 1.000 habitantes, Barra de Gramame (nº 61), Ponta dos Seixas (nº 48) e Penha (nº 45). Constata-se, também, que 32% dos bairros têm entre 5.000 e 10.000 habitantes, enquanto 28,5% têm entre 10.000 e 20.000 hab.

Figura 14: Características socioeconômicas do território de João Pessoa. (a) Nº de habitantes por bairro; (b) Renda média por bairro; (c) Densidade demográfica por bairro.

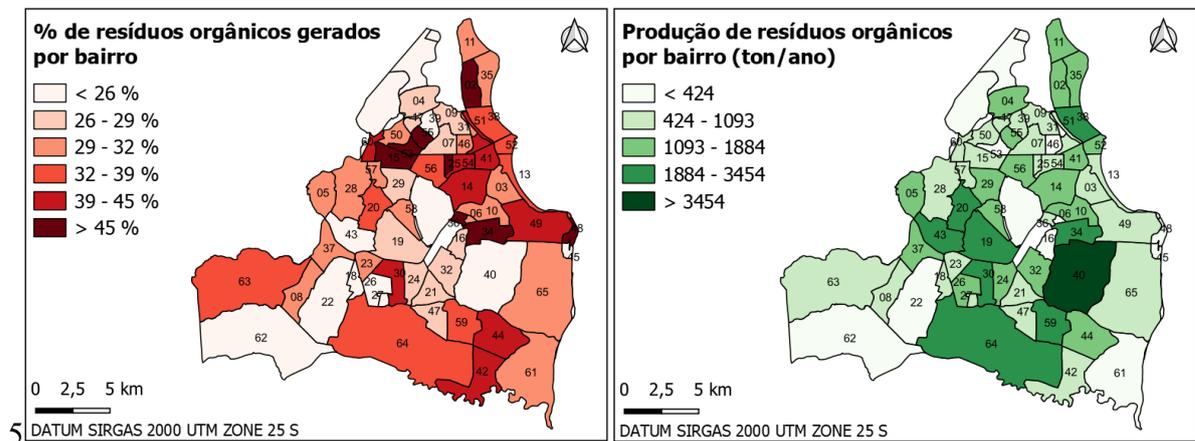


Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Na Figura 14 (b), pode-se observar que a distribuição de renda é muito heterogênea entre os bairros da cidade. Nota-se que os bairros com alto padrão de vida estão concentrados próximos ao mar, sendo os bairros de Manaíra (nº 38), Tambaú (nº 52) e Cabo Branco (nº 13), com renda média mensal de R\$ 7.620, R\$ 7.865 e R\$ 8.652, respectivamente. Por outro lado, pode-se ver que dos 64 bairros da cidade, 33 têm uma renda menor que R\$ 2.000/mês. A partir das informações dos Mapas a e b, pode-se concluir que apenas 6% da população vive com uma renda superior a R\$ 7.300 e que 63,7% da população vive com uma renda inferior a R\$ 2.000/mês. O terceiro Mapa da Figura 14, mostra que os dois bairros que se destacam são: São José (nº 51) e Grotão (nº 27), indicando que os dois apresentam mais de 15.139 hab/km². Além disso, junto com os Mapas a e b, observa-se que os mesmos bairros têm uma renda média inferior a R\$ 2.000/mês e uma população entre 5.000 e 10.000 habitantes.

Estas informações são importantes para compreender as características sociais e econômicas da cidade de estudo, pois a possibilidade de criação de um centro de tratamento e recuperação de resíduos orgânicos pode ser influenciada por essas características. A Figura 15 (a) e (b), caracterizam a cidade de João Pessoa em relação à geração de resíduos orgânicos.

Figura 15: Resíduos orgânicos no território de João Pessoa. (a) % de resíduos orgânicos gerados por bairro; (b) Produção de resíduos orgânicos por bairro.



(a)

(b)

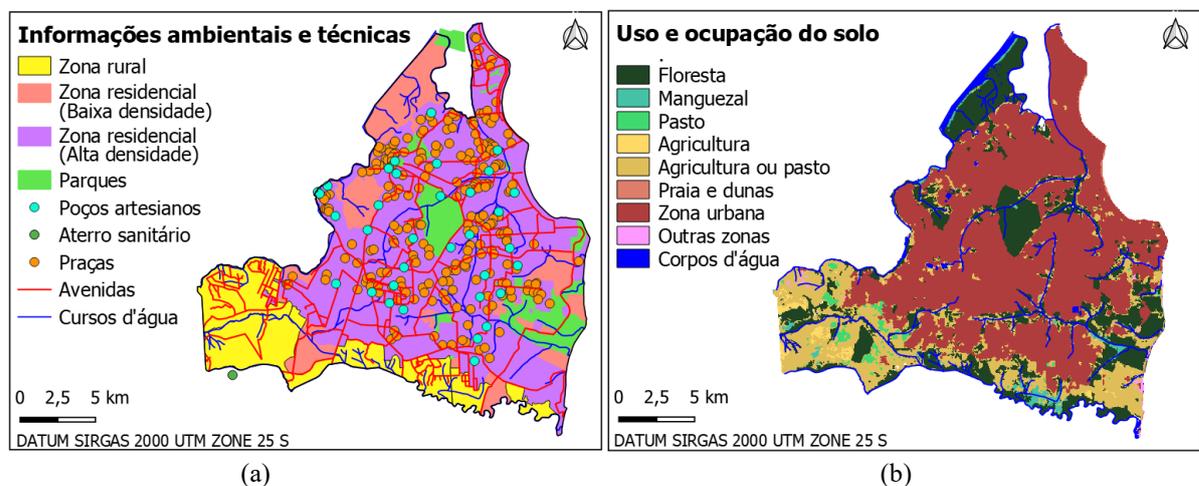
Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Para a geração de resíduos orgânicos em João Pessoa (Figura 15 (b)), as informações disponíveis são limitadas e dizem respeito ao número de habitantes, a quantidade total de resíduos gerados na cidade e a composição gravimétrica por bairro, realizada pelo estudo de

Baptista e De Araujo Morais (2016). A taxa de produção de resíduos de João Pessoa é em média 0,94 kg/habitante/dia e com esta taxa foi possível estimar a produção de resíduos orgânicos por bairro. No Mapa b, observa-se que os bairros com maior população geram maior quantidade de resíduos orgânicos, destacando-se o bairro Mangabeira (nº 40) com 6.856 toneladas por ano.

A Figura 16 mostra as características técnicas, ambientais e geográficas de João Pessoa. Pela Figura 16 (a) é possível distinguir a cidade em três áreas: área residencial de alta densidade, área residencial de baixa densidade e área rural.

Figura 16: Características ambientais, técnicas e geográficas de João Pessoa. (a) Informações ambientais e técnicas; (b) Uso e ocupação do solo.



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

As áreas de alta densidade representam 64,25% da área total de João Pessoa, enquanto as áreas de baixa densidade correspondem a 18,44% da cidade. A área rural é formada por 36.349 km², o que representa 17,31% da área total. No Mapa A da Figura 16, observa-se que existem 15 parques, cuja a superfície total corresponde a 7,23% do território de João Pessoa. Além disso, foram identificados 36 poços artesianos, em sua maioria na área residencial de alta densidade, e 238 praças. Na Figura 16, Mapa B, do total das áreas identificadas, 53,37% correspondem a áreas urbanizadas, 18,84% a áreas agrícolas ou de pastagem e 17,16% áreas florestais, que totalizam cerca de 90% do território de João Pessoa.

4.3 CONSTRUÇÃO DA BASE DE DADOS SIG

A base de dados foi utilizada principalmente para construir os dados espaciais dos territórios em estudo, com o objetivo de caracterizar a área e orientar as decisões para as etapas

relacionadas à gestão centralizada e descentralizada, pois quanto mais informações disponíveis sobre o território estudado, melhor será sua compreensão. De acordo com a definição de Gunjal (2003), um banco de dados é uma coleção de informações precisas e confiáveis que devem estar disponíveis para uma tomada de decisão rápida e eficaz. Para a criação do banco de dados SIG, o *software* QGIS versão 3.22 foi utilizado para o geoprocessamento e modelagem espacial das informações coletadas. As informações foram coletadas, processadas e transformadas em dados computacionais na tabela de atributos do *software* QGIS. Documentos como João Pessoa (2021) e o estudo de Baptista e De Araujo Moraes (2016), que realizou a composição gravimétrica por bairro, foram as principais fontes de informação socioeconômicas da cidade paraibana. Dados em formato raster, como o uso e ocupação do solo, distribuição urbana, áreas verdes e as áreas rurais, foram coletadas na base de dados do projeto MapaBiomias, coleção 6.

Para os dados vetoriais de infraestrutura da cidade (avenidas, rios, poços artesianos, áreas de alta e baixa densidade e espaços verdes) foram obtidos no Serviço Geológico do Brasil (CPRM), FilipeiaMapas (prefeitura de João Pessoa) e Cadastro Nacional de Unidades de Conservação do Brasil (CNUC). Para espaços públicos como praças, utilizou-se o João Pessoa (2021b) e Google Earth. Em Florianópolis, a própria prefeitura possui arquivos cartográficos vetoriais da base de dados espaciais no seu Geoportal. Nele é possível coletar dados sobre a hidrografia, rodovias e informações socioeconômicas do município. Além disso, ressalta-se que o banco de dados do projeto MapaBiomias (coleção 6) e Serviço Geológico do Brasil (CPRM) foram utilizados para obter informações sobre uso e ocupação do solo e poços artesianos, respectivamente. Para a localização dos espaços públicos no município, a prefeitura disponibiliza mapas interativos, possibilitando a identificação de forma simples e transparente.

4.4 ANÁLISE ESPACIAL DA GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS ORGÂNICOS

A gestão de resíduos compreende as etapas de coleta, tratamento e valorização. Neste estudo, a etapa de coleta não foi abordada devido à falta de informações sobre possíveis resíduos biodegradáveis mobilizáveis para o fluxo de gerenciamento, assim, a taxa de participação da população não está incluída na análise, devido à falta de experiência na área de estudo. O trabalho se concentra, portanto, nas etapas de tratamento e valorização dos resíduos orgânicos. A análise territorial tem como objetivo identificar áreas mais favoráveis para a instalação de um centro de tratamento e valorização de resíduos orgânicos. Instalações com um alto potencial de poluição, em geral, são indesejáveis para a população no entorno, embora sejam necessárias

(COLEBROOK e SICÍLIA, 2007). Para a identificação de áreas adequadas para um sistema centralizado de resíduos orgânicos, foram selecionados critérios técnicos ambientais e geográficos, a fim de não haver incômodos para a população nas proximidades e o mínimo impacto ambiental. Restrições para cada critério identificado foram definidas, visando a menor perturbação possível. No caso do sistema de gestão descentralizada de resíduos orgânicos, seja em unidades domésticas (compostagem doméstica) ou em espaços públicos (compostagem compartilhada), os dispositivos de tratamento são mais simples do que os da gestão centralizada. Para este estudo, somente os espaços públicos foram considerados como áreas potenciais para a implementação de instalações de compostagem descentralizada, dando prioridade a praças e parques urbanos. A Tabela 1 apresenta os critérios e restrições selecionados para a gestão centralizada deste trabalho.

Tabela 1: Critérios e restrições para a gestão centralizada de resíduos sólidos orgânicos em zona urbana.

| Etapa da gestão | Critérios | Restrições | Zona |
|-------------------------------------|---|--|--|
| Tratamento | Avenidas ^{1 e 4} | >700 m | Inadequada |
| | | 500-700 m | Menos apropriada |
| | | <500 m | Apropriada |
| | Cursos d'água ² | <50 m | Inadequada |
| | | 50-200 m | Menos apropriada |
| | | >200 m | Apropriada |
| | Área residencial (Alta Densidade) ³ | <50 m | Inadequada |
| | | 50-200 m | Menos apropriada |
| | | >200 m | Apropriada |
| | Área residencial (Baixa Densidade) ³ | <50 m | Inadequada |
| 50-100 m | | Menos apropriada | |
| >100 m | | Apropriada | |
| Áreas verdes sensíveis ⁴ | <100 m | Inadequada | |
| | 100-500 m | Menos apropriada | |
| Poços artesianos ³ | >500 m | Apropriada | |
| | <35 m | Inadequada | |
| | 35-50 m | Menos apropriada | |
| Valorização | Áreas de valorização | >50 m | Apropriada |
| | | Outras áreas Áreas florestais Agricultura, pastos, silvicultura | Inadequada Menos apropriada Apropriada |

Fonte: 1) Instrução Normativa CPRH nº 8/2021; 2) Lei Federal nº 12.651/2012; 3) ICPE Norma 2780 e 2781/2009; 4) Chukwuma *et al.* (2021); 4) Yalcinkaya *et al.* (2021); 4) Humagain (2020); 4) Thiriet, Bioteau et Tremier (2020); 4) Babalola (2018).

4.4.1 Critérios e restrições analisados para a gestão centralizada

4.4.1.1 Tratamento

De acordo com a literatura, entre os critérios mais utilizados para a instalação de um sistema centralizado de tratamento de resíduos, destacam-se as principais avenidas da cidade, cursos d'água, áreas residenciais e espaços verdes (CHUKWUMA *et al.*, 2021; YALCINKAYA *et al.*, 2021; YEO *et al.*, 2021; HUMAGAIN, 2020; THIRIET, BIOTEAU e TREMIER, 2020; BABALOLA, 2018). Assim, o presente trabalho, selecionou estes quatro critérios, acompanhados da localização dos poços artesianos. Este último, foi considerado para evitar qualquer possível impacto associado às águas subterrâneas, em virtude da implementação de uma instalação de compostagem. As áreas residenciais foram divididas em dois grupos, alta densidade e baixa densidade, já que as restrições aplicáveis em uma área de baixa densidade podem ser mais moderadas em comparação com as áreas de alta densidade. A análise espacial do terreno pelo SIG permite identificar o local apropriado dentro de uma certa distância estabelecida ou características do terreno existente. A ferramenta buffer é um tipo de análise SIG para encontrar o que está próximo de uma determinada característica, baseada nas distâncias fixadas. Além disso, o buffer pode ser usado com outras camadas de dados para mostrar mais detalhes da área de estudo (CHUKWUMA *et al.*, 2021).

O primeiro critério estabelecido para o tratamento, que considera a existência de avenidas, têm-se que a instalação deve estar localizada preferencialmente à menos de 500 metros das avenidas principais, por medidas econômicas relacionadas ao transporte de materiais e a acessibilidade. Assim, foram feitos buffers de 500 e 700 metros e, também, buffers superiores a 700 metros. Dessa forma, considerou-se que distâncias inferiores a 500 metros correspondem a uma área adequada, entre 500 e 700 metros uma área menos adequada e mais de 700 metros uma área inadequada. Outro critério importante consiste na existência de cursos d'água. Por razões de segurança sanitária e em conformidade com a Lei Federal nº 12.651/2012, considerou-se que a estação de processamento deve estar localizada a uma distância superior a 200 metros dos rios. Logo, áreas com distâncias menores de 50 metros são consideradas zonas impróprias, entre 50 e 200 metros, menos adequadas e mais de 200 metros, zonas adequadas. Para os poços artesianos, se não forem protegidos, existe a possibilidade de poluição por atividades antrópicas. Seguindo as regras francesas do ICPE, pelas Normas nº 2070 e 2071, a instalação deve ser estar localizada a uma distância mínima de 50 metros de poços que servem para abastecimento.

As instalações podem causar incômodos como maus odores, ruídos e geração de insetos, portanto, para áreas residenciais de alta densidade foram selecionados os mesmos critérios que para os rios, ou seja, uma distância menor que 50 metros é considerada uma área inadequada, entre 50 e 200 metros áreas menos adequadas, e mais de 200 metros áreas adequadas. Para áreas residenciais de baixa densidade foram estabelecidos buffers de 50 metros, 100 metros e mais de 100 metros, como áreas inadequadas, menos adequadas e adequadas respectivamente. Por fim, de acordo com a literatura, o local de tratamento deve ser localizado a uma distância superior a 500 metros de zonas verdes sensíveis ou de unidades de conservação (CHUKWUMA *et al.*, 2021; YALCINKAYA *et al.*, 2021; YEO *et al.*, 2021; HUMAGAIN, 2020; THIRIET, BIOTEAU e TREMIER, 2020; BABALOLA, 2018). Dessa forma, distâncias de 100 metros, 500 metros e mais de 500 metros foram selecionadas como áreas impróprias, menos adequadas e adequadas, respectivamente. Uma vez processados todos os dados, a ferramenta de classificação do *software* QGIS foi usada para reclassificar os grupos de dados de 1 a 3, sendo 1 inadequado, 2 menos apropriado e 3 apropriado. No restante do estudo, as áreas armazenadas de cada critério foram convertidas de dados vetoriais para camadas raster e mescladas pela “*Calculadora Raster*” do QGIS. O resultado final é um mapa representando áreas apropriadas, menos apropriadas e inadequadas para uma possível instalação de tratamento de resíduos orgânicos.

4.4.1.2 Valorização

As cidades em estudo apresentam alta urbanização, porém há regiões rurais desenvolvendo atividades agrícolas em várias áreas da cidade. A valorização do produto final beneficia os produtores rurais e apoia atividades ambientalmente sustentáveis que não utilizam pesticidas. A fim de encontrar as áreas mais favoráveis para a valorização do produto final, foi necessário recorrer aos dados relativos ao uso e ocupação do solo, informações construídas através da criação do banco de dados SIG. A análise territorial foi realizada com o *software* QGIS, para caracterizar o território em três camadas: apropriadas, menos apropriadas e inadequadas. Para a fase de valorização dos resíduos orgânicos, e respeitando a lógica do município de valorizar estas atividades sustentáveis, o estudo considerou como áreas mais favoráveis aquelas que têm uma relação com a agricultura ou a pastagem.

As áreas florestais também foram consideradas no estudo, mas são menos adequadas, pois podem apresentar alguma sensibilidade ambiental. Além disso, elas têm funções ecológicas, paisagísticas e recreativas na cidade, e é importante que estejam ligados à

conservação da biodiversidade, através da recuperação dos resíduos biodegradáveis. As áreas inapropriadas foram definidas como sendo as áreas com alta densidade populacional ou áreas muito sensíveis como manguezais ou praias.

4.4.2 Critérios e restrições analisados para a gestão descentralizada

4.4.2.1 Tratamento

A técnica de gestão descentralizada visa favorecer espaços próximos à fonte de produção para o tratamento de resíduos orgânicos. Com este fim, os maiores números de lugares públicos nos 64 bairros de João Pessoa e nos 12 distritos de Florianópolis foram identificados a partir do documento João Pessoa (2021), *software* Google Earth e Florianópolis (2022). As praças e parques urbanos foram selecionados nesta etapa da gestão. A cidade de João Pessoa apresentou problemas relacionados a seleção dos parques, visto que o município possui áreas potenciais para a implementação de instalações de compostagem compartilhada, porém muitas dessas zonas existem apenas legalmente. Portanto, deu-se prioridade a praças e terrenos que são legalmente considerados parques, mas que ainda não estão disponíveis para uso da população local, ou seja, não existem fisicamente, a fim de incentivar a sua adequação perante a prefeitura. Neste estudo, estas parcelas são referidas como "parques não protegidos".

Para Florianópolis, todos os parques de uso urbano foram selecionados para o tratamento da gestão descentralizada, pois não apresentaram problemas referentes à escolha de lugares públicos. Uma vez definidos todos os locais, o *software* QGIS foi utilizado para delinear e criar características vetoriais em formato poligonal para cada espaço, com as coordenadas geográficas DATUM SIRGAS 2000 - UTM - Zona 25 S, para João Pessoa e DATUM SIRGAS 2000 - UTM - Zona 22 S, para Florianópolis. A ferramenta "Área" foi usada para encontrar a área de cada espaço público. Os parques desprotegidos já estavam delineados na fase de gestão centralizada, pois não havia diferenciação entre os tipos de parques. Para esta etapa de gestão descentralizada, os parques desprotegidos foram tratados de acordo com os mesmos procedimentos que as praças. Usando todos os dados sobre a área dos bairros ou distritos, praças e parques, determinou-se a área disponível para uma potencial instalação de compostagem compartilhada.

Esta comparação foi feita incluindo o espaço disponível das praças e parques, que se encontram na mesma região, pela área total do bairro ou distrito.

4.4.2.2 Valorização

Para esta etapa da gestão descentralizada dos resíduos orgânicos, os parques não protegidos e protegidos da cidade de João Pessoa foram escolhidos como áreas adequadas para a valorização. Estes dois tipos foram escolhidos, a fim de aumentar o número de bairros que podem recuperar seus próprios resíduos biológicos, já que a maioria dos parques abrange mais de um bairro. A delimitação dessas zonas verdes já havia sido feita na etapa de tratamento, de modo que não era necessário procurar novos dados. Deve-se notar que a escolha dos parques desprotegidos nesta fase corresponde ao incentivo de sua utilização pelo município. Em Florianópolis, os parques urbanos selecionados para o tratamento de resíduos orgânicos são utilizados igualmente para a valorização, em razão de englobar as duas etapas de gestão no mesmo território. Partindo de todos os dados sobre as zonas selecionadas, a disponibilidade da área de destino do composto gerado para cada região da cidade foi determinada pela área existente dos parques, dividida pela área total do bairro ou distrito.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 GESTÃO CENTRALIZADA

5.1.1 Tratamento

Esta etapa do estudo teve o intuito de determinar e sobrepor as diferentes camadas temáticas, a fim de determinar as localizações mais apropriadas para uma possível instalação centralizada de tratamento de resíduos orgânicos. As camadas de dados utilizadas baseiam-se na identificação de critérios, que podem interferir positivamente ou negativamente na seleção das áreas mais adequadas. As principais avenidas foram consideradas como critério técnico e são apropriadas para uma distância máxima de controle de 500 metros das instalações.

A proximidade de uma estação de tratamento de resíduos orgânicos favorece a chegada destes materiais e a distribuição dos subprodutos gerados. A existência de estradas pode ser considerada um critério positivo, pois o custo do transporte é reduzido, se a instalação estiver próxima das principais rodovias. Quanto aos critérios ambientais, são considerados critérios restritivos, uma vez que a implementação de uma estação de compostagem centralizada ou de digestão anaeróbia pode provocar possíveis contaminações em áreas de captação de água, cursos d'água e em zonas verdes sensíveis, além de ser um incômodo à vizinhança. Os critérios

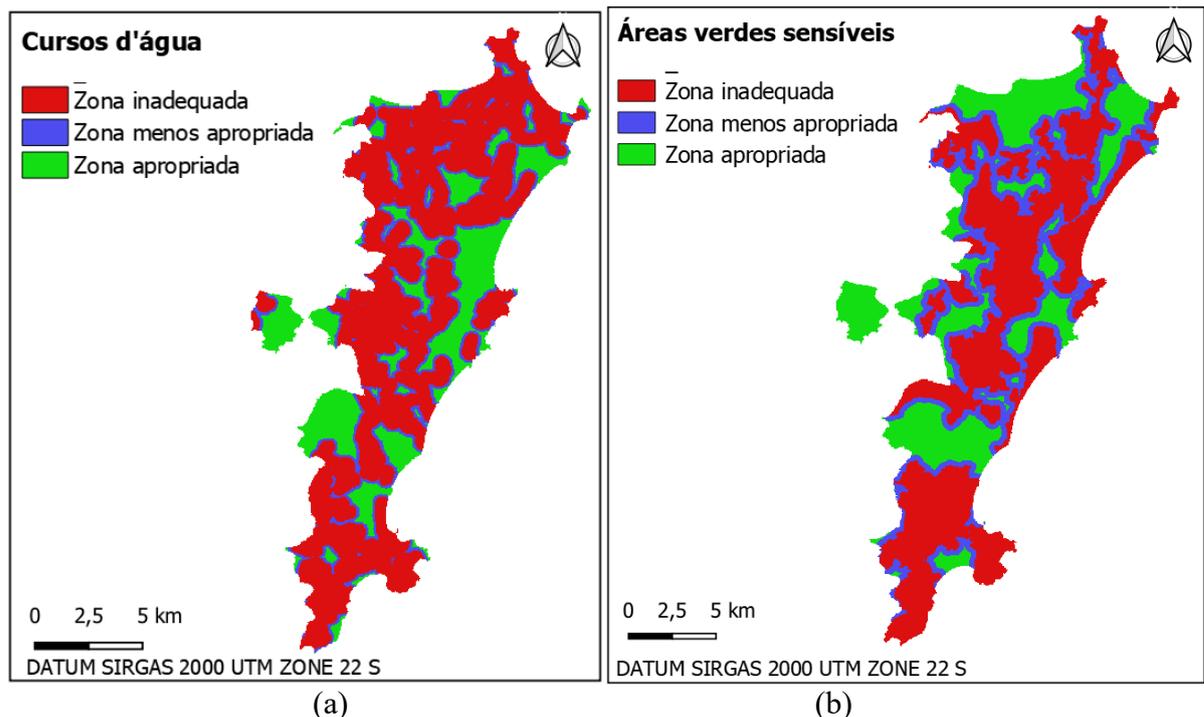
geográficos utilizados nesta análise, dizem respeito à densidade populacional e ocupação e uso do solo, sendo apresentadas como critérios negativos, visto que restringem a área utilizável dentro do território selecionado.

5.1.1.1 Florianópolis, SC

A capital do Estado de Santa Catarina apresenta, em um espaço limitado, uma enorme variedade de ambientes naturais que constituem os seus distintos ecossistemas. Sendo uma ilha, as limitações definidas são perceptíveis, como se pode ver na Figura 17 (a) e (b). Com respeito às restrições ambientais, apenas 26,82% do território é considerado adequado pelos critérios estabelecidos para as zonas verdes sensíveis, enquanto 50% do território é inapropriado para uma possível implantação de uma central de tratamento de resíduos orgânicos. Os distritos do sul, Pântano do Sul e Ribeirão da Ilha, que integram o Parque Municipal da Lagoa do Peri nos seus territórios, sofrem fortes limitações pelas restrições ambientais impostas. Ademais, a parte central de Florianópolis, até ao distrito de Cachoeira do Bom Jesus (norte), também não representa uma área apropriada, uma vez que acolhe a Unidade de Conservação de Meiãobipe, equivalente a 12% do território municipal.

Figura 17: Resultado dos critérios e restrições estabelecidos para a gestão centralizada em Florianópolis.

(a) Cursos d'água; (b) Áreas verdes sensíveis

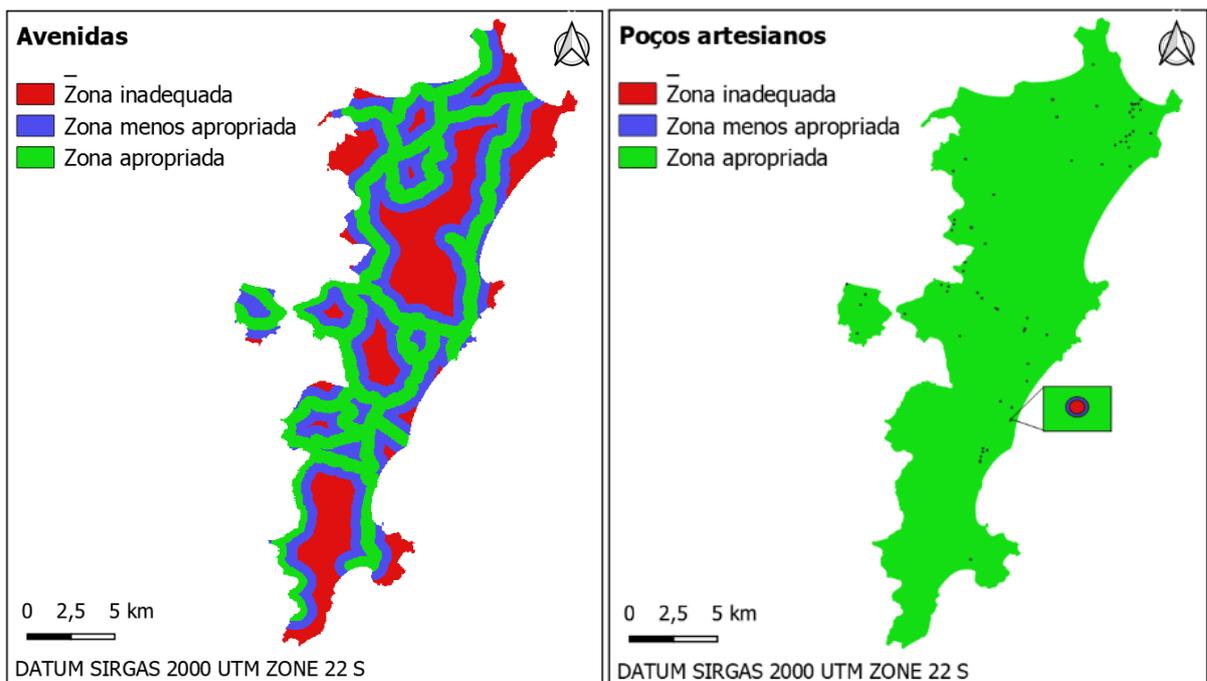


Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

No que diz respeito a Figura 17 (a), a área de estudo é fortemente afetada pela grande quantidade de cursos d'água, uma vez que a nascente e a foz dos rios estão no mesmo território. Com isso, apenas 22% do território é considerado adequado para os critérios cursos d'água. Quando analisadas as distâncias menores que 50 metros, ou seja, áreas inadequadas, nota-se que 65,8% da área total é impossibilitada de se implantar um central de tratamento de resíduos orgânicos. Nota-se que os rios estão presentes em algumas das principais zonas urbanas da cidade e "competem" por espaço com as principais avenidas da cidade. Essas últimas, Figura 18 (a), de acordo com as restrições estabelecidas, representam 38% do território como apropriado e 28% como inadequado.

Figura 18: Resultado dos critérios e restrições estabelecidos para a gestão centralizada em Florianópolis.

(a) Avenidas; (b) Poços artesianos.

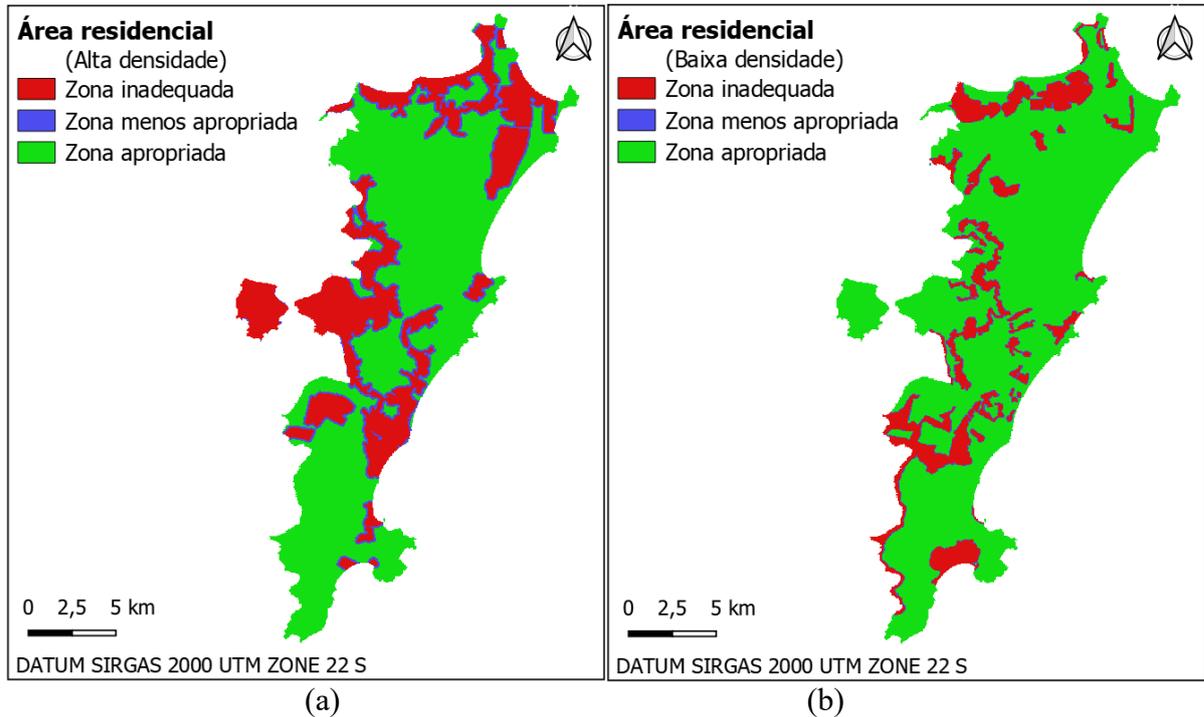


(a)

(b)

Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Figura 19: Resultado dos critérios e restrições estabelecidos para a gestão centralizada em Florianópolis. (a) Área residencial de alta densidade; (b) Área residencial de baixa densidade

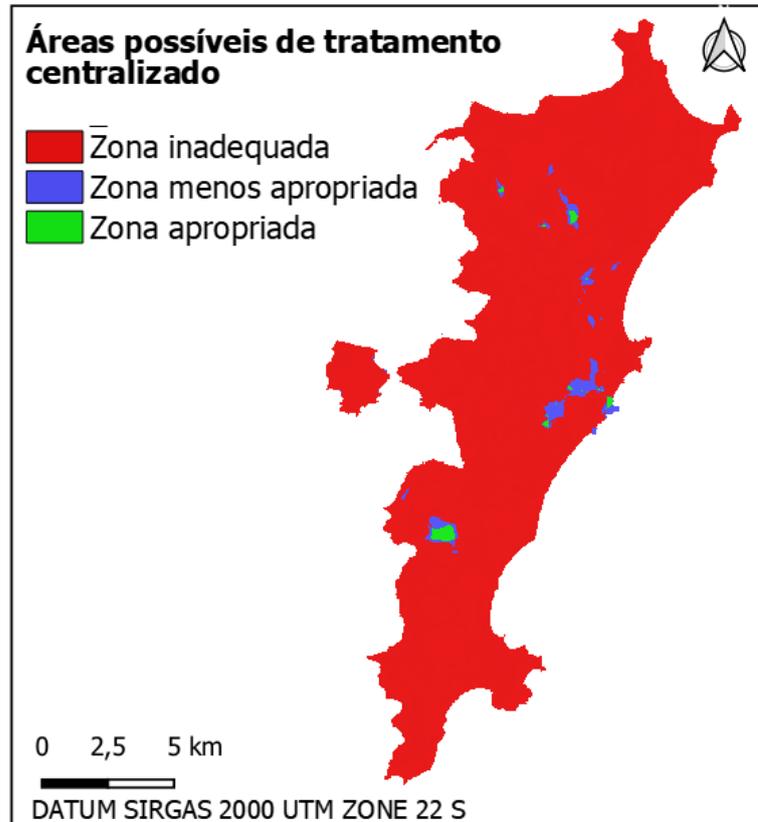


Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Florianópolis apresenta características distintas quanto às aglomerações urbanas, definidas principalmente pelos seus limites geográficos. No presente estudo, as áreas residenciais foram divididas em dois grupos. Pela Figura 19 (a), as zonas inadequadas, ou seja, as que apresentam maiores densidade demográficas, representam 28,65% do território, sendo os distritos mais afetados: Centro, Continente, Campeche, Ingleses do Rio Vermelho. As zonas propícias, que correspondem a 63,23% da área total, se encontram na região sul e no entorno do distrito de Ratonés (norte). No Mapa b (Figura 19), que apresenta as áreas residenciais de baixa de densidade, têm-se que as zonas apropriadas representam 79,72% do território, enquanto as zonas inadequadas simbolizam 16,63% do espaço disponível.

Com o objetivo de encontrar as principais áreas disponíveis para uma possível implantação de um centro de digestão anaeróbica ou de uma usina de compostagem centralizada em Florianópolis, as seis camadas, de acordo com os critérios selecionados, foram combinadas, resultando na Figura 20.

Figura 20: Composição dos critérios estabelecidos para locais de tratamento centralizado em Florianópolis.



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Pela análise do mapa da Figura 20, percebe-se que grande parte do território de Florianópolis é inadequado para a implantação de um centro de tratamento centralizado de resíduos orgânicos, seguindo os critérios e restrições definidos neste estudo. Os critérios cursos d'água, espaços verdes e existência de avenidas foram os que mais restringiram o território, conforme observado nos mapas individuais apresentados anteriormente. Sendo assim, têm-se que as zonas inadequadas correspondem a 98% do território, enquanto as zonas consideradas menos apropriadas equivalem a 2% da área de Florianópolis. O distrito do Ribeirão da Ilha, Lagoa da Conceição, Ratonas e Santo Antônio de Lisboa foram as únicas regiões que se mostraram apropriadas, tendo em vista as menores limitações encontradas nestes distritos. No total, as áreas apropriadas (zonas verdes no mapa) representam 0,5% da área total de Florianópolis, totalizando 3,10 km² de zona apropriada.

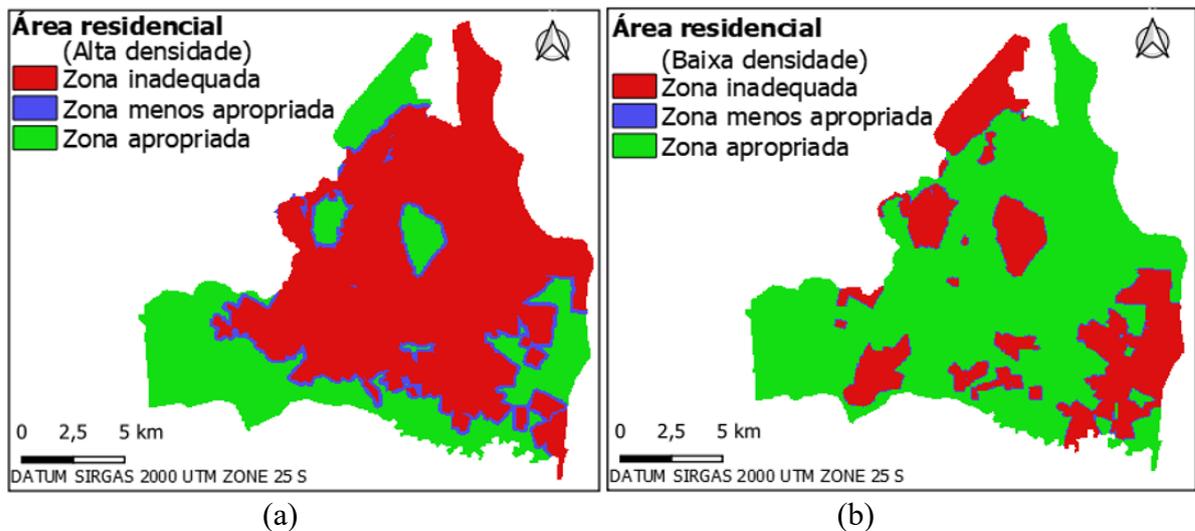
Pelos critérios e restrições selecionados para Florianópolis, a gestão centralizada, apresenta limites importantes para seu projeto, o que pode dificultar sua concretização. A combinação com a gestão descentralizada é uma alternativa viável, em termos de viabilidade, sendo proposta neste trabalho para complementar a gestão centralizada.

5.1.1.2 João Pessoa, Pb

As áreas residenciais tiveram uma grande influência na determinação das zonas apropriadas (Figura 21 (a) e (b)), uma vez que a cidade é predominantemente urbanizada.

Nota-se que as áreas de alta densidade com as restrições estabelecidas, ou seja, áreas consideradas inadequadas, correspondem a 72,85% da área total da cidade. As zonas inadequadas e menos adequadas encontram-se, em geral, na parte leste e central da cidade, enquanto as áreas apropriadas se encontram, principalmente, na parte sul de João Pessoa, devido à presença de terras agricultáveis. Pela Figura 21 (b), área residencial de baixa densidade, têm-se que 53,15 km² do território é considerado inadequado ou menos apropriado para uma possível instalação de tratamento centralizado de resíduos orgânicos.

Figura 21: Resultado dos critérios e restrições estabelecidos para a gestão centralizada em João Pessoa. (a) Área residencial de alta densidade; (b) Área residencial de baixa densidade

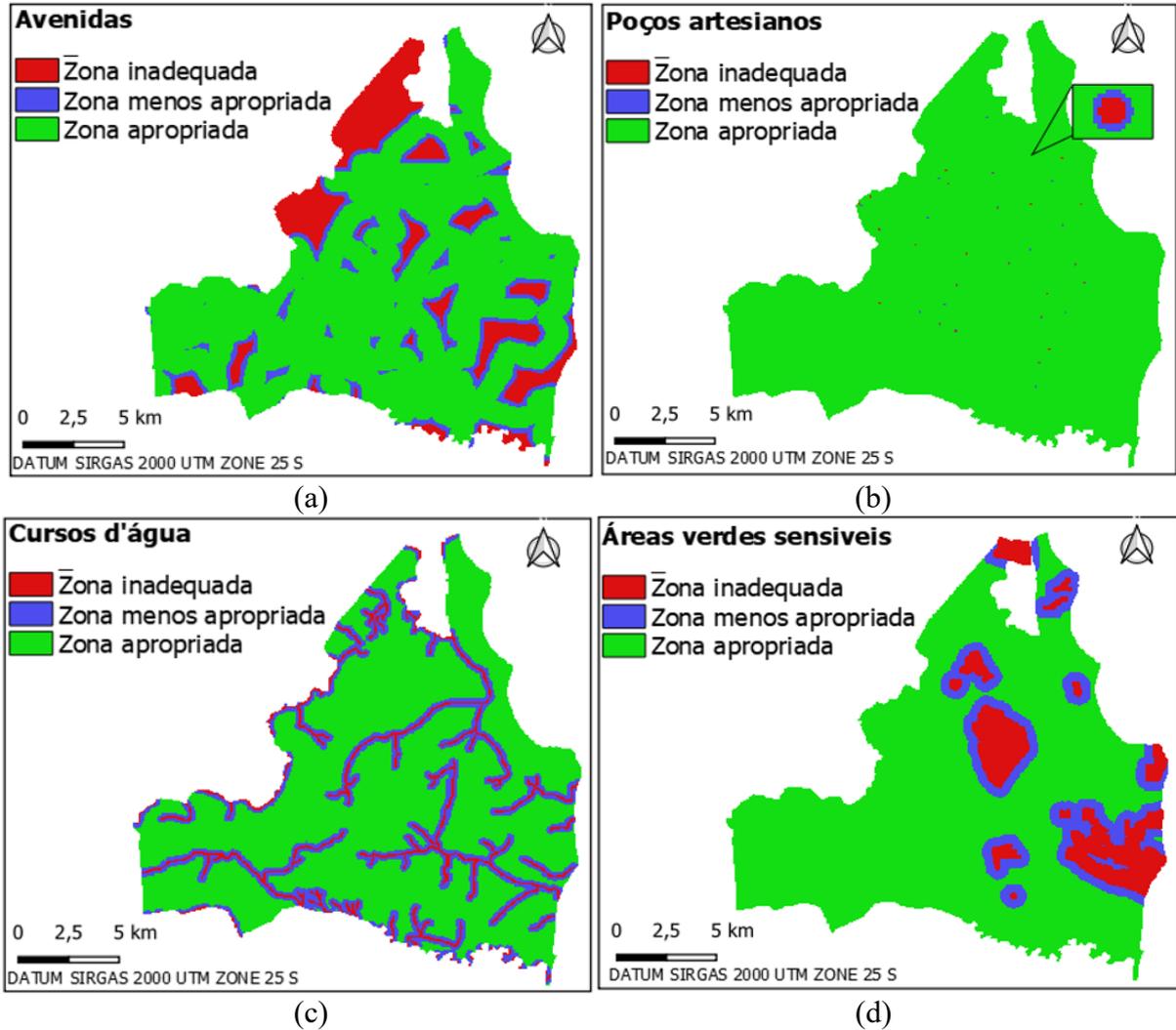


Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Para os critérios ambientais, as restrições estabelecidas nos cursos d'água (Figura 22 (c)) mostram que 64,56 km² ou 30,73% do território de João Pessoa se encontram em áreas inapropriadas ou menos apropriadas. Por outro lado, pela Figura 22 (d), os espaços verdes sensíveis, essas mesmas zonas representam 56,41 km² ou 26,85%. Os critérios ambientais exercem uma forte influência limitante na análise territorial, visto que 57,58% do território da área de estudo é caracterizada pelo domínio desfavorável à implementação de uma gestão centralizada.

Figura 22: Resultado dos critérios e restrições estabelecidos para a gestão centralizada em João Pessoa.

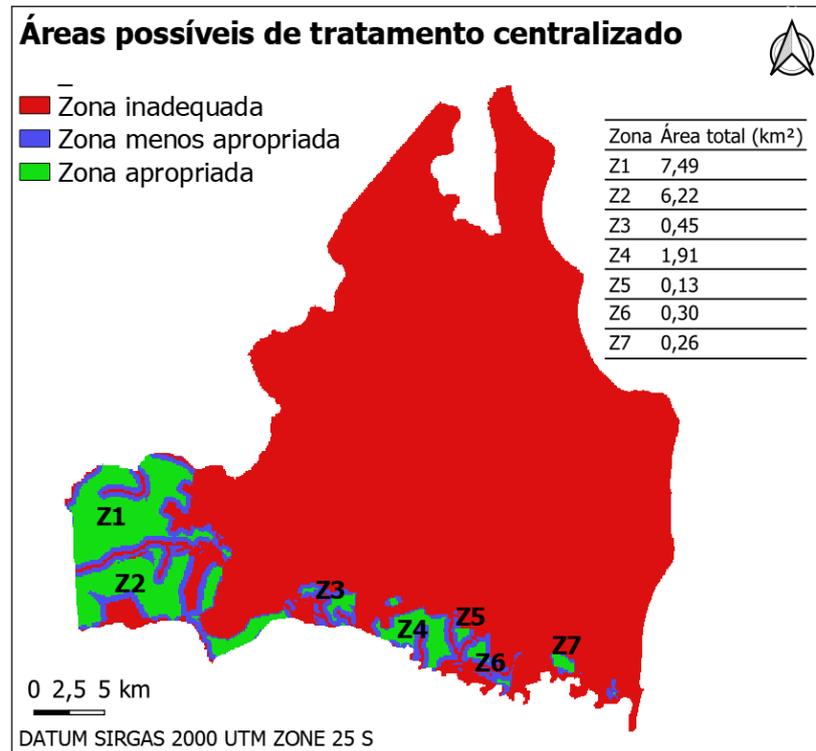
(a) Avenidas; (b) Poços artesianos; (c) Cursos d'água; (d) Áreas verdes sensíveis.



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Uma vez definido todos os critérios e restrições, as seis camadas foram combinadas, resultando na Figura 23. Observa-se que as regiões de alta densidade tiveram a maior influência entre os critérios selecionados. A área adequada final para uma eventual implantação de um centro centralizado de tratamento de resíduos orgânicos representa 16,76 km² ou 8% do território de João Pessoa, no entanto, estas áreas podem aumentar para 27,08 km² ou 13% do território, se considerarmos também as áreas menos apropriadas.

Figura 23: Composição dos critérios estabelecidos para locais de tratamento centralizado em João Pessoa.



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Para uma melhor compreensão do território, as áreas apropriadas foram divididas em sete zonas, como mostra a Figura 23. As zonas 01 e 02 correspondem às maiores áreas, sendo 7,49 e 6,22 km², respectivamente. No entanto, essas zonas encontram-se distantes dos grandes centros urbanos de João Pessoa, ou seja, da região que mais produz resíduos orgânicos, ocasionando grandes gastos de transporte até a área da possível implantação do centro de tratamento centralizado. Pelos critérios e restrições selecionados para João Pessoa, a etapa de tratamento para uma possível gestão centralizada na cidade, apresenta importantes restrições para a sua concepção, o que pode tornar difícil a sua implementação. Nota-se que a combinação com a gestão descentralizada é uma alternativa viável, em termos de custo e praticidade, sendo proposta neste trabalho para complementar a gestão centralizada.

5.1.2 Valorização

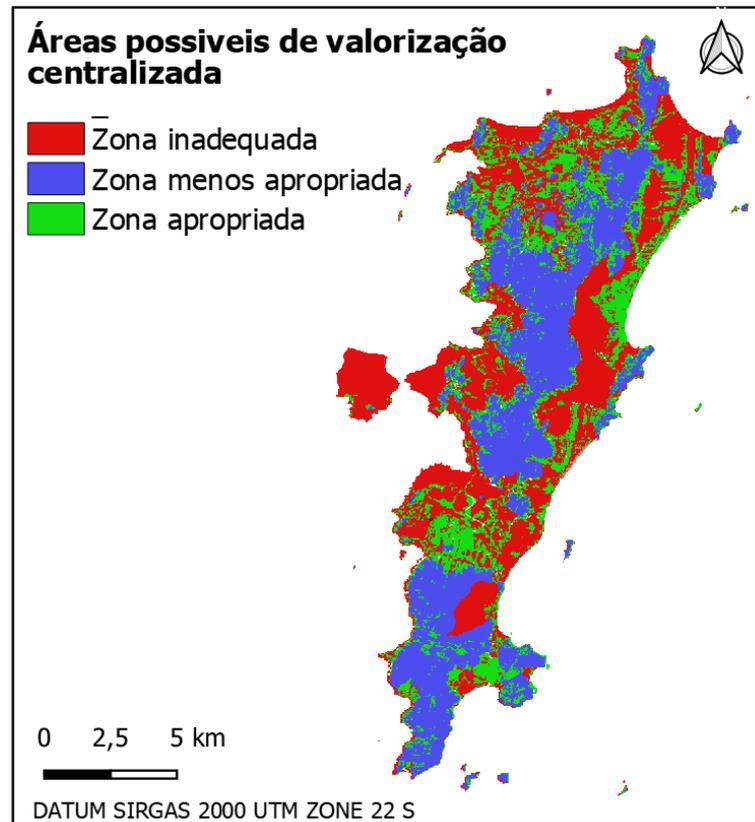
5.1.2.1 Florianópolis, SC

O composto gerado na fase de tratamento pode ser utilizado em outras áreas previamente selecionadas, pois este material possui qualidades que melhoram a retenção de

nutrientes no solo e reduzem as pragas e doenças das plantas. A Figura 24 apresenta as possíveis áreas que poderiam ser utilizadas na valorização do resíduo sólido orgânico, considerando uma gestão centralizada em Florianópolis. Para a elaboração do mapa apresentado a seguir, foi considerado o mapa de uso e ocupação do solo, apresentado na Figura 12 (b).

Para a valorização de adubos orgânicos, as áreas consideradas apropriadas para seu uso são aquelas que correspondem às áreas de silvicultura, pastagem e áreas não florestais, enquanto as formações florestais são caracterizadas como regiões menos apropriadas. O restante do território de Florianópolis é avaliado como inadequado, em virtude de possuírem áreas de manguezais, praias, dunas e área urbana.

Figura 24: Locais de valorização para gestão centralizada em Florianópolis.



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

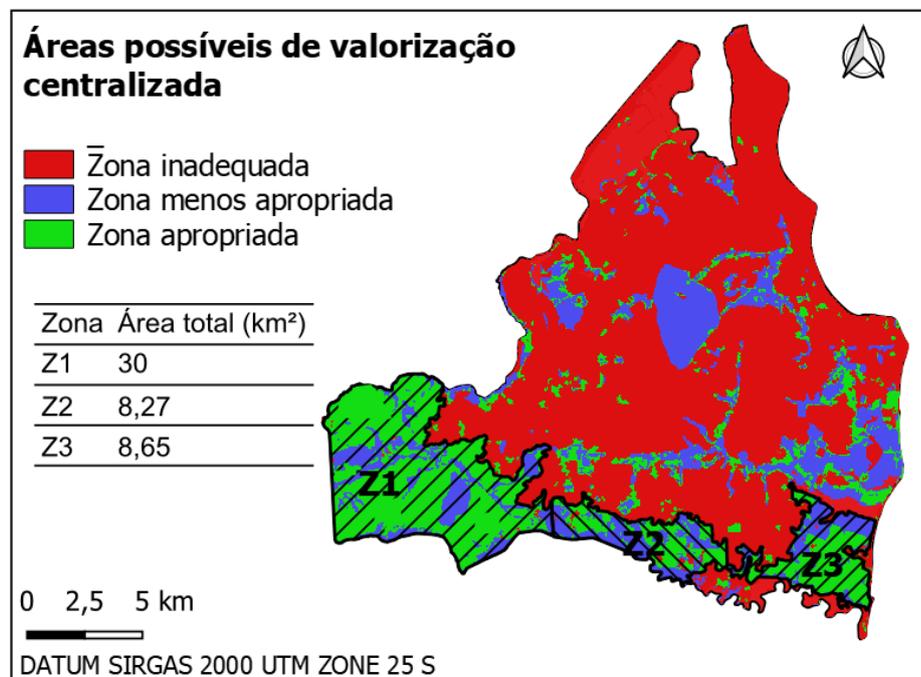
Observa-se que os locais mais apropriados para o uso do composto gerado na etapa de tratamento, estão concentrados majoritariamente em 03 distritos: Ratonés (norte), São João do Rio Vermelho (leste) e Ribeirão da Ilha (sul). Essas zonas representam 24% do território de Florianópolis que correspondem a, aproximadamente, 164 km². Para as zonas consideradas menos apropriadas, as áreas possíveis de valorização centralizada equivalem a 35% do município de Florianópolis. Por fim, as regiões que o estudo considera inadequada,

correspondem a 41% ou 275 km². Enfatiza-se que as áreas indicadas pela análise territorial em Florianópolis dependem de outros fatores que o estudo não abordou, visto que aspectos econômicos, qualidade do composto e relação espaço x quantidade de resíduos orgânicos devem ser levados em conta para uma possível implantação de uma instalação centralizada de tratamento e, posteriormente a valorização do produto gerado.

5.1.2.2 João Pessoa, Pb

Para assegurar um desempenho eficiente e sustentável da gestão centralizada, é preferível que o produto final, tal como o composto, seja utilizado próximo do centro de tratamento. Se for consumido longe do centro de compostagem ou de digestão anaeróbia, deve ser transportado por longas distâncias. Ao realizar este trabalho, verificou-se que as áreas mais favoráveis para tratamento são as mesmas áreas mais favoráveis encontradas para valorização, o que torna um fator positivo na decisão sobre uma possível implantação centralizada, devido ao elevado nível de urbanização em João Pessoa. Neste sentido, apenas três áreas favoráveis à valorização foram consideradas, uma vez que abrangem as áreas de tratamento (Figura 25).

Figura 25: Locais de valorização para gestão centralizada em João Pessoa.



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

De acordo com a Figura 25, a Zona 01 é a zona mais abrangente para uma potencial recuperação de resíduos orgânicos, a qual inclui as Zonas 01 e 02 da fase de tratamento. No entanto, a Zona 02 é relevante uma vez que engloba quatro zonas da fase de tratamento. No total, se apenas as três zonas de potencial de valorização forem consideradas, a área disponível é de 46,92 km².

Salienta-se que as áreas foram indicadas por uma análise territorial de critérios técnicos, ambientais e geográficos selecionados. Para a implementação efetiva de um centro de tratamento e, conseqüentemente, a valorização do composto orgânico, é necessário considerar outros fatores que não foram abordados no presente estudo, principalmente aspectos econômicos e qualidade do solo para aplicação de composto. Além disso, é necessário um estudo de viabilidade para confirmar a adequação destas áreas selecionadas.

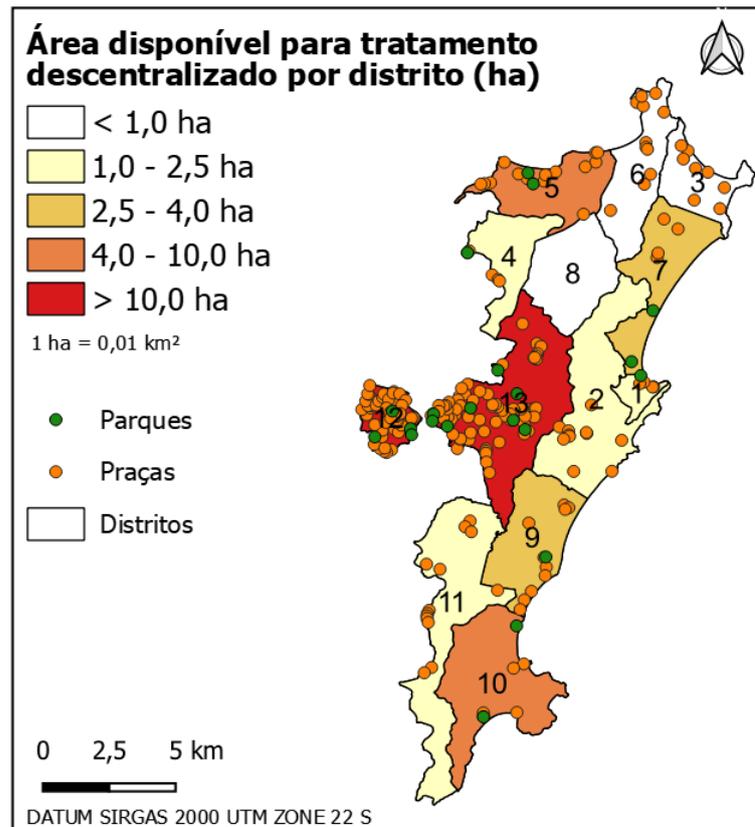
5.2 GESTÃO DESCENTRALIZADA

5.2.1 Tratamento

5.2.1.1 Florianópolis, SC

Florianópolis possui a coleta seletiva de resíduos orgânicos em alguns bairros da cidade, entretanto, em virtude de problemas relacionados à logística em áreas de difícil acesso, a gestão descentralizada é uma alternativa viável e amplamente utilizada em pequenas comunidades do território analisado. Com o objetivo de se tornar o capital lixo zero, Florianópolis deve aumentar a conscientização sobre todas as questões de gerenciamento de resíduos, e a gestão descentralizada cumpre, também, este objetivo. As possíveis áreas que poderiam ser utilizadas no tratamento descentralizado correspondem a locais onde há praças e parques. Pela Figura 26, foram identificados 21 parques urbanos e 201 praças, cujo número e tamanho variam de acordo com os 12 distritos da cidade.

Figura 26: Áreas de tratamento para gestão descentralizada em Florianópolis.



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Os distritos mais populosos contam com maior número de praças, como pode ser visto na Figura 22, nas áreas centrais da cidade. Na área continental (nº 12), contabilizam-se 44 praças e 4 parques, o que no total representam 20,19 ha ou 2% da área do distrito. Na parte insular (nº 13), existem 70 praças e 8 parques, tendo nesta área o maior parque urbano da cidade, o Parque Ecológico do Córrego Grande. A área disponível para o tratamento neste distrito corresponde a 52,20 ha ou 0,8% da área total do distrito insular. Na região sul do município, o distrito de Ribeirão da Ilha (nº 11) apresenta 13 praças, o maior número entre os três distritos da região sul, contudo, essa é a região de menor área disponível, com 1,15 ha. O Campeche (nº 9), com 11 praças e 1 parque, tem uma área de 3,71 ha ou 0,11% do território total do distrito.

Destaca-se que a prática da compostagem descentralizada está presente na região e é realizada pelos moradores no Parque Cultura do Campeche, o único parque urbano considerado nesse distrito. Com 5 praças e 2 parques urbanos selecionados, o Pântano do Sul (nº 10) é o distrito da região sul com maior área disponível para uma possível implementação de compostagem comunitária em seu território, uma vez que tem 7,04 ha disponíveis para uso. Considerando que o distrito dos Ingleses do Rio Vermelho (nº 3) é o terceiro mais denso de Florianópolis, as praças deveriam estar presentes para a interação social, porém, entre os três

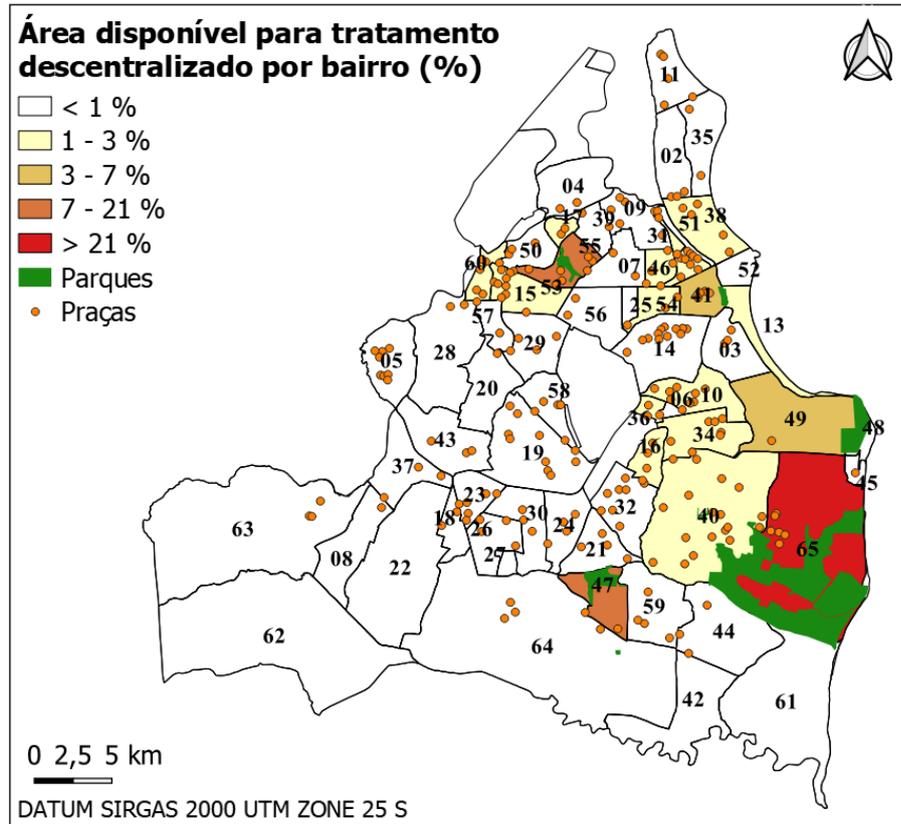
distritos do norte da cidade estudada, é o que tem a menor área disponível (0,8 ha), uma vez que possui apenas 8 praças e nenhum parque. Canasvieiras (nº 5), com 4,26 ha disponíveis, é o distrito do norte com mais espaço para compostagem, seguido por Cachoeira do Bom Jesus (nº 6), com 1,0 ha.

5.2.1.2 João Pessoa, Pb

Como resultado da fase de gestão centralizada, verifica-se que existem limitações à sua realização, nomeadamente devido à falta de coleta seletiva em João Pessoa e os limites territoriais, tal como demonstrado anteriormente. A gestão descentralizada pode ser considerada uma solução mais simples e complementar a gestão centralizada para o tratamento e recuperação de resíduos orgânicos, integrando a fonte de produção, tratamento e valorização dos resíduos orgânicos. Nesta segunda parte da pesquisa, as possíveis áreas de tratamento nos bairros são praças e parques. Para a cidade de João Pessoa, foram identificadas 238 praças e 7 parques, que variam em número e tamanho, de acordo com os 64 bairros da cidade. Por meio da Figura 27, observa-se que existem alguns bairros sem espaços públicos urbanos, o que constitui uma forte limitação ao possível tratamento local dos resíduos orgânicos produzidos, induzindo à gestão centralizada dos resíduos biodegradáveis.

Ademais, há bairros que não têm praças, mas apresentam parques no seu território, como é o caso da região número 13 da Figura 27 (Cabo Branco). Nota-se que existem muitas áreas em branco no mapa, ou seja, bairros com áreas disponíveis menores que 1% da área total do bairro analisado. No total, existem 20 bairros que possuem áreas apropriadas para realizar o tratamento de material orgânico no seu território, embora poucos apresentam áreas maiores que 7% disponíveis para uso.

Figura 27: Áreas de tratamento para gestão descentralizada em João Pessoa.



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

A análise espacial por bairros identificou cinco níveis, de acordo com a porcentagem de espaço disponível para o tratamento local de resíduos biodegradáveis. Nota-se que os parques tiveram uma grande influência na disponibilidade das áreas, pois existem parques que englobam mais do que um bairro. O bairro da Costa do Sol (nº 65) tem o maior número de áreas disponíveis para um possível tratamento, devido aos 6,72 km² de parque no seu território. Os bairros Planalto da Boa Esperança (nº 47) e Treze de Maio (nº 55) apresentam, também, áreas consideráveis, com 1.000 m² e 3.000 m² de espaços públicos urbanos, respectivamente.

Com os critérios estabelecidos, há uma área total de 8,60 km² disponível para tratamento de resíduos biodegradáveis, em uma eventual implantação de gestão descentralizada na cidade de João Pessoa. O bairro mais populoso da cidade, Mangabeira (nº 40), apresenta apenas 1,20% da superfície disponível, enquanto bairros como Manaíra (nº 38), Jd. Universitária (nº 34) e Bancários (nº 10) têm valores inferiores a 2,5%. Embora a maioria dos bairros não dispõe de grandes áreas potenciais para tratamento descentralizado, é importante utilizar esta tecnologia para reduzir a quantidade de resíduos que vão para o aterro, visto que a implantação de uma coleta seletiva de resíduos orgânicos não está presente em João Pessoa. Este estudo não teve como objetivo descobrir a quantidade total de resíduo tratado por bairro,

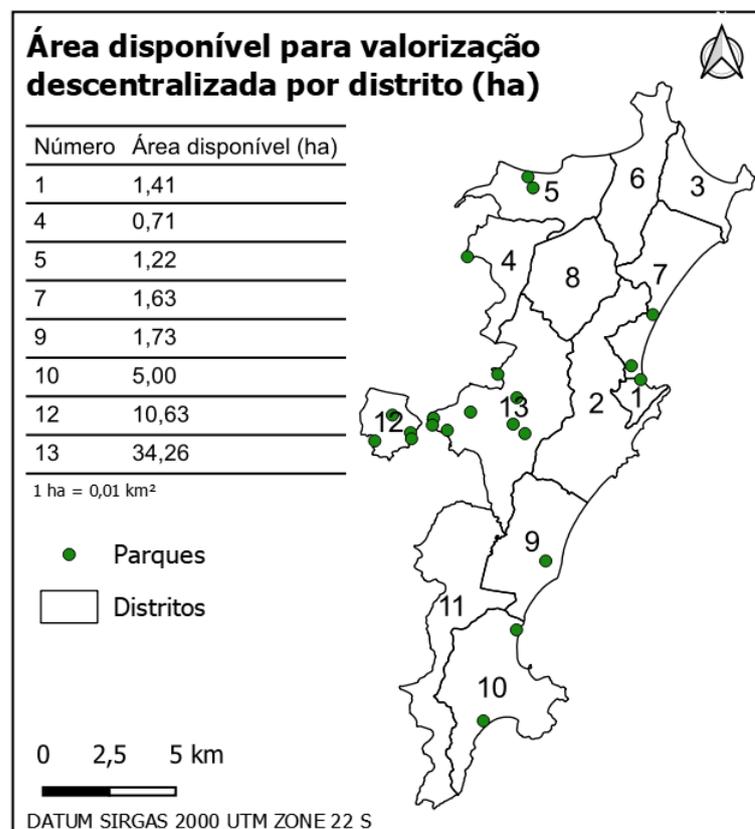
mas a porcentagem ou disponibilidade de superfície por bairro, para uma possível implementação da gestão descentralizada dos resíduos orgânicos.

5.2.2 Valorização

5.2.2.1 Florianópolis, SC

O território de Florianópolis possui diversas características geográficas, constituídas por manguezais, dunas, restingas, terrenos acidentados e lagoas. Muitos dos parques que poderiam ter sido considerados nesta etapa, foram descartados por apresentarem algumas destas características citadas. Assim, os parques urbanos selecionados na Figura 28 para a valorização de resíduos orgânicos foram utilizados igualmente no tratamento, por abranger as duas etapas da gestão no mesmo território. Entretanto, o uso de compostos gerados pelo tratamento descentralizado não está excluído em áreas compostas por unidades de conservação ou áreas de preservação permanente.

Figura 28: Áreas de valorização para gestão descentralizada em Florianópolis.



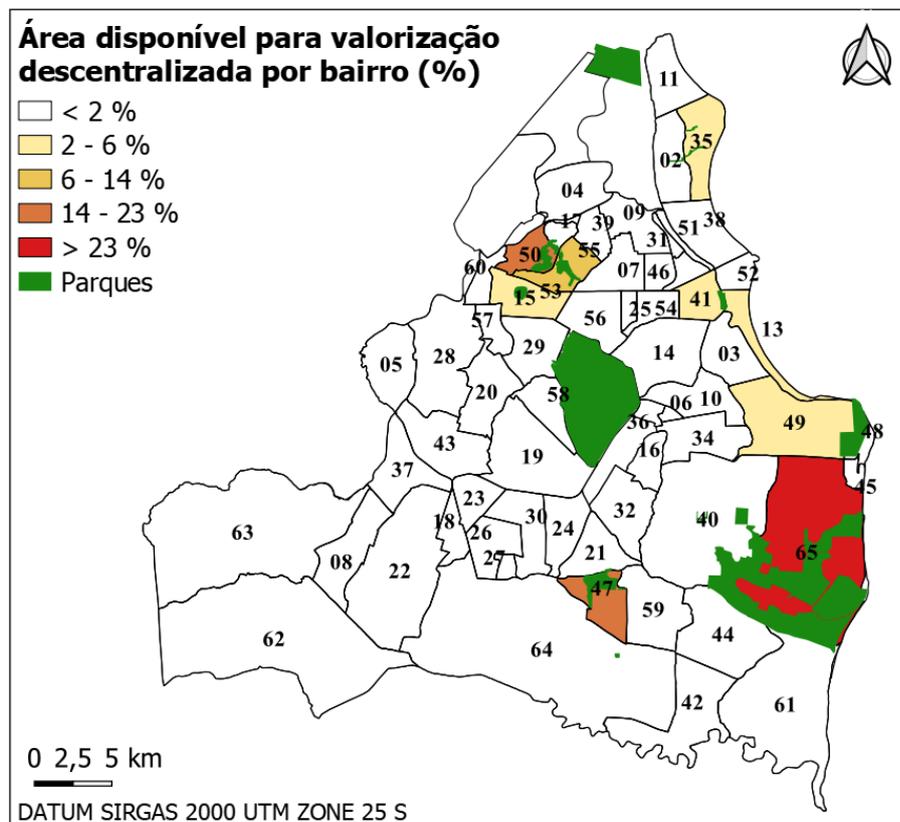
Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Pela Figura 28, identifica-se 21 parques urbanos selecionados em sete distritos. A região central, por possuir o maior aglomerado populacional, apresenta 8 parques urbanos no distrito Insular (nº 13) e 4 parques no distrito Continental (nº 12), ambos, respectivamente, possuem 34,26 ha e 10,63 ha de área disponível para valorizar o composto gerado. Nota-se que fora do eixo central da cidade, o distrito Pântano do Sul (nº 10) possui 2 parques, os quais representam 5,00 ha de área.

5.2.2.2 João Pessoa, Pb

A fim de assegurar a valorização do produto final da gestão descentralizada corretamente e próximo da fonte de produção, foram identificados os principais parques da cidade (Figura 29). No total, foram selecionados 15 parques, dos quais 7 são não protegidos e 8 são protegidos. Dos 64 bairros existentes em João Pessoa, apenas 13 bairros apresentam mais de 2% de suas áreas para valorização, de acordo com os critérios estabelecidos.

Figura 29: Áreas de valorização para gestão descentralizada em João Pessoa.



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Segundo a Figura 29, o bairro da Costa do Sol (nº 65) tem a maior área disponível para desenvolvimento dessa etapa, devido ao grande parque existente em seu território, com 34,46% da área total do bairro disponível. No total, com os critérios estabelecidos, existem 8,49 km² disponíveis para a recuperação do composto, especificamente para a gestão descentralizada.

6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Este estudo foi realizado com o objetivo de identificar localidades adequadas para a possível implantação de centros de tratamento e valorização de resíduos orgânicos, utilizando a ferramenta SIG, para os dois tipos existentes de gestão, centralizada e descentralizada. Foram analisados os territórios de duas capitais brasileiras Florianópolis-SC e João Pessoa-PB. Para a gestão centralizada, foram selecionados critérios e restrições ambientais, técnicos e geográficos: avenidas, cursos d'água, áreas residências, espaços públicos verdes e poços artesianos, além de um estudo territorial e caracterização socioeconômica de cada cidade. Para a gestão descentralizada, foi considerada a quantidade de espaços públicos urbanos, como parques e praças. Todos esses critérios foram organizados de forma espacialmente georreferenciada para elaborar mapas de caracterização das regiões de estudo e identificar os melhores locais para uma possível implementação de gerenciamento de resíduos orgânicos. Embora não existam dados recentes sobre os aspectos sociais e econômicos, o estudo realizou uma análise para compreender a dinâmica populacional de ambas as cidades.

Para uma gestão centralizada, as áreas adequadas disponíveis para uma possível instalação de um centro de tratamento de resíduos orgânicos representam apenas 16,76 km², ou cerca de 8% do território total de João Pessoa, tendo em vista a grande área de densidade demográfica elevada. Para Florianópolis, em virtude das limitações de espaço e da quantidade de cursos d'água e espaços verdes sensíveis, apenas 0,5% ou 3,10 km² da superfície da cidade é caracterizada como adequada. Em relação as áreas disponíveis para a valorização do composto gerado no tratamento, a superfície disponível é de 46,92 km² em João Pessoa e aproximadamente 164 km² para Florianópolis.

A gestão descentralizada está focada na gestão coletiva dos bairros, com o uso de espaços públicos, como parques e praças. O bairro da Costa do Sol, em João Pessoa, apresenta 34,5% da área disponível para tratamento e valorização dos resíduos orgânicos, devido à extensão de 6,72 km² do principal parque da cidade em seu território. O bairro do Planalto da Boa Esperança também se destacou nas duas etapas, com 21,30% da área do bairro disponível. Em Florianópolis, os distritos mais populosos (Continental e Insular) contam com grande quantidade de praças. Na parte continental contabilizaram-se 44 praças e 4 parques, o que no total representa 20,19 ha ou 2% da área do distrito. Na parte insular, com 70 praças e 8 parques, a área total disponível corresponde a 52,20 ha ou 0,8% do território em questão.

Como resultado da fase de gestão centralizada, verificou-se que existem limitações territoriais importantes à sua implantação, devido as características ambientais e geográficas de

cada cidade. Florianópolis, por ser praticamente uma ilha, apresenta limitações devido a sua hidrografia e zonas verdes sensíveis, enquanto João Pessoa se mostra uma cidade altamente urbanizada. Com isso, diante de possíveis problemas relacionados à coleta seletiva e a inviabilidade de seleção das áreas mais adequadas, a gestão descentralizada é considerada uma solução mais simples e complementar a gestão centralizada para o tratamento e valorização de resíduos orgânicos, a qual buscar integrar, no mesmo território, a fonte de produção, tratamento e valorização da matéria orgânica, além de diminuir os resíduos coletados pelos caminhões. O composto gerado nos parques e praças, além de serem utilizados no mesmo espaço de tratamento, pode ser valorizado em domicílios ou hortas comunitárias, contribuindo com a diminuição dos resíduos direcionado aos aterros.

Para trabalhos futuros, recomenda-se os seguintes pontos:

- Avaliar a quantidade de resíduos orgânicos gerados em ambas as cidades e verificar se as áreas adequadas deste estudo atendem à demanda;
- Avaliar os resíduos orgânicos gerados e mobilizáveis no tratamento da gestão descentralizada;
- Estudar a viabilidade econômica da implantação da gestão centralizada e descentralizada nas áreas apropriadas neste estudo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, M. J. **Gestão comunitária de resíduos orgânicos: o caso do projeto revolução dos baldinhos (PRB), capital social e agricultura urbana**. Dissertação (mestrado profissional) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Agroecossistemas, Florianópolis, 2013. Disponível em: < <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/107404> >

ADEME. AGENCE DE LA TRANSITION ECOLOGIQUE. **Guide methodologique du compostage autonome en etablissement**. 2012a. Disponível em: < <https://librairie.ademe.fr/dechets-economie-circulaire/3491-guide-methodologique-du-compostage-autonome-en-etablissement.html> >

ADEME. AGENCE DE LA TRANSITION ECOLOGIQUE. **Guide methodologique du compostage partage (ou semi-collectif) compostage en pied d'immeuble, de quartier...** 2012b. Disponível em: < <https://librairie.ademe.fr/dechets-economie-circulaire/3492-guide-methodologique-du-compostage-partage-ou-semi-collectif-compostage-en-pied-d-immeuble-de-quartier.html> >

ADEME. AGENCE DE LA TRANSITION ECOLOGIQUE. **Réduire, Trier et Valoriser Les Biodéchets des Gros Producteurs**. Guide pratique. 2013.

ADEME. AGENCE DE LA TRANSITION ECOLOGIQUE. **Methanisation**. Fiche technique Prévention/Gestion de proximité des biodéchets. 2015a. Disponível em: < <https://librairie.ademe.fr/dechets-economie-circulaire/3258-methanisation-fiche-technique.html> >

ADEME. AGENCE DE LA TRANSITION ECOLOGIQUE. **Prévention/gestion de proximité des biodéchets**. Fiche technique Prévention/Gestion de proximité des biodéchets. 2015b. Disponível em: < <https://librairie.ademe.fr/dechets-economie-circulaire/2663-prevention-gestion-de-proximite-des-biodechets.html> >

ADEME. AGENCE DE LA TRANSITION ECOLOGIQUE. **Tri À La Source Et Collecte Séparée Des Biodéchets**. Synthèse Thématique. 2020. Disponible en: < <https://librairie.ademe.fr/dechets-economie-circulaire/1076-tri-a-la-source-et-collecte-separee-des-biodechets.html> >

ADEME. AGENCE DE LA TRANSITION ECOLOGIQUE. **Étude comparative des pratiques de collecte séparée des biodéchets en milieu urbain - Retours d'expérience Europe et Monde**. 2021. Disponible en: < <https://librairie.ademe.fr/dechets-economie-circulaire/5422-etude-comparative-des-pratiques-de-collecte-separee-des-biodechets-en-milieu-urbain.html> >

ANDERSEN, J. K., BOLDRIN, A., CHRISTENSEN, T. H., SCHEUTZ, C. Greenhouse gas emissions from home composting of organic household waste. **Waste Management**, v. 30, p. 2475-2482, 2010.

<https://doi.org/10.1016/j.wasman.2010.07.004>

ARAGONÉS-BELTRÁN, P., PASTOR-FERRANDO, J. P., GARCÍA, F., PASCUAL-AGULLÓ, A. An Analytic Network Process approach for siting a municipal solid waste plant in the Metropolitan Area of Valencia (Spain). **Journal of Environmental Management**, v. 91, p. 1071-1086, 2010.

<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2009.12.007>

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 10.004**: Resíduos sólidos - Classificação. Rio de Janeiro, 2004.

BABALOLA, M. A. Application of GIS-based multi-criteria decision technique in exploration of suitable site options for anaerobic digestion of food and biodegradable waste in Oita City, Japan. **Environments – MDPI**, v. 5, 2018.

<https://doi.org/10.3390/environments5070077>

BARRENA, R., FONT, X., GABARRELL, X., SÁNCHEZ, A. Home composting versus industrial composting : Influence of composting system on compost quality with focus on compost stability. **Waste Management**, v. 34, p. 1109-1116, 2014.

<https://doi.org/10.1016/j.wasman.2014.02.008>

BAPTISTA, V. S. G., DE ARAUJO MORAIS, J. J. **Campanha de caracterização gravimétrica – 2016**, Aterro Sanitário Metropolitano de João Pessoa. 2016.

BAYARD, R., GOURDON, R. **Traitement biologique des déchets**. Techniques de l'Ingénieur. 2010.

<https://doi.org/10.51257/a-v2-g2060>

BORTOLOTTI, A., KAMPELMANN, S., MUYNCK, S. Decentralised organic resource treatments – classification and comparison through extended material flow analysis. **Journal of Cleaner Production**, v, 183, p. 515-526, 2018.

<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.02.104>

BRASIL. **Lei Federal nº 12.305, de 2 de agosto de 2010**. 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, de 3 de agosto de 2010. Disponível em: <

https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-

[2010/2010/lei/112305.htm#:~:text=1o%20Esta%20Lei%20institui,poder%20p%C3%ABlico%20e%20aos%20instrumentos](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm#:~:text=1o%20Esta%20Lei%20institui,poder%20p%C3%ABlico%20e%20aos%20instrumentos) >

BRASIL. **Resolução CONAMA nº 481/2017**. Estabelece critérios e procedimentos para garantir o controle e a qualidade ambiental do processo de compostagem de resíduos orgânicos, e dá outras providências. 2017. Disponível em: <

<https://www.ibama.gov.br/component/legislacao/?view=legislacao&legislacao=137380#:~:text=1%C2%BA%20Esta%20Resolu%C3%A7%C3%A3o%20estabelece%20crit%C3%A9rios,natural%20de%20fertilizar%20os%20solos> >

BRASIL. **Lei Federal nº 12.651, de 25 de maio de 2012**. 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 4.771, 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. 2012. Disponível em: <

https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/112651.htm>

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Secretaria de Qualidade Ambiental. **Plano Nacional de Resíduos Sólidos - Planares** [recurso eletrônico] / coordenação de André Luiz Felisberto França... [et. al.]. – Brasília, DF: MMA, 2022a.

BRASIL. **Decreto Nº 10.936/2022**. Regulamenta a Lei nº 12305, de 2 de agosto de 2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. 2022b. Disponível em: < <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/decreto-n-10.936-de-12-de-janeiro-de-2022-373573578> >

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional. Secretaria Nacional de Informação sobre Saneamento - SNIS. **Diagnóstico do manejo de resíduos sólidos urbanos**. Brasília, DF, (2010-2021). 2022c. Disponível em: < <http://www.snis.gov.br/diagnostico-anual-residuos-solidos> >

CHALKIAS, C., LASARIDI, K. Benefits from GIS Based Modelling for Municipal Solid Waste Management. **Integrated Waste Management**, v. 1. 2011. DOI: 10.5772/17087

CHANG, N., WEI, Y. L. Siting recycling drop-off stations in urban area by genetic algorithm-based fuzzy multi objective nonlinear integer programming modelling. **Fuzzy Sets and Systems**, v. 114, p. 133-149, 2000.
[https://doi.org/10.1016/S0165-0114\(98\)00192-4](https://doi.org/10.1016/S0165-0114(98)00192-4)

CHUKWUMA E. C., OKEY-ONYESOLU F. C., ANI K. A., NWANNA E. C. GIS bio-waste assessment and suitability analysis for biogas power plant: A case study of Anambra state of Nigeria. **Renewable Energy**, v. 163, p. 1182-1194, 2021.
<https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.09.046>

COLEBROOK, M., SICILIA, J. Undesirable facility location problems on multicriteria networks. **Computers & Operations Research**, v. 34, p. 1491-1514, 2007.
<https://doi.org/10.1016/j.cor.2005.06.010>

DRESCHER, S., ZURBRÜGG, C. **Decentralised composting: lessons learned and future potentials for meeting the millennium development goals**. Solid waste, health and the Millennium Development Goals. CWG – WASH Workshop. 2006.

EEA. European Environment Agency. **Bio-waste in Europe - turning challenges into opportunities**. 2020. DOI:10.2800/630938

FERREIRA, M. C. **Sistemas de informação geográfica aplicados à gestão de resíduos sólidos urbanos e industriais : Caso de estudo do Concelho de Ferreira do Zêzere**. Escola Superior de Tecnologia de Tomar. 2019.

<http://hdl.handle.net/10400.26/31559>

FITZPATRICK, G. E.; WORDEN, E. C.; VENDRAME, W. A. Historical Development of Composting Technology during the 20th Century. **HortTechnology**, v. 15, 2005.

<https://doi.org/10.21273/HORTTECH.15.1.0048>

FLORIANÓPOLIS. Prefeitura Municipal. Secretaria Municipal do Meio Ambiente. **Plano Municipal de Coleta Seletiva**. Florianópolis, SC, 2016a. Disponível em: <

<https://www.pmf.sc.gov.br/sistemas/pmgirs/caderno6.php>

FLORIANÓPOLIS. Prefeitura Municipal. Secretaria Municipal do Meio Ambiente. **Relatório Parcial 2 – Caracterização dos Resíduos Sólidos da Coleta Convencional e Seletiva**.

Florianópolis, SC, 2016b. Disponível em: <

<https://www.pmf.sc.gov.br/entidades/saneamento/index.php?cms=produtos&menu=8&submenid=1573>>

FLORIANÓPOLIS. Prefeitura Municipal. **Decreto nº 17.910, de 22 de agosto de 2017**.

Institui o Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (PMGIRS) da Cidade de Florianópolis Para o Período 2018-2021 e dá as Diretrizes para sua Revisão. Diário Oficial do Município de Florianópolis, Florianópolis, SC. 2017. Disponível em: <

<https://www.pmf.sc.gov.br/sistemas/pmgirs/decreto.php> >

FLORIANÓPOLIS. Prefeitura Municipal. **Decreto nº 18.646, de 04 de junho de 2018**.

Institui o Programa Florianópolis Capital Lixo Zero, o grupo de governança e dá outras providências. 2018. Diário Oficial do Município de Florianópolis, Florianópolis, SC, 04 jun. 2018. Disponível em: <

<http://leismunicipa.is/mbc wd> >

FLORIANÓPOLIS. Prefeitura Municipal. **Lei nº 10501, de 8 de abril de 2019**. Dispõe sobre a obrigatoriedade da reciclagem de resíduos sólidos orgânicos no município de Florianópolis. Florianópolis, Santa Catarina. 2019. Disponível em: < <http://leismunicipa.is/ljpxo> >

FLORIANÓPOLIS. Prefeitura Municipal. **Espaços públicos – Praças Vivas**. Secretaria Municipal de Infraestrutura -SMI. Florianópolis, Santa Catarina. 2022. Disponível em: < <http://espacospublicos.pmf.sc.gov.br/acoes-programas/mapasdarede/reformas-pracas.html>>

FRANÇA. Code de l'environnement. Livre V : Prévention des pollutions, des risques et des nuisances. **Titre Ier : Installations classées pour la protection de l'environnement**. 2022. Disponível em: < https://www.legifrance.gouv.fr/codes/section_1c/LEGITEXT000006074220/LEGISCTA000006143748/ >

FRANÇA. **Norma nº 2780**. Installation de compostage de déchets non dangereux ou matière végétale, ayant, le cas échéant, subi une étape de méthanisation. 2009a. Disponível em: < <https://aida.ineris.fr/reglementation/2780-installation-compostage-dechets-non-dangereux-matiere-vegetale-ayant-cas> >

FRANÇA. **Norma nº 2781**. Installation de méthanisation de déchets non dangereux ou de matière végétale brute, à l'exclusion des installations de méthanisation d'eaux usées ou de boues d'épuration urbaines lorsqu'elles sont méthanisées sur leur site de production. 2009b. Disponível em: < <https://aida.ineris.fr/reglementation/2781-installation-methanisation-dechets-non-dangereux-matiere-vegetale-brute-a> >

RUBEN TEIXEIRA FRANCO, R. BAYARD, PIERRE BUFFIÈRE. An improved methodology to assess the organic biodegradability and the biomethane potential of organic wastes for anaerobic digestion. **6th International Conference on Sustainable Solid Waste Management**, Jun 2018, Naxos, Greece. hal-01945571

Google Earth website. <http://earth.google.com/>, 2009.

HUMAGAIN, U. **Use of GIS to find optimum locations for anaerobic digestion or composting facilities in maine.** 2020. Electronic Theses and Dissertations. 3366. Disponível em: < <https://digitalcommons.library.umaine.edu/etd/3366/> >

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Cidades e Estados:** 2022. Disponível em: < <https://cidades.ibge.gov.br/> >

JOÃO PESSOA. **Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos – PMGIRS.** 2014a. Disponível em: < <http://antigo.joaopessoa.pb.gov.br/secretarias/emlur/plano-municipal-de-residuos-solidos/> >

JOÃO PESSOA. **Plano Diretor de João Pessoa.** Relatório do Diagnóstico Técnico – Fase II. 2021a. Disponível em: < <http://pdjp.com.br/documentos/> >

JOÃO PESSOA. **Lei nº 12.957, de 29 de dezembro de 2014.** Dispõe sobre o plano municipal de gestão integrada de resíduos sólidos no município de João Pessoa e aprova o plano municipal de gestão integrada de resíduos sólidos apreciado pelo comam. 2014b. Disponível em: < <http://leismunicipa.is/hufqn> >

JOÃO PESSOA. **Decreto nº 8886 DE 23/12/2016.** Dispõe sobre a Política Municipal de Resíduos Sólidos do Município de João Pessoa e da outras providências. 2016. Disponível em: < https://www.normasbrasil.com.br/norma/decreto-8886-2016-joao-pessoa_334658.html >

KAZA, S., YAO, L., BHADA-TATA, P., VAN WOERDEN, F. **What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050.** The World Bank, Washington DC. 2018. Disponível em: < <http://hdl.handle.net/10986/30317> >

KENG, Z. X.; CHONG, S.; NG, C. G.; RIDZUAN, N. I.; HANSON, S.; PAN, G.-T.; LAU, P. L.; SUPRAMANIAM, C. V.; SINGH, A.; CHIN, C. F.; LAM, H. L. Community-scale composting for food waste: A life-cycle assessment-supported case study. **Journal of Cleaner Production**, v. 261, 2020.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121220>

KHAN A. H., LOPEZ-MALDONADO E. A., KHAN N. A., VILLARREAL-GOMEZ L. J., MUNSHI F. M., ALSABHAN A. H., PERVEEN K. Current solid waste management strategies and energy recovery in developing countries - State of art review. **Chemosphere**, v. 291. 2022.

<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.133088>

LOHRI, C. R.; DIENER, S.; ZABALETA, I.; MERTENAT, A.; ZURBRUGG, C. Treatment technologies for urban solid biowaste to create value products: a review with focus on low- and middle- income settings. **Reviews in Environmental Science and Bio/Technology**, v. 16, p. 81-130, 2017.

<https://doi.org/10.1007/s11157-017-9422-5>

MARIANI, L. CIBiogas. **Levantamento de unidades de produção de biogás no Brasil para fins energéticos ou Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL)**. Workshop Rede BiogásFert. 2015. Disponível em:

<https://www.embrapa.br/documents/1355242/1529323/Biog%C3%A1sFert+3.pdf/22401089-2007-4ca2-bea5-25a932b2ea49>

MARTÍNEZ-BLANCO, J., COLON, J., GABARRELL, X., FONT, X., SÁNCHEZ, A., ARTOLA, A., RIERADEVALL, J. The use of life cycle assessment for the comparison of biowaste composting at home and full scale. **Waste Management**, v, 30, p. 983-994, 2010.

<https://doi.org/10.1016/j.wasman.2010.02.023>

MILLER, S., WILSON, A., WARBURTON, R. **Implementation of an Urban Community Composting Programme**. EPA STRIVE Report Series No 40. 2013. Disponível em: <

<https://www.epa.ie/>

Odile POULAIN (ADEME), Julien BOUZENOT et Aude CARTOUX (Rudologia),
Novembre 2021. **La collecte des déchets par le service public en France en 2019 :**

résultats clés et zooms thématiques, 46 pages. Disponível em: < <https://librairie.ademe.fr/>

PAI, S., AI, N., ZHENG. Decentralized community composting feasibility analysis for residential food waste: A Chicago case study. **Sustainable Cities and Society**, v, 50, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101683>

PORPINO, G.; LOURENÇO, C. E.; ARAÚJO, C.M.; BASTOS, A. (2018). **Intercâmbio Brasil – União Europeia sobre desperdício de alimentos**. Relatório final de pesquisa. Brasília: Diálogos Setoriais União Europeia – Brasil. Disponível em: < <http://www.sectordialogues.org/publicacao>

RATHORE, P., CHAKRABORTY, S., GUPTA, M., SARMAH, S.P. Towards a sustainable organic waste supply chain: A comparison of centralized and decentralized systems. **Journal of Environmental Management**, v, 315, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.115141>

SARPTAS, H., ALPASLAN, M. N., DOLGEN, D. GIS supported solid waste management in coastal areas. **Water Science and Technology**, v. 51, p. 213-2020, 2005. <https://doi.org/10.2166/wst.2005.0408>

SUFIYAN, I., DASUKI, S. I., KONTAGORA, I. M. Design and development of GIS database for informational awareness on waste disposal in keffi nigeria. **Journal of Environmental Science, Toxicology and Food Technology**, v. 9, p. 46-53, 2015. DOI: 10.9790/2402-091224653

TANGUY A., VILLOT J., GLAUS M., LAFOREST V., HAUSLER R. Service area size assessment for evaluating the spatial scale of solid waste recovery chains: A territorial perspective. **Waste Management**, v. 64, p. 386-396, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.03.027>

THIRIET P., BIOTEAU T., TREMIER A. Optimization method to construct micro-anaerobic digesters networks for decentralized biowaste treatment in urban and peri-urban areas. **Journal of Cleaner Production**, v. 243, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118478>

UE. UNION EUROPÉENNE. Estimates of European food waste levels. **FUSIONS Reducing food waste through social innovation**. Stockholm, 2016.

ISBN 978-91-88319-01-2

UE. UNION EUROPÉENNE. **Règlement (CE) N° 1069/2009 établissant des règles sanitaires applicables aux sous-produits animaux et produits dérivés non destinés à la consommation humaine et abrogeant le règlement (CE) no 1774/2002**. 2009

<http://data.europa.eu/eli/reg/2009/1069/oj>

UE. UNION EUROPÉENNE. **Directive (UE) 2018/851 modifiant la directive 2008/98/CE relative aux Déchets**. 2018a.

<http://data.europa.eu/eli/dir/2018/851/oj>

UE. UNION EUROPÉENNE. **Directive (UE) 2018/850 modifiant la directive 1999/31/CE concernant la mise en décharge des déchets**. 2018b.

<http://data.europa.eu/eli/dir/2018/850/oj>

YALCINKAYA, S., UZER, S., KALELI, H. I., DOĞAN, F., KAYALIK, M. Compost Plant Site Selection for Food Waste Using GIS Based Multicriteria Analysis. **Turkish journal of agriculture - food science and technology**, v. 9, 2021.

<https://doi.org/10.24925/turjaf.v9i10.1908-1914.4614>

YEO, D., DONGO, K., ANGOUA, E. L. E., MERTENAT, A., LÜSSENHOP, P., ZURBRÜGG, C., KÖRNER, I. Combining multi-criteria decision analysis with GIS approaches for decentralized organic wastes composting plants site selection in Tiassalé, Southern Côte d'Ivoire. **Waste Management & Research**, v. 40, 2021.

<https://doi.org/10.1177/0734242X211038173>

ZAMRI, M. F. M. A.; HASMADY S.; AKHIAR A.; IDERIS F.; SHAMSUDDIN A. H.; MOFIJUR M.; FATTAH I. M. R.; MAHLIA T. M. I. A comprehensive review on anaerobic digestion of organic fraction of municipal solid waste. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 137, 2021.

<https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110637>