

ANÁLISE MULTICRITÉRIO PARA IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS ADEQUADAS À IMPLANTAÇÃO DE USINAS DE COMPOSTAGEM: ESTUDO DE CASO DO GLÓRIA DO GOITÁ, PERNAMBUCO

MULTI-CRITERIA ANALYSIS FOR IDENTIFICATION OF SUITABLE AREAS FOR THE IMPLEMENTATION OF COMPOSTING PLANTS: CASE STUDY OF GLÓRIA DO GOITÁ, PERNAMBUCO

Magda Aline da Silva ¹

mf.silva@agronoma.eng.br

Diogo Henrique Fernandes da Paz ²

diogo.paz@cabo.ifpe.edu.br

Andrea Caribé F. Cantarelli ³

adlcaribe@hotmail.com

RESUMO

Desde a produção até o consumo, as empresas de médio e grande porte tornam-se responsáveis por criar estratégias de minimização dos impactos dos resíduos gerados de suas consequentes atividades. Assim, para os resíduos orgânicos, parcerias com empresas que oferecem estrutura para receber e tratar adequadamente esse passivo ambiental transformando-o em solução sustentável implicam em impactos econômicos, sociais e sustentáveis para a população. Contudo, atualmente, em âmbito nacional, não existe nenhuma legislação específica sobre os critérios ambientais que devem ser seguidos para construção de empresas de compostagem. Portanto, esta pesquisa teve como objetivo a realização de uma análise de áreas disponíveis para a construção de uma usina de compostagem no estado de Pernambuco, considerando os aspectos legais, físicos e ambientais para licenciamento ambiental por meio do Sistema de Informação Geográfica (SIG) e álgebra de mapas. Os dados de resíduos de médios e grandes geradores no estado refletiram a carência de informações, em larga escala, dos resíduos orgânicos, o que evidencia um preocupante contexto no estado. A escolha do município do Glória do Goitá foi estratégica para análise, uma vez que o município apresenta abrangência em toda Zona da Mata e Agreste com coleta facilitada nos municípios de maior produção dos resíduos orgânicos; fica próximo a um polo de produção de hortícolas, facilitando a disposição final do composto e apresenta indicadores sociais, econômicos e interesse público favoráveis. Com este tipo de ferramenta, foi possível

identificar áreas adequadas reduzindo os impactos ambientais e abrindo perspectivas para a legislação ambiental no estado com leis e normas para o licenciamento ambiental de empresas de compostagem com base no desenvolvimento sustentável. Todos os critérios ambientais utilizados se mostraram adequados para este tipo de pesquisa, sendo o critério de drenagem o mais limitante. Esta pesquisa apresenta uma valiosa contribuição acerca do uso de geotecnologias como auxílio à gestão de resíduos orgânicos no estado de Pernambuco, sendo recomendada sua replicabilidade para trabalhos futuros.

Palavras-chave: Geotecnologia. Resíduo orgânico. Legislação ambiental.

ABSTRACT

From production to consumption, medium and large companies are responsible for creating strategies to minimize the impacts of waste generated from their consequent activities. Thus, for organic waste, partnerships with companies that offer the structure to properly receive and treat this environmental liability, transforming it into a sustainable solution, imply economic, social and sustainable impacts for the population. However, currently, at the national level, there is no specific legislation on the environmental criteria that must be followed for the construction of composting companies. Therefore, this research aimed to carry out an analysis of areas available for the construction of a composting plant in the state of Pernambuco, considering the legal, physical and environmental aspects for environmental licensing through the Geographic Information System (GIS) and map algebra. The data on waste from medium and large generators in the state reflected the lack of information, on a large scale, on organic waste, which highlights a worrying context in the state. The choice of the municipality of Glória do Goitá was strategic for analysis, since the municipality covers the entire Zona da Mata and Agreste with easy collection in the municipalities with the highest production of organic waste; It is close to a vegetable production hub, facilitating the final disposal of the compost and has favorable social, economic and public interest indicators. With this type of tool, it was possible to identify suitable areas, reducing environmental impacts and opening perspectives for environmental legislation in the state with laws and norms for the environmental licensing of composting companies based on sustainable development. All environmental criteria used proved to be adequate for this type of research, with the drainage criterion being the most limiting. This research presents a valuable contribution on the use of geotechnologies as an aid to the management of organic waste in the state of Pernambuco, and its replicability is recommended for future work.

Keywords: Geotechnology. Organic waste. Environmental legislation.

1 INTRODUÇÃO

A disposição final dos resíduos sólidos urbanos no estado de Pernambuco tem sido realizada, ao longo de muitos anos, de maneira inadequada e com consequências ambientais e sanitárias para a população. Por este motivo, entender o potencial de aproveitamento de cada tipo de resíduo é fundamental para o desenvolvimento adequado das cidades.

Para os resíduos orgânicos, a compostagem é o método de destinação final considerado mais adequado, visto que reflete em menor custo operacional, geração de material estável, com ciclo de retorno fechado e com menor impacto ao meio ambiente, além da possibilidade de geração de empregos para a sociedade.

O Plano Nacional de Resíduos Sólidos - Planares, aprovado recentemente (BRASIL, 2022), estabeleceu como meta (Meta 7 – aumentar a reciclagem da fração orgânica dos RSU) a recuperação da fração orgânica em 13,5% até 2040, com meta para a Região Nordeste de 7,5% até o mesmo período.

Contudo, para construção de uma usina de compostagem atualmente em âmbito nacional, não existe nenhuma legislação específica sobre os critérios ambientais que devem ser seguidos.

Portanto, se faz necessário propor critérios claros para o adequado licenciamento ambiental de unidades de compostagem, de modo a fornecer subsídios de orientação no processo de construção de novas unidades no estado de Pernambuco.

Segundo o IBGE (2000), existem 19 unidades de usinas de compostagem no Nordeste. Esse resultado mostra o quanto é necessário a instalação de novas usinas, bem como, quando correlacionado aos dados com a produção orgânica do estado, reflete a deficiência desse tipo de empreendimento na região.

Segundo o Ministério do Meio Ambiente (MMA) há apenas uma proposta de resolução que define critérios para produção de composto de resíduos sólidos orgânicos e ainda está em fase de aprovação (CONAMA, 2017).

Vochozka *et al.*, (2017) concluem, após uma avaliação técnico-econômica da construção de novas usinas de compostagem, que há impactos ambientais negativos, bem como impactos econômicos adicionais causados devido a uma legislação ambiental desatualizada, obsoleta e contraproducente.

2 OBJETIVO DA PESQUISA

A proposta desta pesquisa é adaptar os critérios ambientais já utilizados para licenciamento de aterro sanitários para a implantação e licenciamento ambiental de unidades de compostagem. Ainda, a pesquisa utiliza ferramentas de sistemas de informação geográficas (SIG) e análise multicritério na identificação das áreas disponíveis para construção de unidades de compostagem de forma estratégica, apresentando o estudo de caso no município de Glória do Goitá/PE, auxiliando assim a destinação final de resíduos orgânicos de grandes geradores no estado de Pernambuco.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS (RSU)

As reflexões de como o aumento populacional das cidades ocorrem com crescimento acelerado e desordenado, aliado a hábitos consumistas indiscriminados, são geralmente direcionados sob um olhar econômico e social, mas atualmente a perspectiva ambiental tem sido uma das mais discutidas.

Isso acontece porque nessa realidade, a exploração de recursos sem precedentes para produção de bens de consumo, impacta e reduz recursos renováveis, como a água própria para o consumo, as florestas e o solo, estimula o uso intensivo de recursos não renováveis e amplia a produção excessiva de lixo urbano que não andam paralelamente com uma destinação final adequada.

Neste contexto, alternativas que promovam a reciclagem, a reutilização e/ou o reaproveitamento de resíduos sólidos são fundamentais e sugerem a procura por disposição final adequada destes detritos, principalmente com a institucionalização da Política Nacional de Resíduos Sólidos - PNRS.

Os RSU são definidos como qualquer material, substância ou bem, nos estados sólido e semi-sólido, originário de atividades domésticas, industriais, comerciais, hospitalares, ou serviços urbanos (ABNT, 2004; SINIR, 2022). Estes, ainda podem ser classificados de acordo com sua periculosidade e toxicidade e caracterizados por sua composição química (BRASIL, 2010).

Uma das formas mais simples de avaliar um RSU é por sua composição química, que pode ser analisado com base em seu estado físico e principal constituinte. Dessa forma, eles podem ser considerados inorgânicos, quando são produzidos sem origem biológica e não apresentam carbono na composição, e orgânicos, quando eles têm origem animal ou vegetal, com atividade biológica envolvida e carbono em sua composição (BRASIL, 2010).

A necessidade de destinação final destes tipos de resíduos é bastante questionada, e a classificação com base na composição química já pode ser determinante para avaliação de um processo ideal para sua utilização adequada, tanto para os resíduos inorgânicos como para os resíduos orgânicos.

Os resíduos inorgânicos e orgânicos eram destinados a lixões até o ano de 2010. Contudo, a PNRS (BRASIL, 2010) determinou que todos os lixões existentes no país deveriam cessar suas atividades até o ano de 2014. Foi então, que surgiu a necessidade de encontrar alternativas para a destinação dos RSU com o menor impacto possível ao meio ambiente e a sociedade civil, uma vez que só devem ser destinados aos aterros sanitários materiais que não possam ser passíveis à reciclagem ou não possam ser reaproveitados (BRASIL, 2010).

Para os resíduos orgânicos, uma das melhores opções de destinação ainda é a compostagem devido a sua reprodutibilidade, tanto em pequena ou grande escala, custo e operacional do processo.

Souza *et al.* (2020) concluíram que o processo de compostagem pode ser realizado em pequena escala e, inclusive, ser utilizado como instrumento de educação ambiental. Peixe e Hack (2014) mostram que o processo é uma solução de baixo custo, eficiente e eficaz, tanto em pequena como em larga escala, e que quando comparado à destinação em aterros sanitários, o processo é o que há de mais moderno em termos ambientais para resíduos orgânicos.

3.2 CENÁRIO DOS RESÍDUOS ORGÂNICOS NO ESTADO DE PERNAMBUCO

A discussão sobre a viabilidade do reaproveitamento dos resíduos orgânicos urbanos e sua destinação final tem sido uma das principais pautas sobre a qualidade ambiental (BRIASSOULIS *et al.*, 2010; SANTOS *et al.*, 2014; ZAGO; BARROS, 2019).

Essa discussão é maximizada quando é realizada uma contextualização dos dados e informações, ainda que defasadas, dos resíduos orgânicos no estado de Pernambuco. O Plano Estadual de Resíduos Sólidos – PERS estimou que em 2020 56,46% de todo o resíduo gerado no estado seria de origem orgânica, o que seria equivalente a 2.323.908,7 t ano⁻¹ (BRASIL, 2010). Essa porcentagem supera o valor nacional apresentado pela ABRELPE (2020) em que a fração orgânica é o principal componente com 45,3% dos resíduos gerados.

Considerando que no Brasil apenas 1% dos resíduos orgânicos tiveram destinação final adequada indo para unidades de compostagem (ABRELPE, 2019), que o custo operacional médio para depósito em aterro em Pernambuco é de R\$ 50,68 por tonelada (TCE, 2019) e que cada quilo de matéria orgânica apresenta 70% de água (MILLER, 1993), estima-se que o estado de Pernambuco gastou R\$ 74.198.686,54 para aterrar água (PERNAMBUCO, 2012).

As cidades da região metropolitana do Recife, juntos, apresentam uma média de produção de orgânicos de 52,6%, com destaque para os municípios do Recife, Cabo de Santo Agostinho, Jaboatão dos Guararapes, Moreno e Igarassu com 72,9%; 71,1%; 70,1%; 63,3% e 63%, respectivamente (PERNAMBUCO, 2018). Esses dados mostram o quanto essa região tem uma alta produção do lixo orgânico, sendo superior aos dados do estado de Pernambuco.

Ainda nesta perspectiva, para atender as exigências impostas pela legislação ambiental, os objetivos de desenvolvimento sustentável e a PNRS, que sugere fomentar a maximização do aproveitamento dos resíduos orgânicos para a compostagem, os municípios devem realizar a gestão e gerenciamento dos resíduos orgânicos. Dentre as principais soluções para este tipo de resíduos, estão a digestão anaeróbica e a compostagem (LIN *et al.*, 2018).

No entanto, a compostagem é a solução mais economicamente favorável para a destinação final de resíduos orgânicos, especialmente em grande escala, por que utiliza técnicas de processos naturais e gera como produto um material estável e rico em nutrientes com menor impacto ao meio ambiente (SIQUEIRA; ASSAD, 2015; PERGOLA *et al.*, 2018; LIN *et al.*, 2019).

No Brasil, o exemplo mais conhecido sobre a obrigatoriedade de destinação de lixo orgânico para compostagem está em Florianópolis, Santa Catarina. Conhecida como a Revolução dos Baldinhos, é um projeto no qual famílias e instituições separam

seus resíduos orgânicos em baldes, e levam até pontos de entrega voluntária que ficam distribuídos pela comunidade e em troca recebem o composto produzido para fertilização de hortas nos seus espaços disponíveis (FARIAS, 2010).

A necessidade dessa destinação correta dos materiais orgânicos surgiu a partir de um surto de leptospirose na comunidade do Monte Cristo, região continental da cidade devido ao acúmulo de lixo orgânico na cidade que não contava com coleta adequada. Assim, no ano de 2019 foi instituída a lei municipal Nº 10.501, de 08 de abril de 2019, que regulamenta a obrigatoriedade na cidade da destinação correta dos resíduos orgânicos (FLORIANÓPOLIS, 2019).

Dessa forma, é possível enxergar a possibilidade futura desse trabalho de reciclagem orgânica e de educação ambiental da população estar presente em outros municípios e estados, com o estímulo do desenvolvimento de uma logística reversa e de uma legislação ambiental mais assertiva sobre o assunto.

3.3 COMPOSTAGEM DOS RESÍDUOS ORGÂNICOS

Segundo Pires e Ferrão (2017) a Constituição Federal e a Política Nacional do Meio Ambiente colocam a compostagem em ordem prioritária porque esta apresenta maiores vantagens ambientais e sociais. Ainda, é considerada uma forma viável porque o produto gerado apresenta alto valor agregado na agricultura urbana e rural, e considerada apropriada porque o processo é responsável por fechar o ciclo orgânico de forma estrategicamente sustentável e com impacto positivo na comunidade (SIMON-ROJO; DUŽÍ, 2018).

Contudo, Zago e Barros (2019) avaliaram a realidade jurídica do Brasil em relação a aplicação dos princípios e objetivos da PNRS e sua associação com o Plano Nacional de Resíduos Sólidos e os Planos Plurianuais de Destinação Orçamentária da União e mostram que os resíduos orgânicos são pouco inseridos nas normativas e não apresentam nenhuma ação ou programa específico.

Em ambientes urbanos, os resíduos orgânicos representam os resíduos não perigosos advindos das residências, mas também incluem resíduos da limpeza urbana, supermercados, lanchonetes, feiras livres e indústrias dos quais são considerados médios e grandes geradores desse produto (BRASIL, 2010).

Esses grandes geradores desempenham papel fundamental no processo de reaproveitamento dos resíduos orgânicos, isso porque o poder privado tem uma responsabilidade compartilhada com o poder público pelo gerenciamento e pelo ciclo de vida dos resíduos orgânicos (BRASIL, 2022). Desde a produção até o consumo, as empresas se tornam responsáveis por criar estratégias de minimização dos impactos dos seus resíduos orgânicos, de modo a evitar penalidades futuras.

Neste sentido, parcerias com empresas que oferecem estrutura completa para receber e tratar adequadamente os resíduos orgânicos, a exemplo das usinas de compostagem, ainda são a melhor forma de transformação desse passivo ambiental em solução.

A compostagem é um processo bioquímico, de degradação biológica de materiais orgânicos de característica heterogênea, durante o qual há atuação de vários grupos de microrganismos em um processo de fermentação sólida e que gera um material estável e rico em nutrientes, podendo ser utilizado como fertilizante orgânico (LOBO; DORTA, 2019; CHEN et al., 2020). Ou seja, a compostagem é um processo de reciclagem desses materiais orgânicos

Em relação aos fatores que afetam o processo são citados principalmente a temperatura, o pH, o teor de umidade e a razão de nitrogênio carbônico (C:N) como principais parâmetros (CHEN et al., 2020). Sayara et al. (2020) explicam que este material é importante aliado à agricultura pois contribui com a produtividade das culturas, equilíbrio do solo melhora a fertilidade do solo e da atividade da microbiota além de ser um importante aliado na estrutura e armazenamento de água. Esses são importantes fatores para um cultivo agrícola mais sustentável.

4 METODOLOGIA

4.1 Levantamento de dados de médio e grandes geradores de resíduos sólidos orgânicos do estado de Pernambuco

A escolha do município para estudo da implantação da usina de compostagem foi realizada conforme a sua localização estratégica, conforme critérios a seguir:

1. Coleta facilitada dos resíduos orgânicos da região metropolitana do Recife e Agreste e sertão do estado de Pernambuco, conforme resultados obtidos;
2. Disposição final de uso deste composto na agricultura, e neste sentido, o local deve ser implantado próximo a um local de produção agrícola no estado;
3. Logística dos materiais, indicadores sociais, econômicos e interesse público do assunto considerando a abrangência em toda Zona da Mata e Agreste.

Portanto, para atender esses critérios e para fins do estudo locacional, foi escolhido o município de Glória do Goitá que é um local estratégico para coleta dos resíduos e próximo a Vitória de Santo Antão, uma das principais microrregiões de produção hortifrutigranjeiro do estado de Pernambuco (CONAB, 2022).

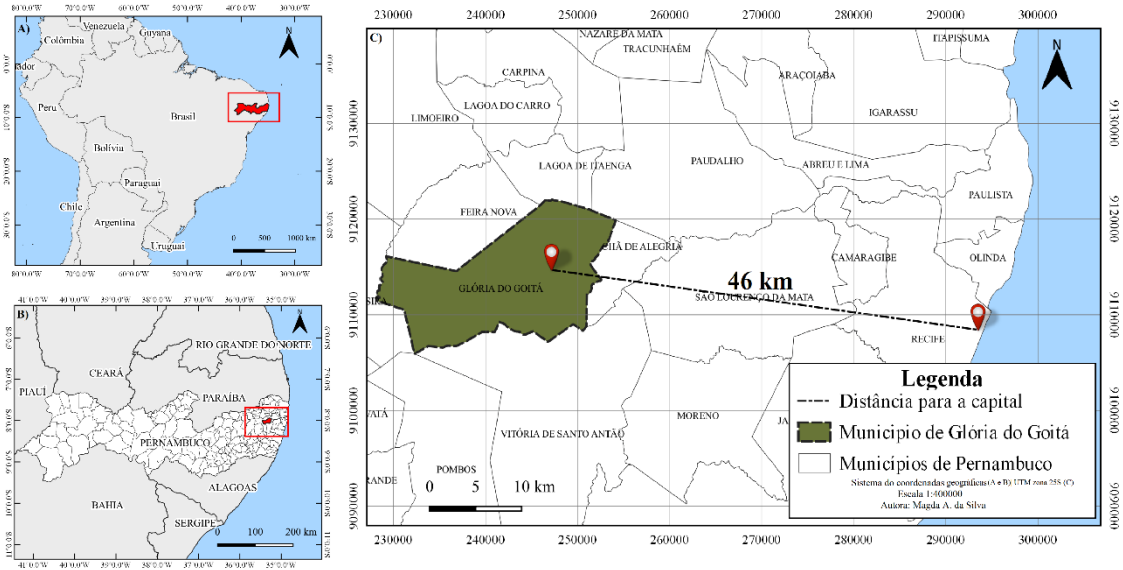
Para isto, foram identificados os polos de maior produção de resíduos orgânicos a partir do levantamento de dados de produção de médio e grandes geradores de resíduos pautada nos dados do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis – IBAMA.

Foram considerados a produção média dos anos de 2012 a 2019 de resíduos orgânicos não perigosos nos municípios do estado e que incluíssem resíduos vegetais, industriais, industriais fora do padrão ou impróprio para consumo, lodos, resíduos de cozinhas, resíduo de cantinas, descasque e podas de árvores e de limpeza e serviços urbanos.

4.2 Caracterização locacional e aspectos socioeconômicos

O município de Glória do Goitá está localizado na mesorregião Mata e na Microrregião de Vitória de Santo Antão do Estado de Pernambuco. Apresenta limites ao norte com Feira Nova, Lagoa de Itaenga e Paudalho, ao sul com Vitória de Santo Antão, ao leste com Chã de Alegria, e ao oeste com Passira (Figura 1).

Figura 1. Localização do município de Glória do Goitá no estado de Pernambuco, com destaque para a distância média do município para a capital do estado.



O município está localizado a 46 km da capital e apresenta localização geográfica estratégica que contempla empreendimentos industriais da Região Metropolitana do Recife (RMR), zona da mata e agreste do estado e que podem ter seus resíduos orgânicos coletados e reaproveitados.

Sua área municipal ocupa 234,21 km², o que representa 0,24 % do Estado de Pernambuco (IBGE, 2010). A altitude da sede com relação ao mar é de 158 m, com bacia hidrográfica que compreende a área de contribuição do rio Capibaribe e que apresenta como principal açude da cidade o Goitá com 52.000.000 m³. Os cursos de água apresentam regime intermitente e drenagem dendrítica (ANA, 2022).

O município é composto em sua área total pelo bioma Mata Atlântica (IBGE, 2010). Situa-se em uma zona de transição entre a região fisiográfica de mata/litoral mais úmida e de agreste mais seco com período chuvoso ocorrendo de março a julho (GAMBÁ, 2012; IBGE, 2019). Esses diferentes tipos climáticos condicionam diferentes níveis de déficit hídrico e presença de vegetação que variam conforme à flora, à fisionomia e grau de caducidade.

De acordo com o CPRM (2005b), a primeira região é caracterizada por apresentar vegetação original de floresta subperenifólia com clima subtropical úmido, precipitação que varia de 1000 a 1700 mm e umidade de 70 a 80%. Já a segunda região apresenta vegetação original de floresta caducifólia com clima tropical subúmido seco, precipitação que varia de 700 a 1300 mm e umidade de 65 a 76%.

Além do clima propício ao processo de compostagem, Glória do Goitá apresenta grande parte do seu território de área rural com superfícies suave onduladas a onduladas e com presença de solos arenosos como planossolos, mas também solos argilosos como argissolos, luvisolos e latossolos (EMBRAPA, 2018).

Dentre os principais indicadores socioeconômicos, podemos destacar os que são apresentados na tabela 1.

Tabela 1. Principais indicadores sociais do município do Glória do Goitá/PE

Indicador	
População	30.847 pessoas
Densidade demográfica	125,17 hab/km ²
IDHM	0,604
PIB per capita	R\$ 14.973,38
População ocupada	8,9%
Salário médio mensal	2 salários
Mortalidade infantil	19,23
Esgotamento sanitário	34,2%
Urbanização de vias públicas	16,7%

Fonte: IBGE, 2010

É possível observar que o município tem uma densidade demográfica, PIB *per capita* e IDHM médio, mas apresenta baixo índice da população empregada, baixo acesso à esgotamento sanitário e altíssima mortalidade infantil.

4.3 Levantamento de dados para análise espacial

A pesquisa foi desenvolvida a partir de levantamento de dados que continham informações vetoriais e *raster* de mapeamentos atuais da rede hidrográfica de drenagem e açudes, áreas urbanas, vias de acesso, malha viária, geologia, pedologia, declividade e planialtimetria.

Para coleta e análise dos dados, estes foram obtidos junto à órgãos públicos como o Instituto Brasileiro de Geografia e estatística – IBGE, Agência Estadual de Meio Ambiente – CPRH, Embrapa Solos e Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE.

Após a coleta, foram realizadas a edição e adequação dos dados para o processamento na análise espacial e a elaboração de planos de informação de restrição. Toda a análise espacial foi realizada no software QGIS na versão 3.16. Por último, foi realizada a identificação das áreas e feita a análise dos resultados obtidos.

4.4 Análise estratégica de decisão: Estabelecimento de critérios

4.4.1 Critérios restritivos (áreas de restrição)

Os processos de decisão para construção de uma usina de compostagem foram realizados para satisfazer objetivos que foram desenvolvidos com base na avaliação de vários critérios. Trata-se, essencialmente, de um processo de decisão de natureza “multicritério”, no qual diversos atributos do problema são considerados na avaliação de um local.

Por meio da análise multicritério é possível considerar ao mesmo tempo diversos critérios ambientais no estudo que podem ser classificados em restrições ou fatores. Essa análise permite que projetos de localização de áreas para determinadas atividades sejam possíveis (GRABSKI; FARINA, 2018). A escolha da análise multicritério no presente trabalho ocorreu devido a maior adequabilidade para o estudo realizado.

Felicori *et al.* (2016) conseguiram identificar áreas disponíveis para a construção de sistemas de disposição de resíduos, utilizando ferramentas de sistemas de informação geográficas (SIG) e análise multicritério com base em critérios socioeconômicos e diversas restrições legais vigentes.

Para a avaliação desenvolvida, foram considerados fatores de natureza contínua e representam uma variação de aptidão, qualificando as áreas de acordo com as características relevantes ao estudo. Também foram consideradas restrições para áreas, determinadas a partir da distância para cada fator ou tipo. Para localização das áreas mais adequadas à instalação da usina de compostagem, foi realizado o estudo por meio da utilização de ferramentas de geoprocessamento, de acordo com a norma NBR 13.986/2004.

Conforme destacado anteriormente, inicialmente caracterizou-se a área do município no que diz respeito a drenagem, áreas urbanas, vias de acesso, pedologia e declividade. De posse desses dados, foram aplicados os critérios ambientais adaptados e descritos.

Tabela 2. Critérios de pontuação para aptidão da localização de usina de compostagem (Adaptada pelo autor da NBR 13.896/2003).

Tabela de pontos		
Drenagem	Dr < 200 m	0
	200 < Dr < 500 m	3
	Dr > 500 m	5
Área urbanas	Dr < 500 m	0
	500 < Dr < 800 m	3
	Dr > 800 m	5
Vias	Dr > 600 m	0
	200 < Dr < 600 m	3
	Dr < 200 m	5
Pedologia	Arenoso (Neossolo, Cambissolo, Espodossolo, Gleissolo, Cambissolo e Plintossolo)	0
	Médio-argiloso (Luvissolo, Planossolo, Vertissolo, Chernossolo, Organossolo)	3
	Argiloso (Latosolo, Argissolo, Nitossolo)	5
Declividade	Dec > 8%	0
	Dec < 3%	3
	3% < Dec < 8%	5

Para representação, foram utilizados valores de 0, 3 ou 5 que são, respectivamente, a determinação de critérios para não recomendado, recomendado com restrições e recomendado. Dessa forma, foi possível identificar as áreas aptas e remover as áreas inaptas da análise, por meio da realização de álgebra de mapas.

4.4.2 Fator planialtimetria

Para adequar o fator de distância dos cursos d'água, de acordo com o regime intermitente dos rios locais de Glória do Goitá, foi utilizado o Mapa de planialtimetria e investigação de prevalência dos rios (perenes, temporários ou efêmeros). Neste sentido, foram utilizados os dados do IBGE, conforme é apresentado na figura 2.

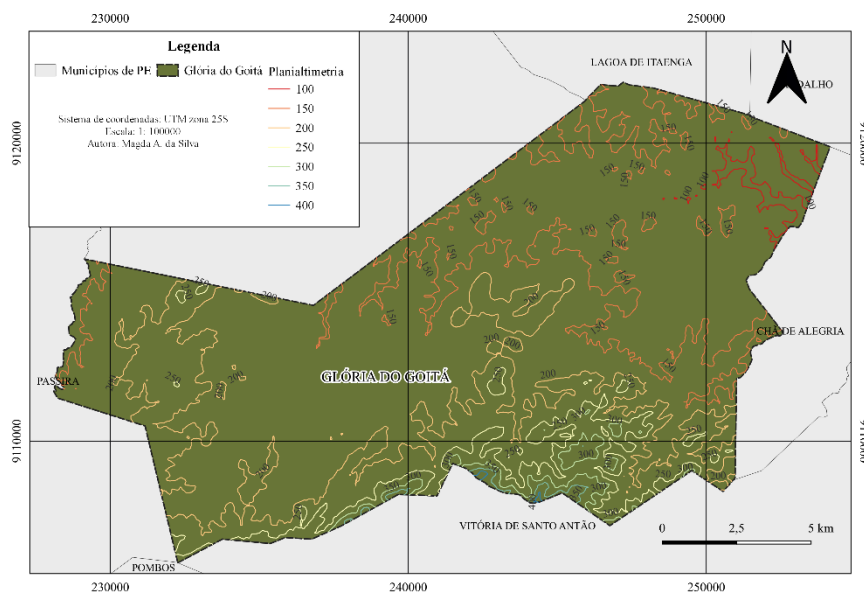


Figura 2. Planialtimetria do município de Glória do Goitá, estado de Pernambuco.

4.5 Identificação das áreas e análise dos dados obtidos

A identificação das áreas para implantar o pátio de compostagem deve estar de acordo com o zoneamento ambiental e urbano do município (FAPESC, 2017). Contudo, para o município de Glória do Goitá não foi encontrado um Plano Diretor de Zoneamento definido. Assim, para a escolha do novo local de instalação da usina de compostagem foram considerados os seguintes aspectos:

- a) Área do terreno com mais de 10 hectares pensando na instalação de uma usina de compostagem de grande porte (quantidade a ser tratada de mais de 50 t/dia);
- b) Local com terreno plano;
- c) Estar localizado em zona rural;
- d) Estar afastado de aglomerados residenciais, escolas, hospitais e centros comerciais em um raio de mais de 3 km;
- e) Infraestrutura de acesso viário em boas condições de trafegabilidade, mesmo em situações de chuva.

Desta forma, os critérios citados para construção da usina de compostagem consideram características importantes de avaliação ambiental para a seleção das

áreas, assim como vias de acesso com boas condições de trafegabilidade ao longo do ano, respeito às distâncias mínimas estabelecidas, uso de áreas com características hidrogeológicas, geográficas e geotécnicas adequadas ao uso pretendido e prevenção e minimização dos impactos ambientais.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Produção de resíduos orgânicos em Pernambuco

De acordo com o IBAMA, para os resíduos orgânicos não perigosos produzidos no estado de Pernambuco a partir de médios e grandes geradores, foram identificadas 98 empresas declarantes em 42 municípios, o que representa apenas 22,70% dos municípios do estado.

No ano de 2019, o número de indústrias no estado de Pernambuco era de 12.690, o que representava 2,7% das indústrias do país (Perfil da Indústria nos Estados, 2019). Deste total, 14,9% são indústrias alimentícias, o que corresponde a 1891 indústrias (BDE, 2019) e que geram resíduos orgânicos em seus processos industriais. As indústrias declarantes no MMA correspondem a 0,77% do total de indústrias alimentícias em todo estado de Pernambuco. Ainda é preciso destacar que esse total ainda não contabiliza atividades que englobam resíduos de cozinhas, cantinas, descasque de podas de árvores e de limpeza em serviços urbanos que também são considerados médio a grandes geradores de resíduos orgânicos.

Portanto, os resultados obtidos sobre a geração de resíduos no estado de Pernambuco refletem a carência de dados em larga escala dos resíduos orgânicos e identifica um cenário preocupante na declaração dos dados em todo estado.

Neste contexto, com a PNRS instituída pela lei nº. 12.305, de 2 de agosto de 2010 e regulamentada pelo Decreto nº. 10.936, de 12 de janeiro de 2022, houve a criação da plataforma do Sistema Nacional de Informações Sobre a Gestão dos Resíduos Sólidos (SINIR) com o objetivo disponibilizar informações referentes dos resíduos de forma ágil e sistematizada.

A partir da conclusão desta plataforma, houve a nacionalização da emissão dos manifestos de transporte de resíduos que está sendo alimentada desde janeiro de 2021 de forma obrigatória em tempo real (SINIR, 2022). Dessa forma, o sistema traz funções inovadoras e soluções que podem mitigar ou resolver os problemas mais centrais sobre a declaração de dados de forma mais concreta dos resíduos, bem como

a apresentação de dados e informações que permitirão o conhecimento da situação atual dos resíduos orgânicos pela sociedade.

Mesmo com os dados do IBAMA defasados, de acordo com a figura 3, observa-se que os municípios que apresentaram maiores índices de geração de resíduos foram Petrolina, Abreu e Lima, Vitória de Santo Antão, Jaboatão dos Guararapes, Caruaru e Igarassu. Juntos, esses municípios respondem por mais de 90% da produção de orgânicos de médios e grandes produtores.

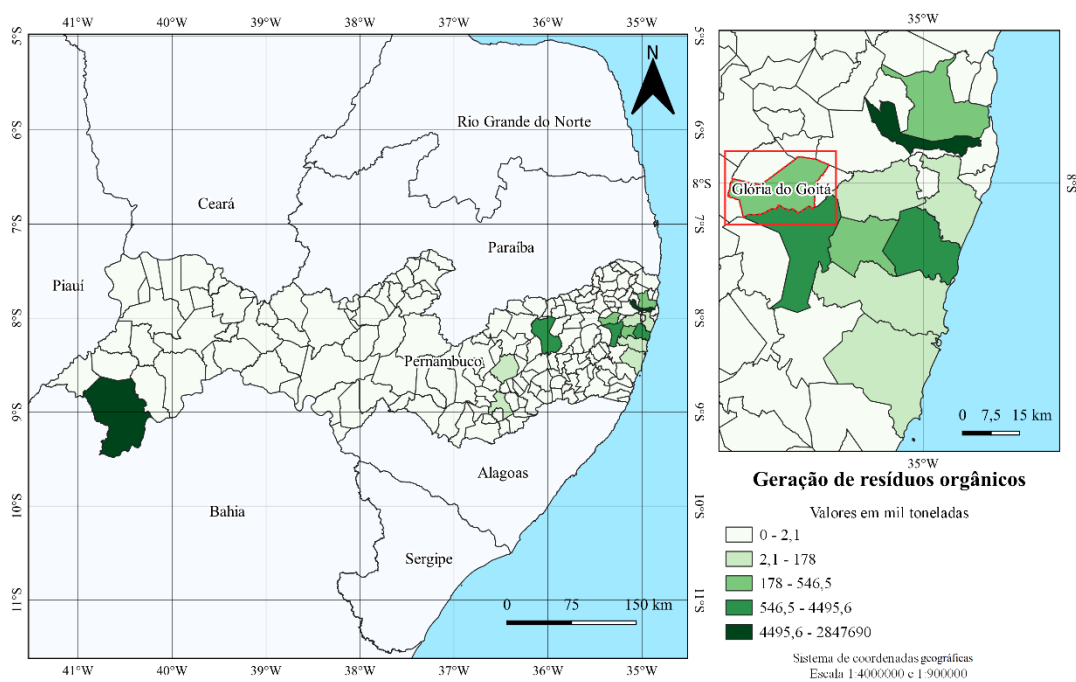


Figura 3. Geração de resíduos orgânicos de médios e grandes geradores nos municípios do estado de Pernambuco.

Assim, devido à localização estratégica do município, logística dos materiais, indicadores sociais, econômicos e interesse público do assunto, o município de Glória do Goitá foi escolhido para desenvolver a análise de avaliação de áreas aptas e critérios ambientais para a construção de uma usina de compostagem considerando sua abrangência em toda Zona da Mata e Agreste.

5.2 Planos de informações finais: Arranjos territoriais ótimos

Nas Figuras 4 e 5, são apresentadas todas as avaliações dos critérios ambientais quanto as áreas aptas, aptas com restrições e inaptas obtidas após a

análise. Foram realizadas as análises separadamente das áreas urbanas, drenagem, pedologia, vias urbanas e declividade no programa QGIS para o município do Glória do Goitá.

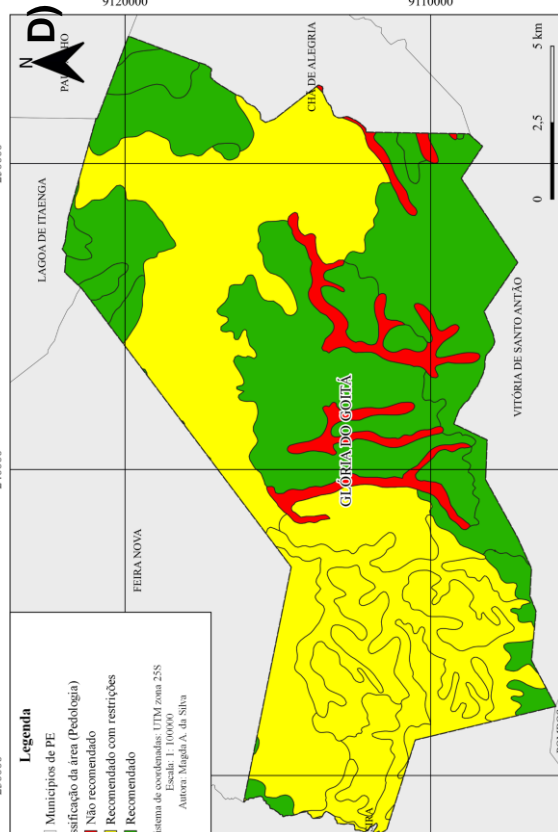
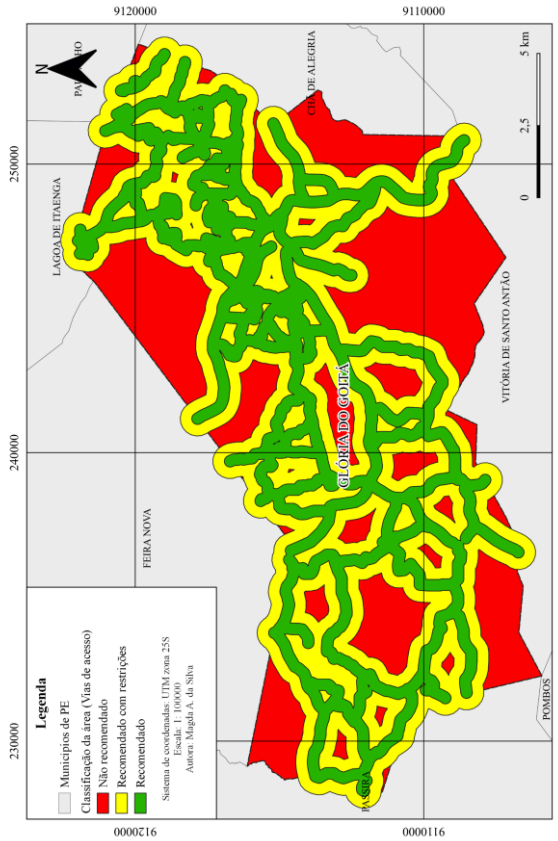
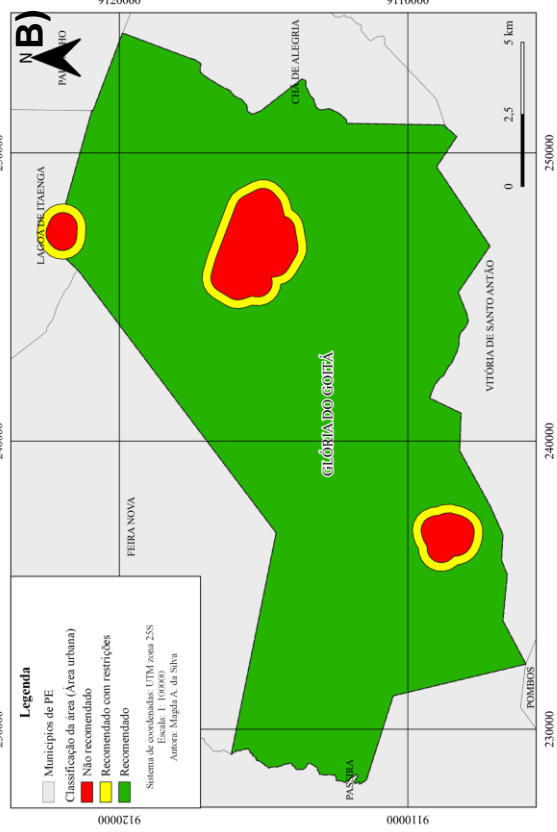
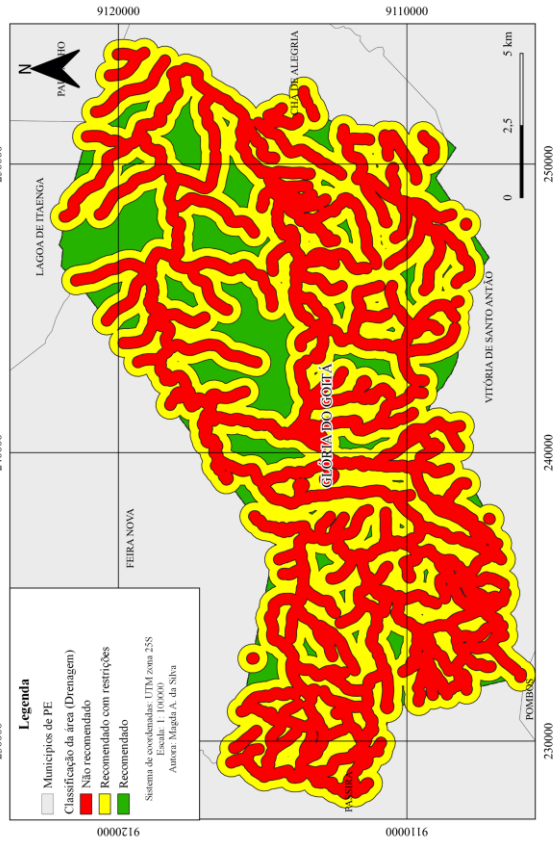


Figura 04. Classificação das áreas para critérios ambientais no município de Glória do Goitá, estado de Pernambuco: A) áreas urbanas; B) drenagem; C) pedologia D) vias urbanas.

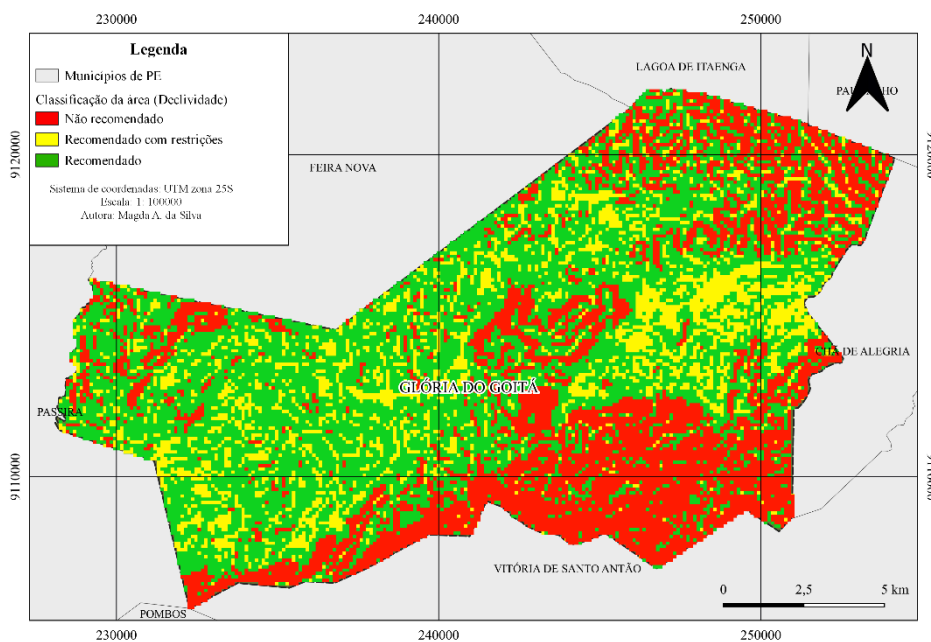


Figura 5. Classificação das áreas para critérios ambientais relacionados à declividade no município de Glória do Goitá, estado de Pernambuco.

É observado que o critério ambiental que mais limitou as áreas para instalação da usina de compostagem foi o critério de drenagem, apresentando 47,7% das áreas inaptas e 43% de áreas aptas com restrições, o que representa 90,7% de toda a área do município. Para adequar essas áreas aptas com restrições, foi utilizado o mapa de planialtimetria, uma vez que o município compreende cursos d'água que tem regime de escoamento intermitente, mas em alguns locais há variação das cotas ao longo do comprimento das áreas de drenagem em que o acúmulo de água permanece de forma efêmera (CPRM, 2005b).

O critério que menos limitou a construção da usina de compostagem foi o critério de área urbana com 72,8% das áreas aptas. O município de Glória é composto por quase 225 000 km² de área rural, o que corresponde a 96% da área total do município. Isso explica o porquê de ser o critério que menos limitou a análise multicritério realizada e reflete uma característica importante para considerar no desenvolvimento do município.

Santos *et al.* (2012) discutem que a relação de área rural e urbana de um município deve ser avaliada como um critério ambiental, uma vez que alguns fatores ou restrições são observados de forma diferente nas duas realidades e podem impactar a fragilidade social de forma diferente nesses ambientes.

Os demais critérios apresentaram áreas aptas de 31,9%; 41,2% e 49,9% para vias urbanas, pedologia e declividade, respectivamente. Ainda, os mesmos critérios apresentaram áreas aptas com restrições de 38,3%; 53,4% e 17,5% o que somou áreas de 70,2%; 94,6% e 67,4% de todo o território do município.

Após a análise multicritério, no qual todos os critérios ambientais foram sobrepostos e a drenagem adequada de acordo com a planialtimetria, foram observados 7,87% de áreas aptas para a construção de uma usina de compostagem conforme apresenta a figura 6.

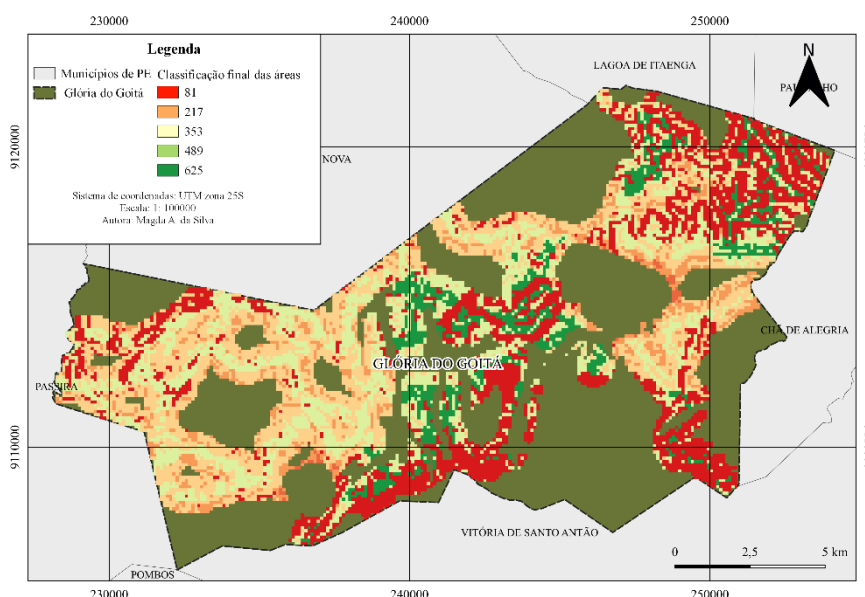


Figura 6. Classificação final das áreas para critérios ambientais relacionados à drenagem, área urbana, vias de acesso, pedologia e declividade para implantação do projeto de compostagem.

Após essa análise espacial computadorizada, foram realizadas avaliações dos critérios específicos no Google Earth e foram realizadas visitas presenciais para análise de características, como: área do terreno com mais de 10 hectares e plano; estar localizado em zona rural; estar afastado de aglomerados residenciais, escolas, hospitais e centros comerciais e infraestrutura de acesso viário em boas condições de trafegabilidade, mesmo em situações de chuva.

Essa análise se torna importante para viabilizar a implantação do empreendimento industrial de forma mais assertiva.

Dessa forma, foi identificado o melhor local para construção da usina de compostagem com localização 7° 59' 11" S e 35° 15' 58" W, com elevação de 138,96 m em relação ao nível do mar, como mostra na figura 7 e 8.



Figura 7. Classificação das áreas para critérios ambientais relacionados à declividade no município de Glória do Goitá, estado de Pernambuco (Fonte: Google Earth).

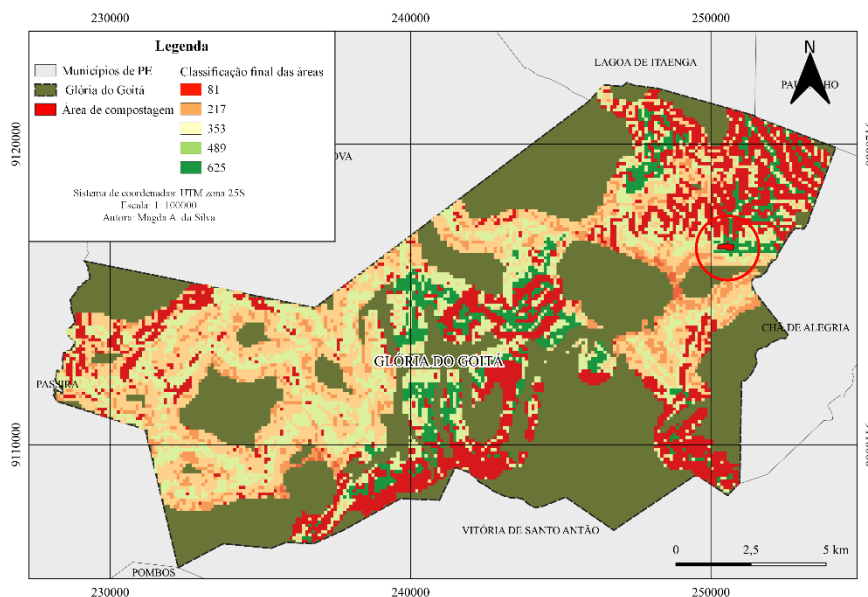


Figura 8. Classificação final das áreas para critérios ambientais com indicação da área para implantação da usina de compostagem no município de Glória do Goitá.

É importante ressaltar que o local atendeu a todos critérios ambientais previstos nas normas, mostrando que a análise pode ser uma ferramenta adequada para indicação de áreas aptas. Outros trabalhos de pesquisas também utilizaram a tecnologia GIS para identificar melhores áreas de implantação de aterros sanitários, como Carrilho *et al.* (2018), Dutra *et al.* (2019), Felicori *et al.* (2016) e Rocha *et al.*, (2015), consolidando o emprego da tecnologia na seleção e mapeamento de áreas.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A implantação de uma usina de compostagem no município do Glória do Goitá torna-se estratégico por atender toda a demanda de produção do estado de Pernambuco e não apresentar um custo elevado pela rota de escoamento logístico da geração dos resíduos. Também, a construção de uma unidade de compostagem irá trazer renda e desenvolvimento para o município de forma a auxiliar nos indicadores sociais.

Utilizando as ferramentas SIG foi possível identificar, por meio de análises espaciais e multicritérios, áreas adequadas para a implantação de uma usina de compostagem no município de forma eficaz e de baixo custo. Portanto, é recomendada a reaplicabilidade da metodologia para trabalhos futuros.

Ainda, o estudo representa uma identificação de áreas para a construção de usinas de compostagem. Contudo, as áreas selecionadas como aptas podem apresentar outras características que podem inviabilizar a sua utilização para a disposição de resíduos, e por isso, estas devem ser analisados e avaliadas (validadas) in situ.

O local destacado como melhor área para implantação é de interesse ambiental, social e econômico para o município do Glória do Goitá. Por isso, parcerias foram realizadas entre a prefeitura do município e uma empresa privada para que a unidade seja viabilizada e construída, visando um futuro promissor para o município quanto aos aspectos ambientais e sociais.

Assim, conclui-se que, este estudo apresenta uma valiosa contribuição para o desenvolvimento de pesquisas acerca do uso de geotecnologias como auxílio à gestão de resíduos orgânicos no estado de Pernambuco, abrindo-se perspectivas para a legislação ambiental no estado quanto ao assunto.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRELPE. Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais, 2020. **Panorama 2020**. Disponível em: <<https://abrelpe.org.br/>>.

ABRELPE. Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais, 2019. **Panorama 2018/2019**. Disponível em: <<https://abrelpe.org.br/>>.

ANA. Agência Nacional de Águas. **Banco de Dados de Outorgas**. Disponível em: <<https://www.gov.br/ana/pt-br>>. Acesso em: 10 jul. 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (2004) ABNT NBR 10004: Resíduos Sólidos - Classificação. Rio de Janeiro/RJ.

BDE. Base de dados do estado 2019. Disponível em: <http://www.bde.pe.gov.br/visualizacao/Visualizacao_formato2.aspx?CodInformacao=876&Cod=3>. Acesso em: 20 nov. 2021.

BRASIL. Decreto nº 10.936, de 12 de janeiro de 2022. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. Diário oficial da união, Brasília, 12 jan. 2022. disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2019-2022/2022/Decreto/D10936.htm#art91>. acesso em: 06 jul. 2022.

BRASIL. Lei nº 12.305, de 02 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. Diário oficial da união, Brasília, 03 ago. 2010. disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm>. acesso em: 30 out. 2021.

BRASIL. Plano Nacional de Resíduos Sólidos. Ministério do Meio Ambiente. Brasília, 2022.

BRIASSOULIS, D., DEJEAN, C., & PICUNO, P. Critical review of norms and standards for biodegradable agricultural plastics Part II: Composting. **Journal of Polymers and the Environment**, v. 18, n. 3, p. 364–383, 2010. <<https://doi.org/10.1007/s10924-010-0222-z>>.

CARRILHO, A. N.; CANDIDO, H. G.; SOUZA, A. D. Geoprocessamento aplicado na seleção de áreas para a implantação de aterro sanitário no município de Conceição das Alagoas (MG), Brazil. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 23, n. 1, p. 201–206, p. 2018. <<https://doi.org/10.1590/s1413-41522018142980>>.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Boletim Hortifrutigranjeiro.v. 7, , v. 8, n. 7, Brasília: CONAB, 2022, 62 p.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE - CONAMA. Resolução n.º 481 de 03 de outubro de 2017. Estabelece critérios e procedimentos para garantir o controle e a qualidade ambiental do processo de compostagem de resíduos orgânicos, e dá outras providências. Publicada no D.O.U de 2017.

CHEN, T.; ZHANG, S.; YUAN, Z. Adoption of solid organic waste composting products: A critical review. **Journal of Cleaner Production**, 122712, 2020.

CPRM. SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. **Relatório anual de atividades 2005**. Rio de Janeiro: CPRM, 2005a.

CPRM. SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. **Diagnóstico do município de Glória do Goitá**. Recife: CPRM, 2005b.

Dados do perfil da indústria dos estados. Disponível em: <<https://perfildaindustria.portaldaindustria.com.br/estado/pe>>. Acesso em: 20 de nov. 2021.

DUTRA, D. J.; SILVA, L. M. R. E; VIMIEIRO, G. V.; COELHO, C. W. G. A. Seleção de área para construção de aterro sanitário no município de Esmeraldas, MG, a partir da utilização de ferramentas de geoprocessamento. **Rev. Geogr. Acadêmica**, v.13, n.2, p. 106-118, 2019.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS)**. Brasília:DF, EMBRAPA, 412p. 2018.

FAPESC. Fundação de Amparo à Pesquisa de Santa Catarina. **Critérios técnicos para elaboração de projeto, operação e monitoramento de pátios de compostagem de pequeno porte**. FAPESC, 48 p. 2017.

FARIAS, E. **Revolução dos Baldinhos: Um modelo de gestão comunitária de resíduos orgânicos que promove a agricultura urbana**. 2010. 70 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Agronomia) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2010.

FELICORI, T. DE C.; MARQUES, E. A. G.; SILVA, T. Q.; PORTO, B. B.; BRAVIN, T. C.; SANTOS, K. M. C. Identificação de áreas adequadas para a construção de aterros sanitários e usinas de triagem e compostagem na mesorregião da Zona da Mata, Minas Gerais. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 21, n. 3, p. 547–560, 2016. <<https://doi.org/10.1590/S1413-41522016146258>>.

FLORIANOPOLIS. Lei nº 10.501, de 08 de abril de 2019. Dispõe sobre a obrigatoriedade da reciclagem de resíduos sólidos orgânicos no município de

Florianópolis. Leis municipais de Florianópolis, Florianópolis, 08 abr. 2019. Disponível em: <https://leismunicipais.com.br/a/sc/f/florianopolis/lei-ordinaria/2019/1051/10501/lei-ordinaria-n-10501-2019-dispoe-sobre-a-obrigatoriedade-da-reciclagem-de-residuos-solidos-organicos-no-municipio-de-florianopolis>>. acesso em: 10 ago. 2022.

GAMBÁ. Grupo Ambientalista da Bahia. **Plano municipal com servação e recuperação da Mata Atlântica de Glória do Goitá - Pernambuco**. 84 p., 2012. Disponível em: <https://www.gamba.org.br/wp-content/uploads/2014/07/plano-GI%3c3%b3ria-do-Goit%3c3%a1.pdf>>.

GRABSKI, K. R.; FARINA, F. Modelo espacial para seleção de áreas adequadas à expansão urbana baseado em Avaliação Multicritério e Sistemas de Informação Geográfica. Caso do Município de Monte Belo do Sul, RS. **Ambiência**, Paraná, v. 14, n. 2, 617 p.282-299, 2018.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Pesquisa Nacional de Saneamento Básico, 2000. Disponível em: http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/condicaoadevida/pnsb/lixo_coletado/lixo_coletado109.shtm>. Acesso em: 20 nov. 2021.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. IBGE Cidades 2010. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 15 nov. 2021.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Dados do IBGE 2019. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/informacoes-ambientais/estudos-ambientais/15842-biomas.html?=&t=downloads>>. Acesso em: 07 jul. 2020.

LIN, L., XU, F., GE, X., & LI, Y. Biological treatment of organic materials for energy and nutrients production—Anaerobic digestion and composting. **Advances. Bioenergy**, v. 4, p. 121–181, 2019. <https://doi.org/10.1016/bs.aibe.2019.04.002>>.

LIN, L., XU, F., GE, X., & LI, Y. Improving the sustainability of organic waste management practices in the food-energy-water nexus: A comparative review of anaerobic digestion and composting. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 89, p. 151–167, 2018 <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.03.025>>.

LOBO, M.; DORTA, E. Utilization and management of horticultural waste. In: Yahia, E.M. (1 ed.) **Postharvest Technology of Perishable Horticultural Commodities**. Elsevier, 2019, cap 19, p. 639-666.

MILLER, F.P. Soil Science: A scope broader than its identity. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 57:299 e 564, 1993. Reichardt, K. Por que estudar o solo? In: Moniz, A.C. (ed.) **A responsabilidade social da Ciência do Solo**. Campinas, SBCS, 1988. p.75-78.

PEIXE, M., HACK, M. B. Compostagem como método adequado ao tratamento dos resíduos sólidos orgânicos urbanos: Experiência do município de Florianópolis/SC. Prefeitura municipal de Florianópolis, 2014. Disponível em: <http://www.pmf.sc.gov.br/arquivos/arquivos/pdf/27_03_2014_10.52.58.648dc17b1d3f981315f8ecf7d2104d2f.pdf>.

PERGOLA, M.; PERSIANI, A.; PALESE, A. M.; DI MEO, V.; PASTORE, V.; D'ADAMO, C.; CELANO, G. Composting: The way for a sustainable agriculture. *Applied Soil Ecology*, v. 123, p. 744–750, 2018. <<https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2017.10.016>>.

PERNAMBUCO, Governo do Estado de Pernambuco. **Plano Estadual de Resíduos Sólidos. Pernambuco**, 2012. 306 p. Disponível em <http://www.cataacao.org.br/wpcontent/uploads/2012/08/PlanoResiduoSolido_FINAL_002.pdf> Acesso em: 15 dez. 2021.

Pernambuco. Secretaria das Cidades. **Plano de resíduos sólidos: Região de Desenvolvimento Metropolitana de Pernambuco – RDM/PE / Secretaria das Cidades**. 2. ed. – Recife: Caruso Jr., 2018.

PIRES, I. C. G.; FERRÃO, G. DA E. Compostagem no Brasil sob a perspectiva da legislação ambiental. *Revista trópica: Ciências Agrárias e Biológicas*, v. 9, n.01, p.01-18, 2017.

ROCHA, P. G. O.; XIMENES, T. C. F.; GUERRA, S. M. S. Geoprocessamento aplicado a seleção de áreas para implantação de aterro sanitário: estudo de caso, consórcio Brejo Madre de Deus e Juatuba- PE. *Revista GEAMA*, v.1, n. 2, 2015.

SANTOS, A. DE P.; ROCHA, S. F.; ABREU, M. V. S.; CALIJURI, M. L.; SANTOS, P. M. O uso da análise multicritério no mapeamento da fragilidade social da área urbanizada do município de Viçosa - MG. *Revista Brasileira de Cartografia*, N 64/5, p. 635-643, 2012.

SANTOS, A. T. L.; HENRIQUE, S. N.; SHHLINDWEIN, J. A.; FERREIRA, E.; STACHIW, R. Aproveitamento da fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos para produção de composto orgânico. *Revista Brasileira de Ciências da Amazônia*, v. 3, n. 1, p. 15-28, 2014.

SAYARA, T.; BASHEER-SALIMIA, R.; HAWAMDE, F.; SÁNCHEZ, A. Recycling of Organic Wastes through Composting: Process Performance and Compost Application in Agriculture. *Agronomy*, v. 10, n. 11, p. 1838, 2020.

SIMON-ROJO, M.; DUŽÍ, B. Connecting Local Food and Organic Waste Management Systems: Closing Nutrient Loops in the City of Madrid. *Elsevier*, 343 p., 2018. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-69236-4_11>.

SINIR. **Sistema Nacional de informações sobre a Gestão dos Resíduos Sólidos.** Resíduos sólidos urbanos. 2022. Disponível em: <<https://sinir.gov.br/informacoes/tipos-de-residuos/residuos-solidos-urbanos/>>.

SIQUEIRA, T. M. O. DE S.; ASSAD, M. L. R. C. L. Compostagem de resíduos sólidos urbanos no estado de são paulo (Brasil). **Ambiente & Sociedade**, v. 18, n. 4, p. 243-264, 2015.

SOUZA, L. P. M. de; SOUZA, T. G.; PANATIERI, R. B.; KIKUTI, E. Compostagem: uma proposta ambiental para diminuição do lixo doméstico. **Em Extensão**, v. 19, n. 2, p. 87-100, 2020.

TCE-PE. Tribunal de Contas do Estado de Pernambuco. **Relatório do TCE 2019.** Disponível em: <<https://tce-pe.jusbrasil.com.br/inteiro-teor-1194185247>>. Acesso em: 13 set. 2021.

VOCHOZKA, M., MAROUŠKOVÁ, A., & ŠULEŘ, P. Obsolete Laws: Economic and Moral Aspects, Case Study—Composting Standards. **Science and Engineering Ethics**, v. 23, n. 6, p. 1667–1672, 2017. <<https://doi.org/10.1007/s11948-016-9831-9>>.

ZAGO, V. C. P.; BARROS, R. T. DE V. Management of solid organic waste in brazil: From legal ordinance to reality. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 24, n. 2, p. 219–228, 2019. <<https://doi.org/10.1590/s1413-41522019181376>>.

ZAGO, V. C. P.; BARROS, R. T. DE V. Management of solid organic waste in brazil: From legal ordinance to reality. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 24, n. 2, p. 219–228, 2019. <<https://doi.org/10.1590/s1413-41522019181376>>.