

## Geoprocessamento aplicado na seleção de alternativas locacionais para implantação de aterro sanitário em consórcios para gestão integrada de resíduos sólidos no estado do Ceará – Brasil

*Geoprocessing applied in the selection of locational alternatives for the implantation of landfill in consortia for integrated solid waste management in the state of Ceará – Brazil*

*Geoprocесamiento aplicado en la selección de alternativas locacionales para implantación de relleno sanitario en consorcios de gestión integrada de residuos sólidos en el estado de Ceará – Brasil*

Ana Carolina Correia de Oliveira Gomes<sup>1</sup>; Cleyber Nascimento de Medeiros<sup>2</sup>; Ronaldo Stefanutti<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul (UEMS), Dourados/MS, Brasil. Email: accoliveira@uems.br  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6476-0031>

<sup>2</sup> Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará (IPECE), Fortaleza/CE, Brasil. Email: cleyber.medeiros@ipece.ce.gov.br  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6626-3415>

<sup>3</sup> Universidade Federal do Ceará (UFC), Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil (POSDEHA), Fortaleza/CE, Brasil.  
Email: ronaldostefanutti@gmail.com  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6776-0413>

**Resumo:** O aterro sanitário é uma técnica capaz de reduzir os possíveis impactos ambientais negativos oriundos da destinação dos resíduos sólidos urbanos, para isto deve ser realizada a avaliação de impactos ambientais antes de sua instalação, devendo ser considerada alternativas locacionais afim de determinar a melhor área para implantação. Diante da necessidade da instalação de aterros sanitários no estado do Ceará – Brasil, este estudo teve como objetivo identificar, através de critérios geoambientais, as áreas propícias para implantação do aterro sanitário em consórcios do referido Estado. Através de base de dados vetoriais e determinação de critérios para pré-seleção de áreas para implantação de aterro sanitário foi possível, com a utilização do software de geoprocessamento QGis, a aplicação da análise de multicritérios usando o método booleano, onde os vetores foram sobrepostos e determinadas as áreas aptas e inaptas para instalação de aterro sanitário de acordo com os parâmetros geoambientais adotados. Com a pré-seleção das áreas foi possível determinar que o estado do Ceará possui 68,63% das áreas inaptas para instalação de aterro sanitário e que os consórcios são cruciais, pois além de viabilizar economicamente a operação do aterro, alguns municípios não possuem áreas aptas em todo seu território.

**Palavras-chave:** Geoprocessamento; Aterro sanitário; Resíduos Sólidos.

**Abstract:** The sanitary landfill is a technique capable of reducing the possible negative environmental impacts arising from the disposal of solid urban waste. To this end, an environmental impact assessment must be carried out prior to its installation, and locational alternatives must be considered in order to determine the best area for implementation. Given the need to set up sanitary landfills in the state of Ceará - Brazil, the aim of this study was to identify, using geoenvironmental criteria, areas suitable for setting up sanitary landfills in consortia in that state. Using a vector database and criteria for pre-selecting areas for landfill sites, it was possible, using QGis geoprocessing software, to apply multi-criteria analysis using the Boolean method, where vectors were superimposed and suitable and unsuitable areas for landfill sites were determined according to the geo-environmental parameters adopted. With the pre-selection of areas, it was possible to determine that the state of Ceará has 68.63% of areas unsuitable for landfill installation and that consortia are crucial, because in addition to making landfill operation economically viable, some municipalities do not have suitable areas throughout their territory.

**Keywords:** Geoprocessing; Landfill; Solid waste.

## 1. Introdução

A disposição final incorreta de resíduos sólidos pode ocasionar inúmeros impactos ambientais negativos, como contaminação da água subterrânea, contribuição para mudanças climáticas, dentre outros (SILVA E MOTA, 2019). Uma forma de dispor corretamente os resíduos é através do aterro sanitário, técnica utilizada principalmente em países em desenvolvimento (ZHANG *et al.*, 2019). Para prevenir possíveis impactos oriundos de atividades antrópicas, como a disposição dos resíduos em aterro, deve ser realizada a avaliação de impactos ambientais antes de sua instalação, devendo ser considerada alternativas locacionais afim de determinar a melhor área para implantação (SÁNCHEZ, 2020).

No Brasil existem vários critérios normativos para a escolha da área a ser instalado o aterro sanitário, devendo ser levado em consideração que a localização se encontre: à jusante do local de captação de abastecimento de água, estar a uma distância de 5km a 20km do centro gerador, não ser áreas de ocupação intensa ou área de risco, não estar em margens de rodovias (IMASUL, 2016), possuir declividade entre 1% a 30%, distância mínima de 200m de corpos hídricos, respeitar a legislação de uso e ocupação do solo, estar a mais de 500m de distância de núcleos populacionais (ABNT, 1997), utilização de solos naturalmente pouco permeáveis (ABNT, 2010), localizar-se à um raio de distância de 20 km para aeroportos que operam de acordo com as regras de voo por instrumento e raio de 13 km para os demais aeródromos (CONAMA, 1995), que possua vida útil superior a 15 anos, não ser área de vulnerabilidade ambiental (CONAMA, 2008), dentre outros requisitos.

O estudo das áreas se faz necessário principalmente porquê no Brasil em torno de 21,99% dos resíduos sólidos ainda são destinados a lixões ou aterros controlados (CEARÁ, 2015), sendo que na região Nordeste do país este número sobe para 40,43% (SINIR, 2019). No estado do Ceará, 93% dos municípios destinam os resíduos para lixões, havendo 285 lixões ativos, 4 aterros sanitários sem licença de operação válida, 101 lixões encerrados (não recuperados) e apenas 6 aterros sanitários com a licença de operação válida (CEARÁ, 2021). Uma alternativa para viabilização de projeto de aterro sanitário para pequenos municípios que possuem poucos recursos e pessoal qualificado é através de consórcios. Este tipo de organização foi realizado no estado do Ceará que possui 21 consórcios para gestão integrada dos resíduos sólidos, restando apenas 14 municípios não consorciados (SEMA, 2022). A organização dos municípios em consórcios no estado do Ceará pode ser visualizada na tabela abaixo:

*Tabela 1 - Consórcios e respectivos municípios integrantes no estado do Ceará.*

Consórcio	Município
<b>Consórcio da Chapada de Ibiapaba</b>	Guaraciaba do Norte, Viçosa do Ceará, Croatá, Carnaubal, São Benedito, Ibiapina, Ubajara.
<b>Consórcio da Região Metropolitana B</b>	Maranguape, Ocara, Chorozinho, Pacajus, Horizonte, Guaiúba, Itaitinga.
<b>Consórcio da Região Metropolitana de Sobral</b>	Pires Ferreira, Varjota, Reriutaba, Graça, Pacujá, Mucambo, Cariré, Groaíras, Forquilha, Frecheirinha, Sobral, Alcântaras, Coreaú, Meruoca, Moraújo, Massapê, Santana do Acaraú, Senador Sá.
<b>Consórcio do Alto Jaguaribe - CORRAJ</b>	Saboeiro, Catarina, Cariús, Jucás, Quixelô, Iguatu.
<b>Consórcio do Cariri Oeste</b>	Araripe, Salitre, Potengi, Assaré, Campos Sales, Antonina do Norte, Tarrafas.
<b>Consórcio do Cariri Oriental</b>	Porteiras, Penaforte, Jati, Brejo Santo, Abaiara, Mauriti, Milagres, Barro, Aurora.
<b>Consórcio do Crato - COMARES UC</b>	Nova Olinda, Crato, Altaneira, Caririaçu, Farias Brito, Jardim, Barbalha, Missão Velha, Juazeiro do Norte, Santana do Cariri.
<b>Consórcio do Litoral Leste - COMARES UCV</b>	Aracati, Beberibe, Pindoretama, Cascavel, Fortim.
<b>Consórcio do Litoral Norte</b>	Morrinhos, Marco, Martinópole, Granja, Chaval, Bela Cruz, Barroquinha, Itarema, Camocim, Acaraú, Cruz, Jijoca de Jericoacoara.
<b>Consórcio do Litoral Oeste</b>	Uruburetama, Miraima, Tururu, Itapipoca, Amontada, Paracuru, Trairi.

Consórcio	Município
<b>Consórcio do Maciço de Baturité - AMSA</b>	Mulungu, Itapiúna, Aratuba, Capistrano, Aracoiaaba, Barreira, Baturité, Guaramiranga, Pacoti, Palmácia, Acaraape, Redenção.
<b>Consórcio do Sertão Central - CONSERCE</b>	Banabuiú, Ibicuitinga, Quixeramobim, Quixadá, Choró, Ibaretama.
<b>Consórcio do Sertão Central 2 - CONSERCE 2</b>	Madalena, Boa Viagem, Itatira, Canindé, Paramoti, Caridade.
<b>Consórcio do Sertão Central Sul - CODESSUL</b>	Acopiara, Dep. Irapuan Pinheiro, Piquet Carneiro, Mombaça, Milhã, Solonópole, Senador Pompeu, Pedra Branca.
<b>Consórcio do Sertão Centro Sul</b>	Ipaumirim, Baixio, Umari, Cedro, Icó, Orós, Granjeiro, Lavras da Mangabeira, Várzea Alegre.
<b>Consórcio do Sertão de Crateús</b>	Ipu, Monsenhor Tabosa, Poranga, Tamboril, Nova Russas, Catunda, Ipueiras, Hidrolândia, Santa Quitéria.
<b>Consórcio do Sertão de Crateús 2</b>	Novo Oriente, Independência, Crateús, Ipaporanga, Ararendá.
<b>Consórcio do Sertão dos Inhamuns</b>	Aiuaba, Arneiroz, Parambu, Quiterianópolis, Tauá.
<b>Consórcio do Vale do Curu</b>	Itapajé, Irauçuba, General Sampaio, Apuiarés, Pentecoste.
<b>Consórcio do Vale do Jaguaripe - CGIRS VJ</b>	Jaguaruana, Itaiçaba, Tabuleiro do Norte, Ererê, Potiretama, Iracema, Alto Santo, São João do Jaguaripe, Quixeré, Limoeiro do Norte, Russas, Palhano, Morada Nova.
<b>Consórcio do Vale do Jaguaripe 2</b>	Pereiro, Jaguaripe, Jaguabará, Jaguaretama.
<b>Municípios Não Consorciados</b>	Tejuçuoca, Umirim, Icapuí, Pacatuba, Aquiraz, Eusébio, Maracanaú, Fortaleza, São Luís do Curu, Caucaia, São Gonçalo do Amarante, Paraipaba, Tianguá, Uruoca.

*Fonte: Adaptado de SEMA (2022).*

Para os municípios e consórcios que ainda não possuem aterro sanitário deve-se realizar estudos de alternativas locacionais, na qual o geoprocessamento pode ser empregado como uma ferramenta importante para auxiliar a decisão da área adequada para implantação de aterro sanitário, sendo eficaz e de baixo custo (CARRILHO *et al.*, 2018).

Diante da necessidade da implantação de aterro sanitário e da escolha da área adequada a prevenir e mitigar possíveis impactos ambientais oriundos da implantação do aterro, este estudo teve como objetivo identificar, através de critérios geoambientais, as áreas propícias para implantação do aterro sanitário para os consórcios do estado do Ceará.

## 2. Metodologia

Foram coletados arquivos em bases de dados para confecção dos mapas no software QGis versão 3.10.14. As bases de dados consultadas foram: COGERH (Companhia de Gestão de Recursos Hídricos), IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), IPECE (Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará), Plataforma Estadual de Dados Espaciais Ambientais do Ceará (PEDEA) da SEMA (Secretaria do Meio Ambiente), INCRA (Instituto

Nacional de Colonização e Reforma Agrária) e FUNAI (Fundação Nacional dos Povos Indígenas), conforme tabela abaixo.

*Tabela 2: Bases de dados utilizadas no estudo*

<b>Bases de Dados</b>	<b>Fonte</b>
Estradas	SEMA (2022)
Declividade	INPE (2008)
Corpos hídricos	FUNCeme (2022)
Áreas protegidas	FUNAI (2023); INCRA (2010); SEMA (2022) e SEMA (2023)
Núcleos populacionais	IBGE (2019)
Tipo de solo	IPECE (2020) e COGERH (2023)
Aeroportos de campos de pouso	IPECE (2020)
Limites municipais	IPECE (2021)

*Fonte: Os autores (2024)*

A base de dados vetoriais para elaboração do mapa de aterros sanitários vigentes era do ano de 2022, além disso, apresentava apenas os aterros sanitários com licença de operação válida. Sendo assim, através da pesquisa realizada na SEMACE (Superintendência Estadual do Meio Ambiente) foi possível identificar mais três aterros sanitários com licença de operação e licença de instalação vigentes em âmbito de impacto intermunicipal. As coordenadas geográficas coletadas foram inseridas no Google Earth Pro e exportadas como arquivo vetorial para inserção destes pontos.

Como no estado do Ceará não há normas específicas para escolha da área para instalação de aterros sanitários, foram estabelecidos critérios previstos em legislação e referências bibliográficas (Tabela 3).

*Tabela 3: Critérios para pré-seleção de áreas para implantação de aterro sanitário*

<b>Parâmetros</b>	<b>Regra</b>	<b>Fonte</b>
<b>Estradas</b>	300m	(IMASUL, 2016)
<b>Declividade</b>	1% a 30%	(ABNT, 2010)
<b>Distância de corpos hídricos</b>	200m	(ABNT, 2010)
<b>Áreas protegidas</b>	Estar fora da Unidade de Conservação, Terras indígenas e Quilombolas	(ABNT, 1997 e ABNT, 2010)
<b>Distância de núcleos populacionais</b>	500m	(ABNT, 1997)
<b>Tipo de solo</b>	Pouco permeável	(ABNT, 2010)
<b>Distância de aeroportos</b>	Raio de 20 km para aeroportos que operam de acordo com as regras de vôo por instrumento (IFR); e de 13 km para os demais aeródromos	(CONAMA, 1995)

*Fonte: Os autores (2023).*

Com a base de dados e os critérios estabelecidos, foi possível, através do software QGis, a elaboração de mapas para cumprimento das regras de cada parâmetro. Com relação as classes de solo foram consideradas inaptas áreas com solos arenosos. Por fim, foi realizada análise de multicritérios do tipo booleano, onde os vetores foram sobrepostos e determinadas as áreas aptas e inaptas para instalação de aterro sanitário de acordo com os parâmetros geoambientais adotados.

### 3. Resultados e discussão

Foram identificados 4 aterros sanitários com licença de operação vigente na SEMACE e 2 aterros sanitários com licença de instalação (Figura 1). Destes aterros, apenas os localizados em Sobral e em Limoeiro do Norte atendem aos consórcios em que fazem parte que são: Consórcio da Região Metropolitana de Sobral e Consórcio do Vale do Jaguaribe, respectivamente. O aterro sanitário localizado em Caucaia recebe os resíduos sólidos referentes a cidade de Fortaleza e Caucaia; o de Porteiras recebe apenas os resíduos do próprio município e o que será instalado em Aquiraz visa o atendimento do próprio município e do Eusébio. O aterro sanitário localizado em Porteiras é de uma empresa particular.

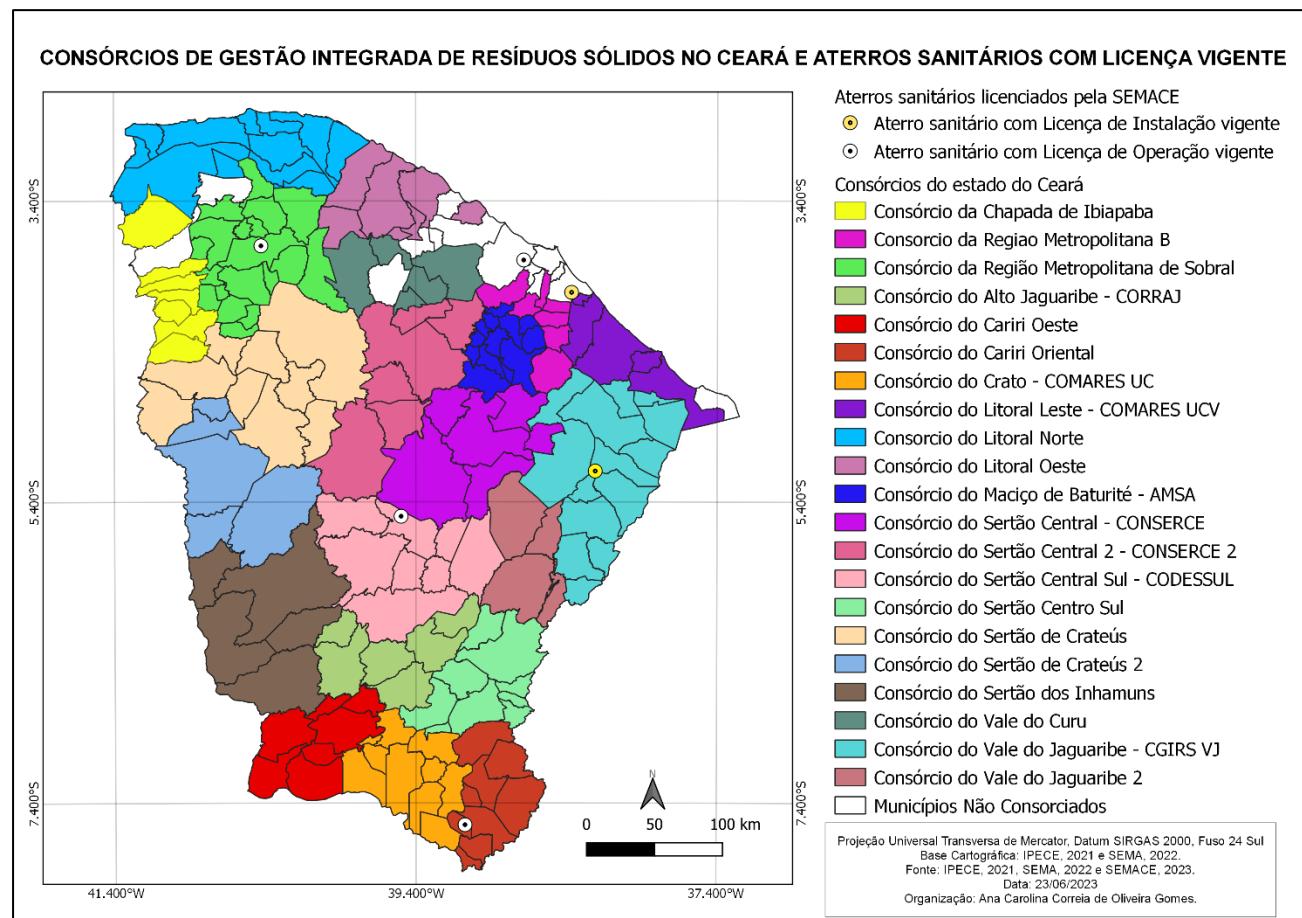
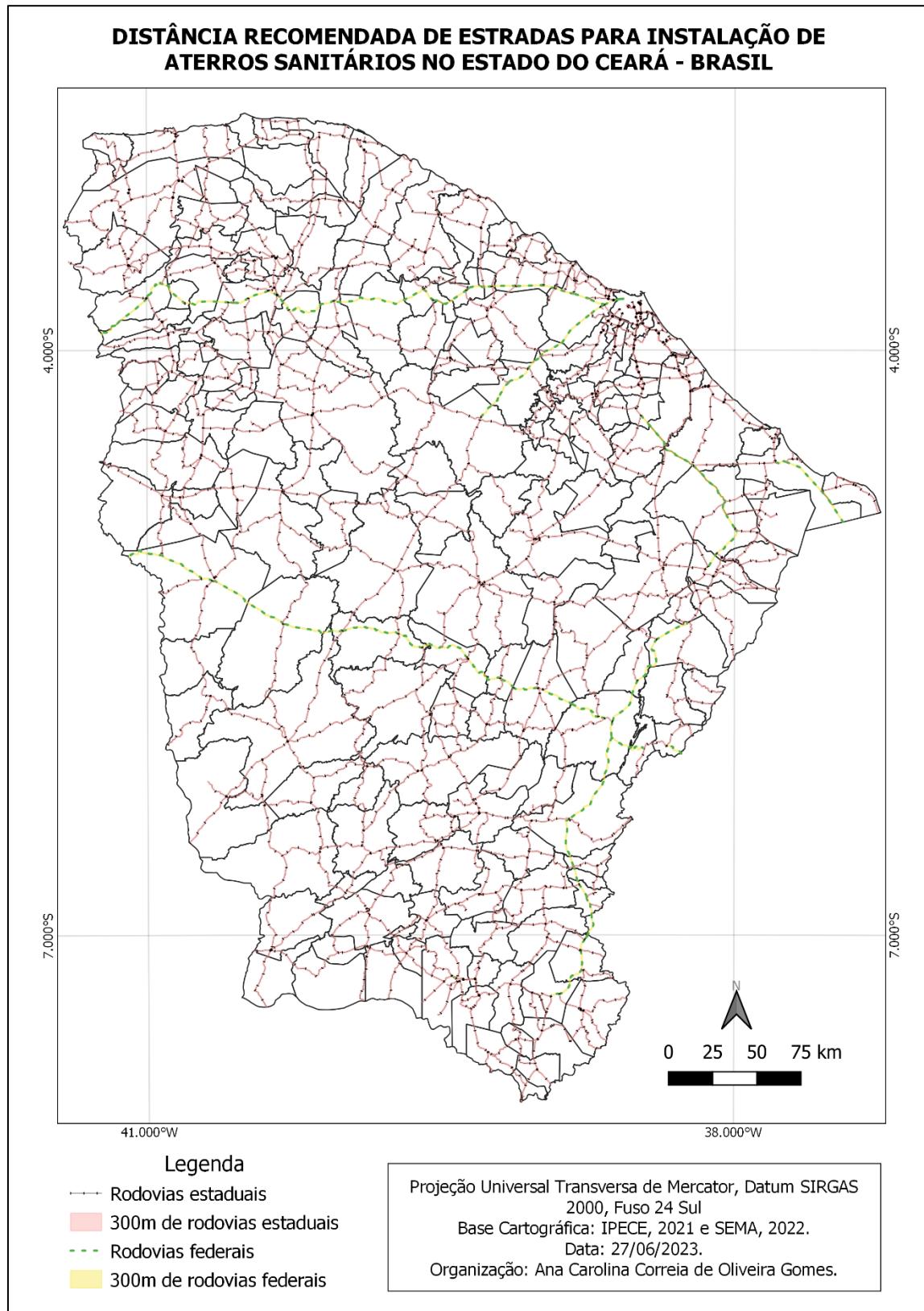


Figura 1 - Consórcios de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos no Ceará Aterros Sanitários com Licença Vigentes na SEMACE.

Fonte: Os autores (2023).

Os mapas elaborados de acordo com os critérios de pré-seleção de áreas para implantação de aterro sanitário (Tabela 3) podem ser visualizados das Figuras 2 a 10.



*Figura 2 - Distância recomendada de estradas para instalação de aterros sanitários no estado do Ceará - Brasil*  
Fonte: Os autores (2023).

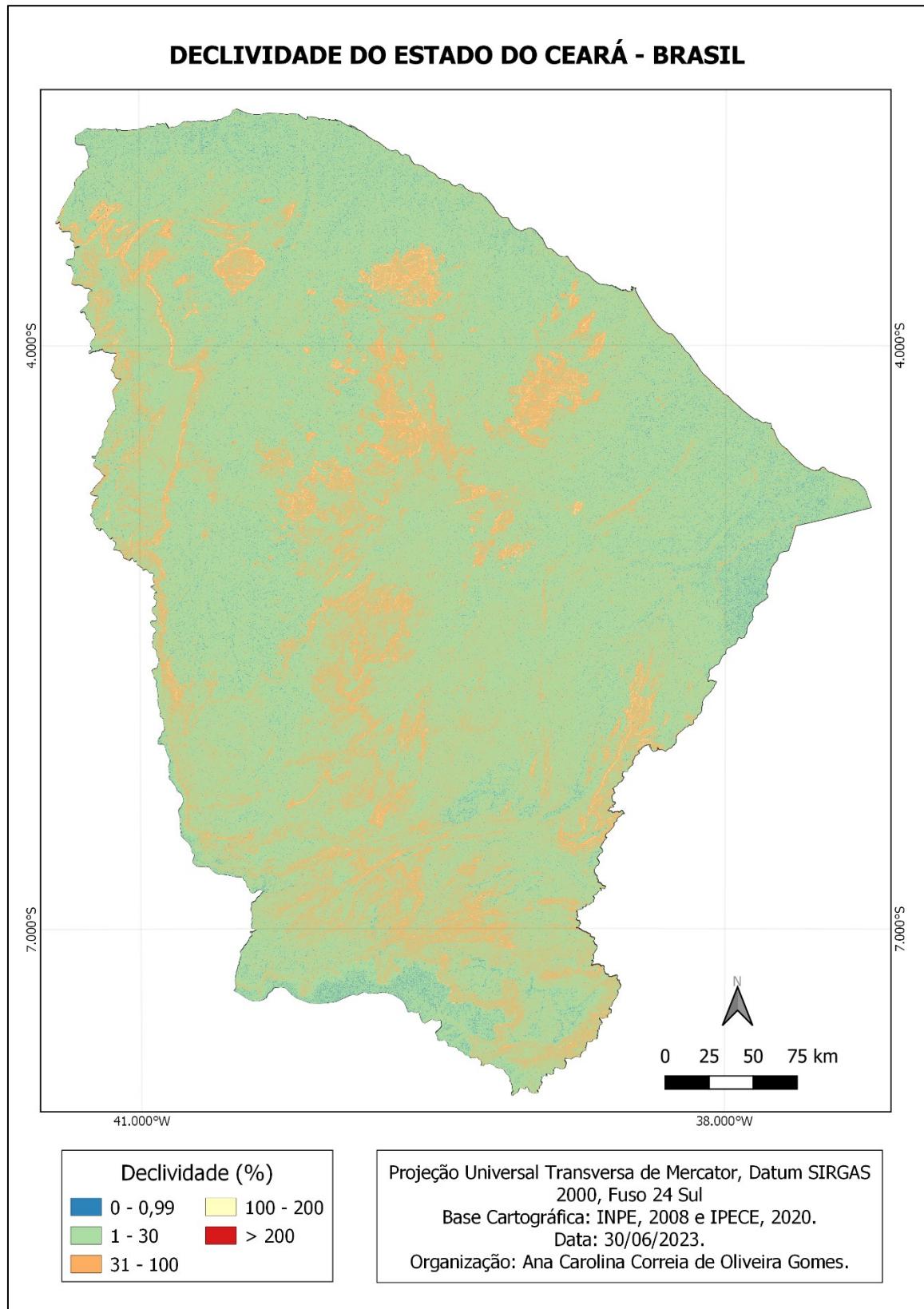
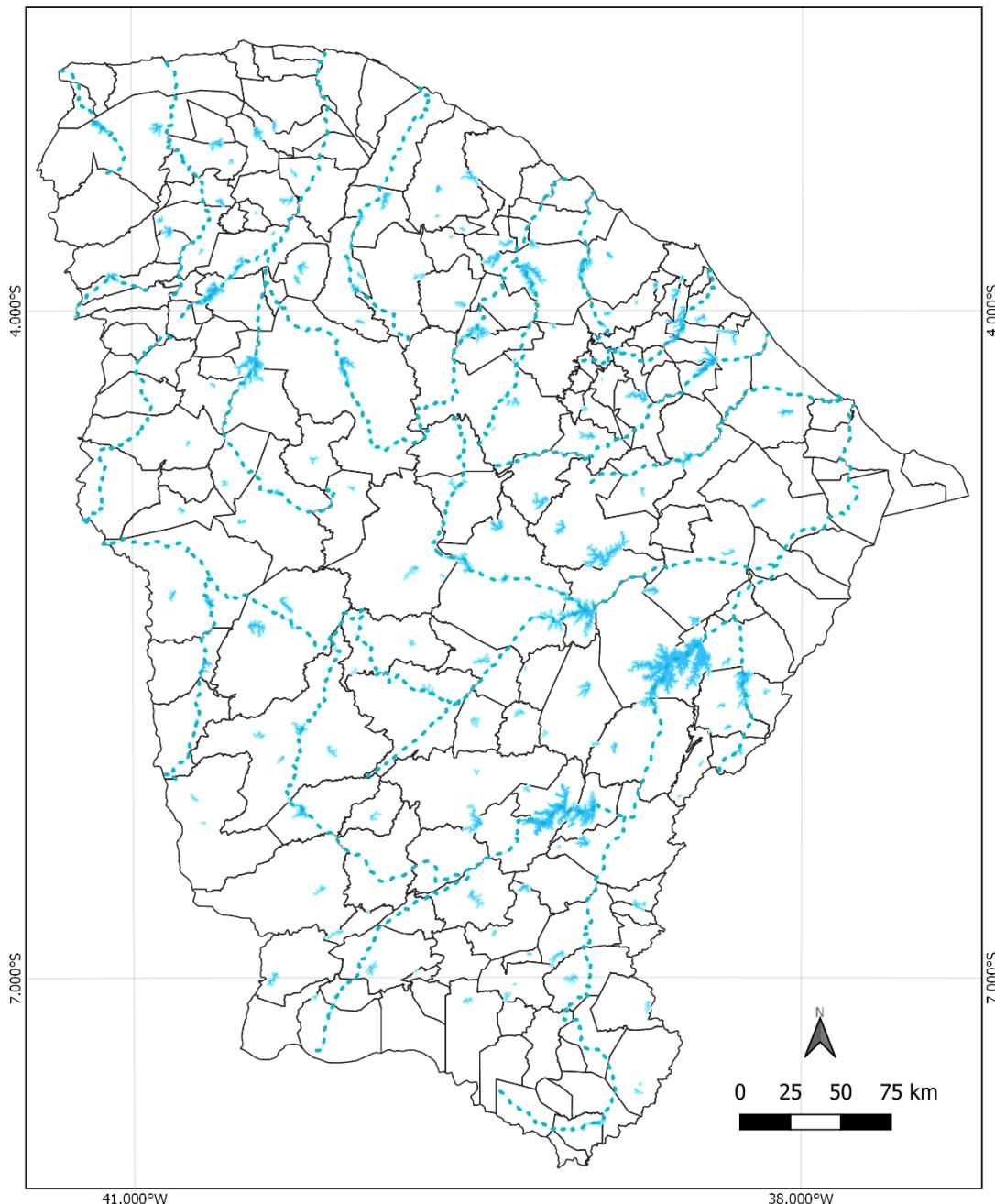


Figura 3 - Declividade do estado do Ceará - Brasil

Fonte: Os autores (2023).

### DISTÂNCIA RECOMENDADA DE CORPOS HÍDRICOS PARA INSTALAÇÃO DE ATERROS SANITÁRIOS NO ESTADO DO CEARÁ - BRASIL



#### Legenda

- Rios principais
- Reservatórios
- 200m dos corpos d'água

Projeção Universal Transversa de Mercator, Datum SIRGAS 2000,

Fuso 24 Sul

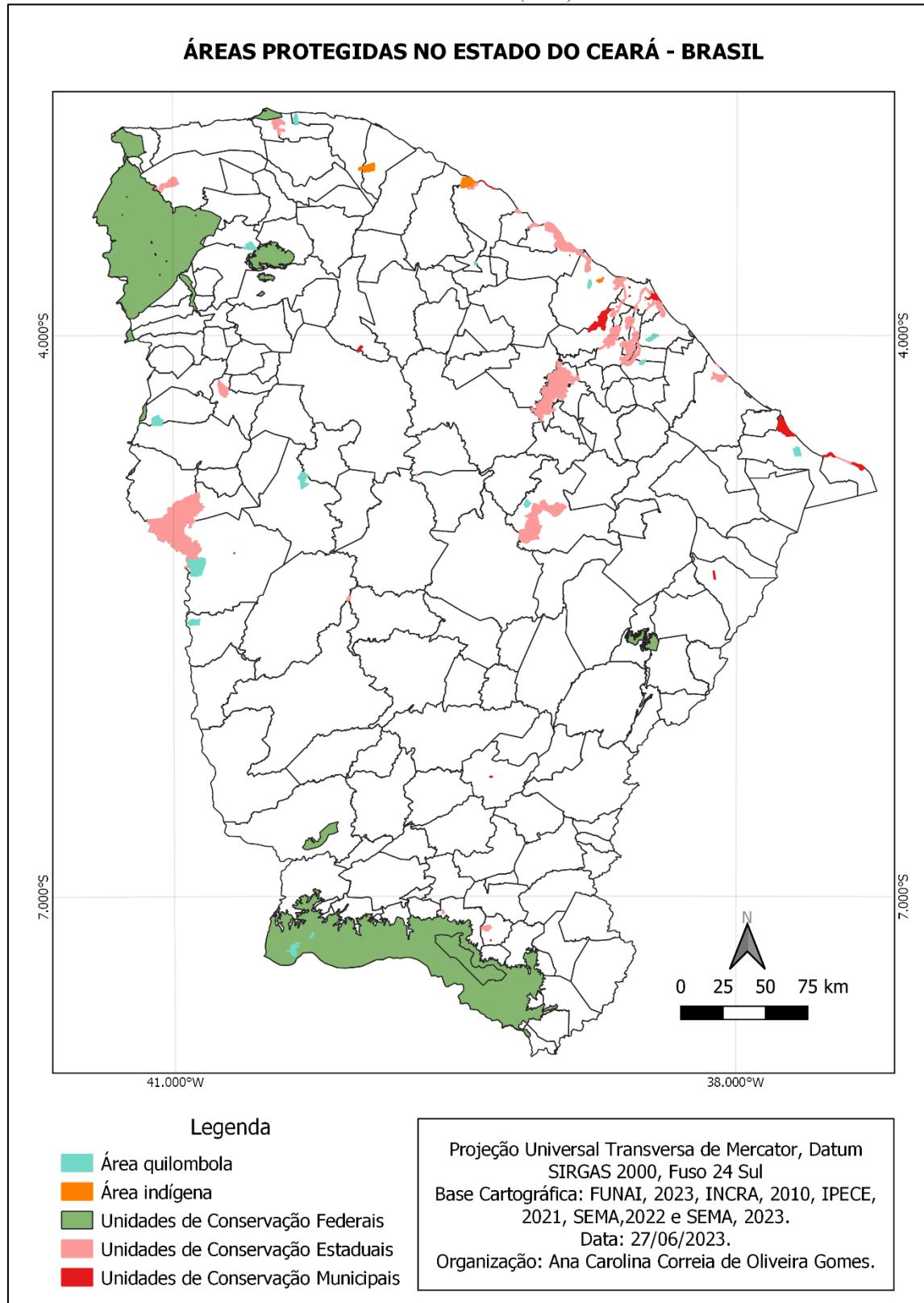
Base Cartográfica: FUNCEME, 2022, e IPECE, 2021.

Fonte: IPECE, 2021 e SEMACE, 2023.

Data: 28/06/2023.

Organização: Ana Carolina Correia de Oliveira Gomes.

Figura 4 - Distância recomendada de corpos hídricos para instalação de aterros sanitários no estado do Ceará - Brasil  
Fonte: Os autores (2023).



*Figura 5 - Áreas protegidas no estado do Ceará - Brasil*  
Fonte: Os autores (2023).

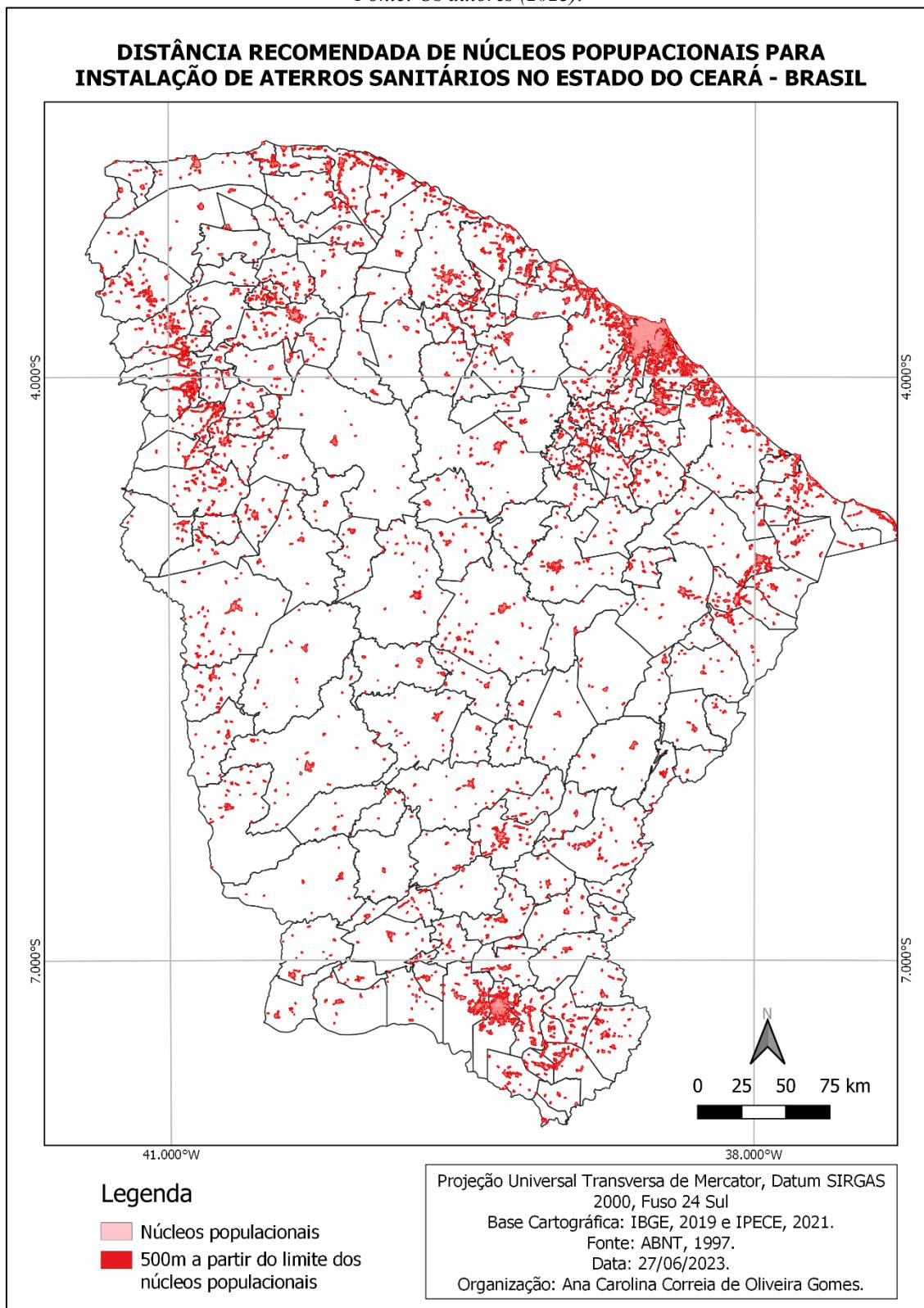
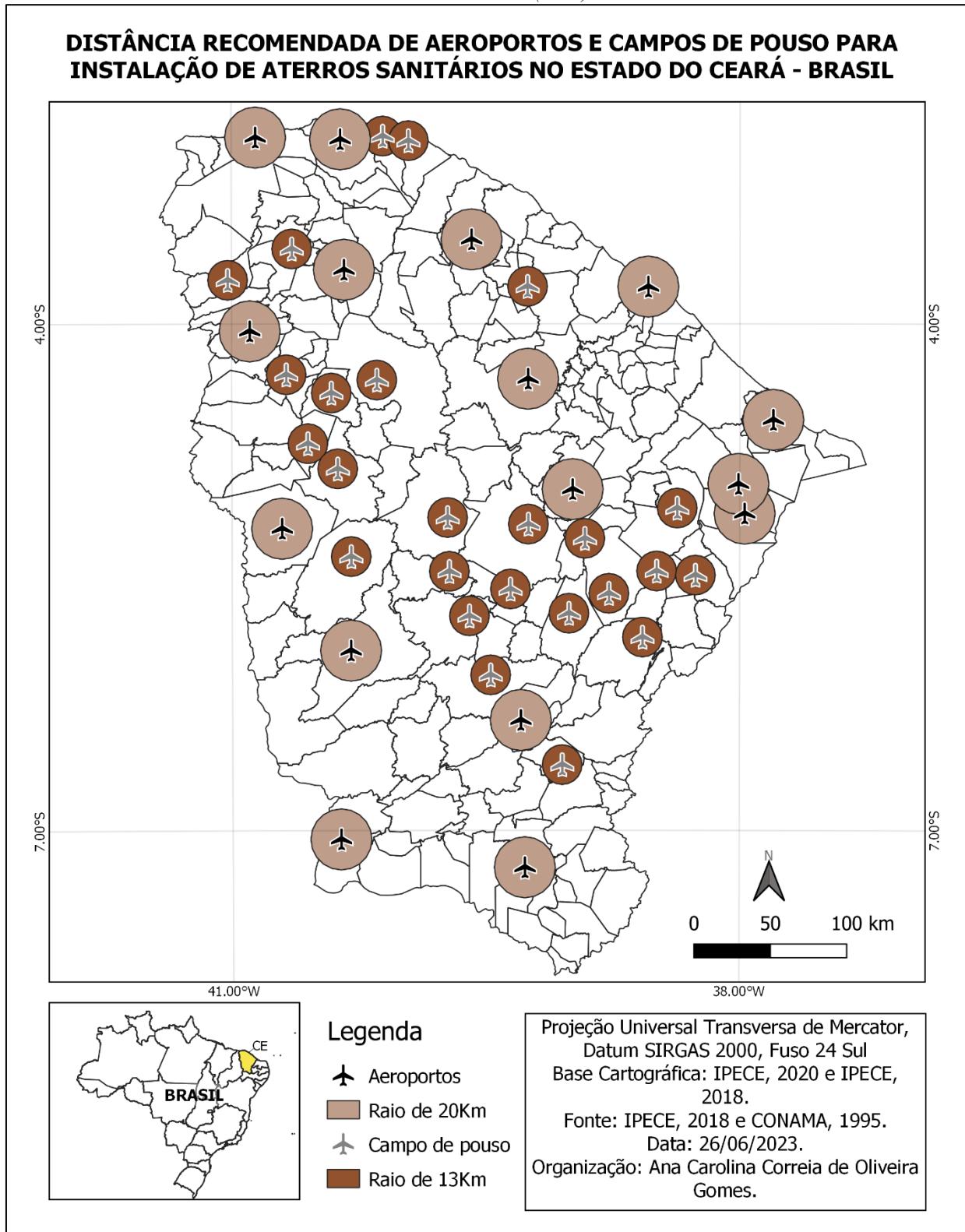


Figura 6 - Distância recomendada de núcleos populacionais para instalação de aterros sanitários no estado do Ceará - Brasil  
 Fonte: Os autores (2023).



---

*Figura 7 - Distância recomendada de aeroportos e campos de pouso para instalação de aterros sanitários no estado do Ceará - Brasil*  
*Fonte: Os autores (2023).*

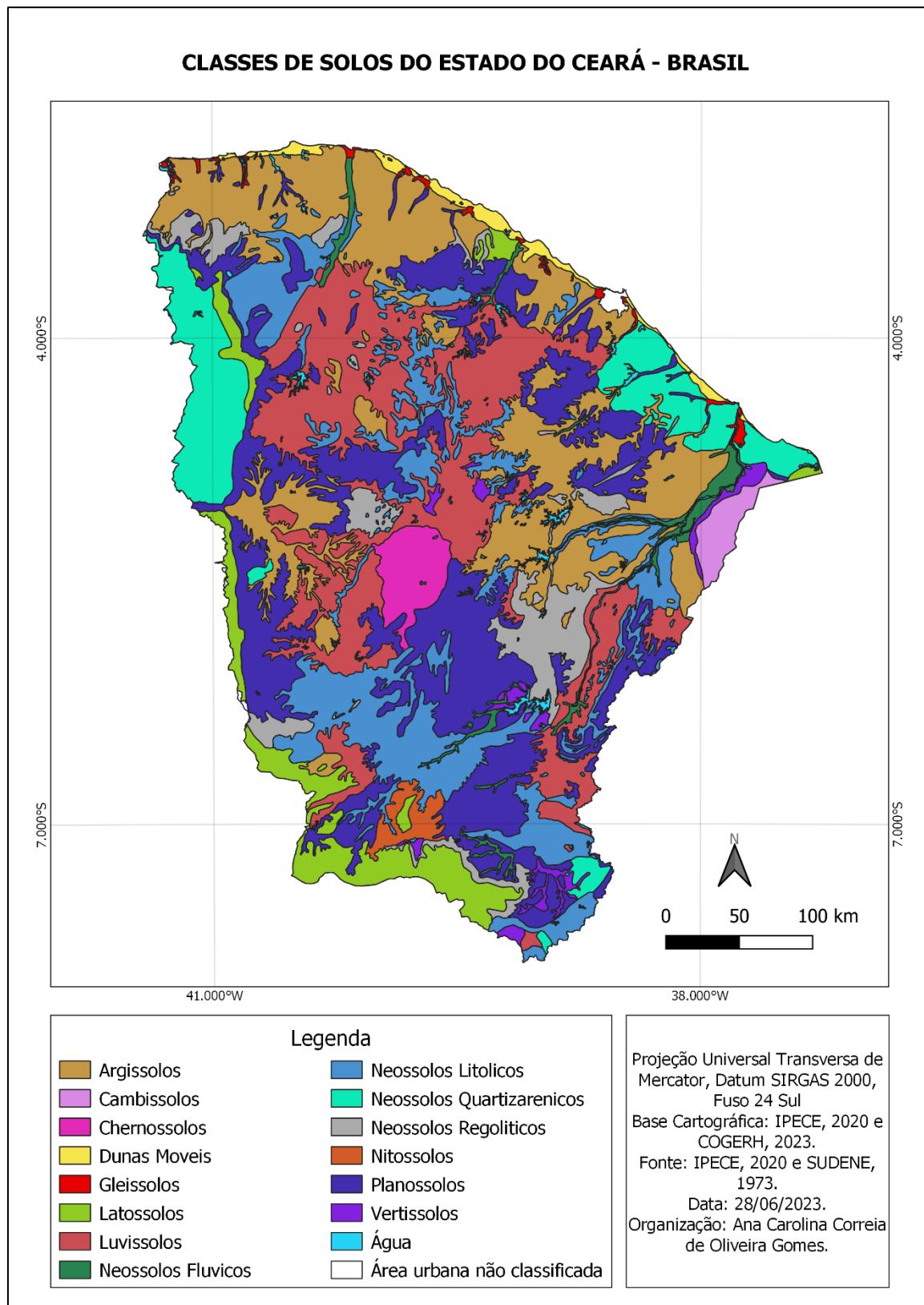


Figura 8 - Classes de solos do estado do Ceará - Brasil.

---

*Fonte: Os autores (2023).*

De acordo com as classes de solos apresentadas no Estado (Figura 9), foram consideradas inaptas para implantação de aterro áreas com Neossolos Quartizarênicos e Dunas móveis por serem solos arenosos, segundo EMBRAPA (2018), além das áreas de água.

Entretanto, Neossolos Litolicos e Neossolos Regoliticos devem ser evitados, pois são solos rasos. Os Neossolos Fluvicos também devem ser utilizados com restrições por serem derivados de sedimentos aluviais (*op. cit.*). Ainda segundo a classe de solos, vale ressaltar que a escala utilizada na elaboração de mapa é de 1:600.000, não sendo muito precisa para determinação, sendo necessário realizar uma análise de solo de cada local pretendido quando da elaboração do estudo de instalação de um aterro sanitário.

Através da aplicação da análise multicritério usando o método booleano, foi possível a determinação das áreas aptas e inaptas para instalação de aterro sanitário, de acordo com os parâmetros geoambientais adotados (Tabela 3).

O resultado da análise multicritério adotada no presente estudo pode ser visualizado nas Figuras 09 e 10, que apresentam os mapas das áreas inaptas para instalação de aterros sanitários no estado do Ceará.

Menciona-se que os critérios “distância de aeroportos e campos de pouso” (31,51%) e “distância de núcleos populacionais” (18,20%) apresentaram maior proporção de áreas inaptas, como pode ser visualizado na Tabela 4. Entretanto, ressalta-se que algumas dessas áreas se sobrepõem e, consequentemente, as áreas inaptas finais chegam a um valor de 68,63% para todo estado do Ceará.

Desse total de áreas inaptas a instalação de aterros sanitários, os principais parâmetros de limitadores foram: distância de aeroportos e campos de pouso (21,62%), distância de núcleos populacionais (12,49%), tipo de solo (9,73%), declividade (8,72%), áreas protegidas (7,84%), estradas (6,15%) e distância de corpos hídricos (2,08%).

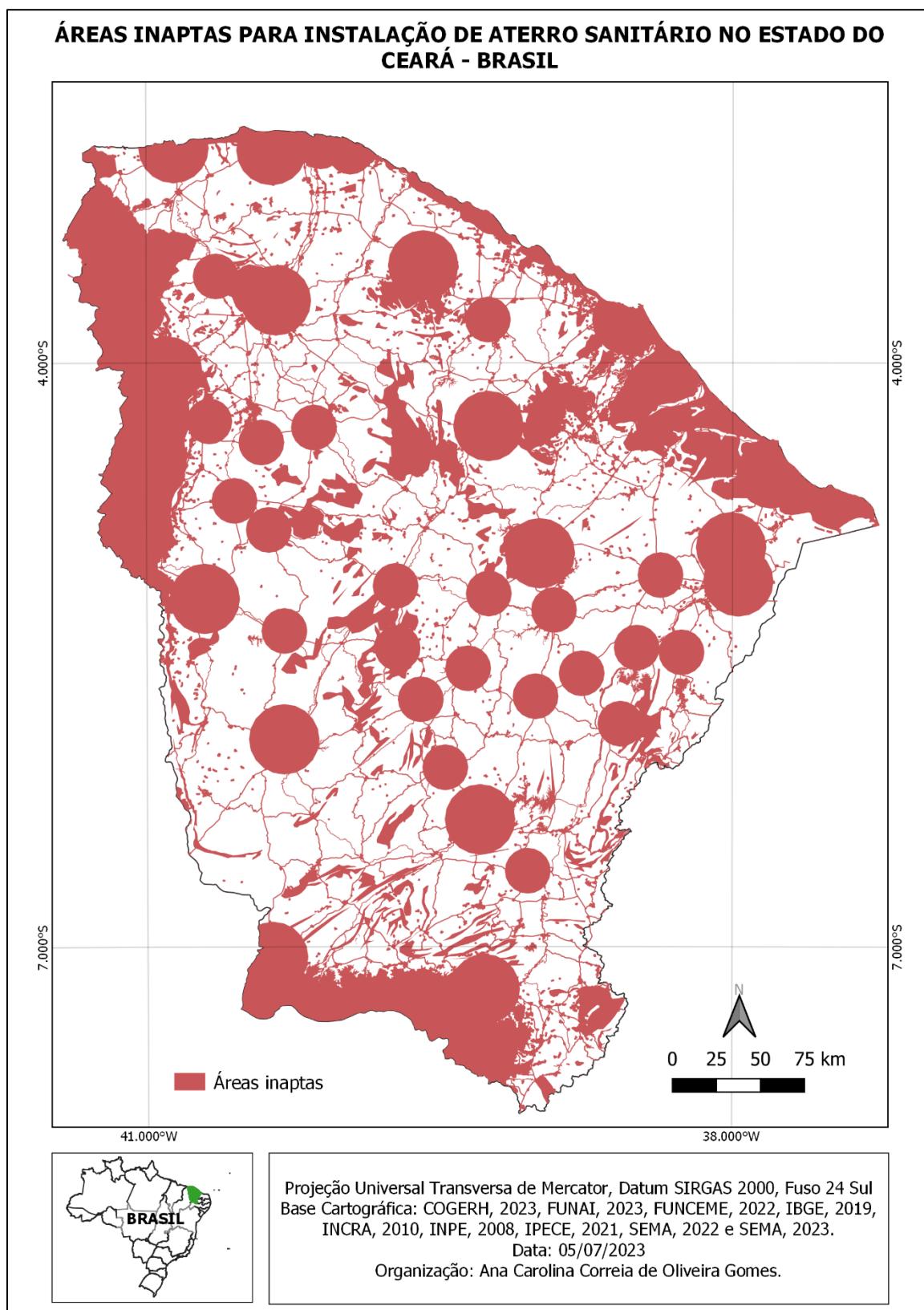


Figura 9 - Áreas inaptas para instalação de aterro sanitário do estado do Ceará - Brasil

Fonte: Os autores (2023).

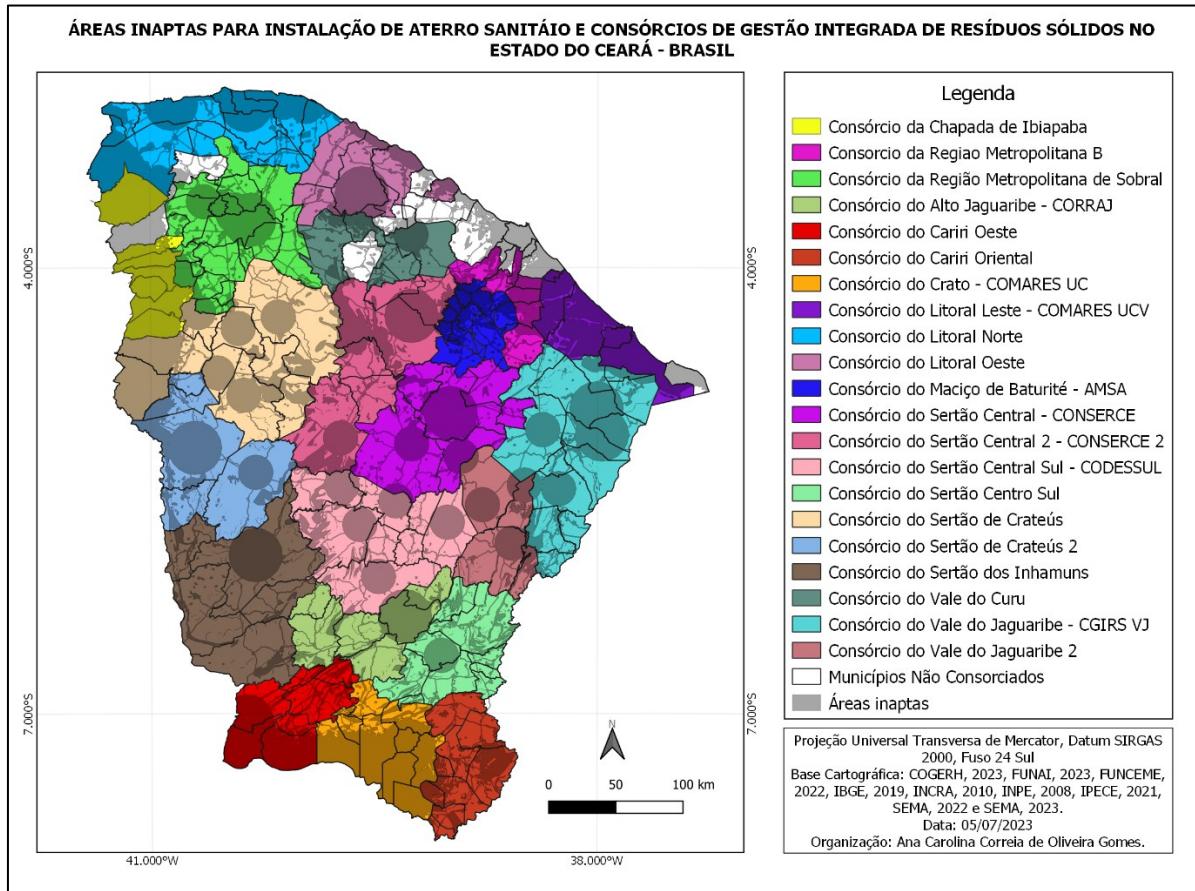


Figura 1 - Áreas inaptas para instalação de aterro sanitário por consórcio de gestão integrada de resíduos sólidos no estado do Ceará – Brasil

Fonte: Os autores (2023).

Tabela 4 - Quantificação das áreas inaptas para instalação de aterro sanitário no estado do Ceará de acordo com cada parâmetro

Parâmetros	Área (km <sup>2</sup> )	Proporção em relação a área total inapta (%)	Proporção em relação a área total do estado (%)
Estradas	9.155,83	8,96	6,15
Declividade	12.987,94	12,71	8,72
Distância de corpos hídricos (apenas rios principais e reservatórios)	3.090,72	3,02	2,08
Áreas protegidas	11.666,12	11,42	7,84
Distância de núcleos populacionais	18.599,06	18,2	12,49
Tipo de solo	14.488,02	14,18	9,73
Distância de aeroportos e campos de pouso	32.193,63	31,51	21,62

*Fonte: Os autores (2024)*

Destaca-se que alguns municípios possuem toda sua área classificada como inapta, são eles: Viçosa do Ceará, São Benedito, Carnaubal, Horizonte, Graça, Juazeiro do Norte, Barbalha, Mulungu, Guaramiranga, Pacoti, Salitre, Pindoretama, Cruz, Jijoca de Jericoacoara, Poranga, Fortaleza e Aquiraz (Figura 10 e Arquivo suplementar). Isto evidencia ainda mais a importância de consórcios intermunicipais para gestão integrada de resíduos sólidos. Apesar de não consorciado, o município de Fortaleza destina seus resíduos sólidos urbanos para o aterro sanitário instalado no município de Caucaia, já que apresenta todo seu território como inapto por conta da distância mínima de aeroportos e núcleos populacionais. Com relação aos consórcios existentes no Estado, a quantidade e proporção de áreas inaptas em cada um pode ser visualizada na Tabela 5.

*Tabela 5: Quantificação das áreas inaptas para instalação de aterro sanitário em cada consórcio*

Consórcio	Área inapta (km <sup>2</sup> )	Proporção em relação a área total do consórcio (%)
Consórcio da Chapada de Ibiapaba	4.058,67	97,0
Consórcio da Região Metropolitana B	1.442,86	58,6
Consórcio da Região Metropolitana de Sobral	3.567,33	41,9
Consórcio do Alto Jaguaribe - CORRAJ	1.914,69	35,2
Consórcio do Cariri Oeste	3.105,79	60,2
Consórcio do Cariri Oriental	1.660,15	34,3
Consórcio do Crato - COMARES UC	4.350,08	78,5
Consórcio do Litoral Leste - COMARES UCV	3.528,63	87,8
Consórcio do Litoral Norte	4.870,61	56,2
Consórcio do Litoral Oeste	2.308,50	46,0
Consórcio do Maciço de Baturité - AMSA	1.459,69	49,2
Consórcio do Sertão Central - CONSERCE	3.113,73	36,4
Consórcio do Sertão Central 2 - CONSERCE 2	4.378,81	47,8
Consórcio do Sertão Central Sul - CODESSUL	3.805,64	39,1
Consórcio do Sertão Centro Sul	1.711,40	29,8
Consórcio do Sertão de Crateús	6.549,44	50,2
Consórcio do Sertão de Crateús 2	3.273,47	39,9
Consórcio do Sertão dos Inhamuns	2.370,54	21,8
Consórcio do Vale do Curu	1.314,82	32,4
Consórcio do Vale do Jaguaribe - CGIRS VJ	4.759,10	42,0
Consórcio do Vale do Jaguaribe 2	2.034,36	42,7
Municípios Não Consorciados	3.839,23	57,4

*Fonte: Os autores (2024)*

Os consórcios da Chapada de Ibiapaba e Litoral Leste apresentam quase todo seu território inapto para instalação de aterro sanitário por causa, principalmente da característica do solo arenoso dessas regiões. Outros consórcios que possuem alta proporção de sua área inapta são o Consórcio do Crato, do Cariri Oeste e da Região Metropolitana B. Os

consórcios que possuem menores áreas aptas em km<sup>2</sup> são o Consórcio da Chapada de Ibiapaba, Consórcio do Litoral Leste, Consorcio da Região Metropolitana B, Consórcio do Crato e Consórcio do Maciço de Baturité, respectivamente.

Ressalta-se que através da utilização do geoprocessamento foi possível confeccionar os mapas e tabelas contendo as áreas aptas e inaptas para instalação de aterro sanitário no estado do Ceará. Desta forma, o geoprocessamento se mostra como uma ferramenta eficiente para utilização em estudos de Avaliação de Impacto Ambiental, assim como verificado nos trabalhos realizados por Dutra *et al.* (2020), Dias e Andrade (2020), Amaral e Lana, (2017), Carrilho *et al.* (2018), Lourenço *et al.* (2015) e Carvalho *et al.* (2019).

Dias e Andrade (2020), utilizaram como critérios para pré-seleção de áreas para implantação de aterro sanitário no município de Diamantina (MG) a distância de 200m de cursos d'água ou qualquer coleção hídrica; distância de 500m núcleos populacionais; estar fora do perímetro de Unidades de Conservação e estar em áreas entre 3% a 20% de declividade. Constataram que o solo foi o aspecto mais limitante na sua área de estudo, apresentando um valor final de apenas 0,89% de área apta para instalação.

Assim como neste estudo, Dutra *et al.* (2020) sobrepuiseram os mapas para determinar as áreas inaptas para instalação de aterro sanitário considerando áreas aptas àquelas com declividade menor do que 30%, solos com baixa permeabilidade, distância mínima de 300m de corpos hídricos, distância de 100m de ferrovias e rodovias e 500m de núcleos populacionais. O trabalho foi realizado no município de Esmeralda em Minas Gerais, sendo assim, utilizou-se os critérios estaduais para determinação. É possível perceber que o estado de Minas Gerais é 100m mais restritivo em relação às distâncias de corpos hídricos estabelecidos pela ABNT (2010), entretanto é 100m mais branda para distância de rodovias do que o IMASUL (2016). Amaral e Lan (2017) utilizaram as mesmas restrições empregadas por Dutra *et al.* (2020) por também ter sido realizada em Minas Gerais no município de Ouro Preto.

No trabalho de Lourenço *et al.* (2015), os autores constataram que nenhuma das áreas na região metropolitana de Sorocaba foi classificada como recomendada sem restrições, justifica-se pelo alto potencial poluidor e complexidade do empreendimento deste tipo, havendo muitos potenciais impactos ambientais negativos que muitas vezes não podem ser contornados. Também indicaram que o ranqueamento das áreas pré-selecionadas foi satisfatório por existir boa base de dados disponíveis, assim como encontrado neste estudo.

Carrilho *et al.* (2018), Carvalho, Junior e Lollo (2019) e Lourenço *et al.* (2015) utilizaram a metodologia de ponderação de atributos para classificação das áreas. Metodologias variadas utilizando os SIGs (Sistemas de Informação Geográfica) apresentaram resultados satisfatórios para determinação de áreas aptas e inaptas para instalação de aterro sanitário, podendo ser utilizado como pré-seleção das áreas.

Destaca-se que neste trabalho foram avaliados apenas os critérios geoambientais, mas para a escolha da área de instalação de um aterro sanitário deve-se avaliar outros fatores, tais como: a capacidade de recebimento dos resíduos; os custos com instalação e operação do aterro; vida útil; a aceitabilidade da comunidade circunvizinha; espessura do solo, compressibilidade e permeabilidade do solo, disponibilidade de material de cobertura, alterabilidade de materiais geológicos, substrato rochoso, profundidade do aquífero, vegetação, características climáticas, dentre outros.

#### 4. Considerações finais

O geoprocessamento é uma ferramenta eficaz que pode ser utilizada nos trabalhos de AIA para pré-seleção das áreas aptas para instalação de aterros sanitários.

Arquivos vetoriais em bancos de dados oficiais podem ser utilizados para seleção de áreas, entretanto, dependendo da escala, o trabalho deve ser complementado com visitas de campo e análises laboratoriais.

O estabelecimento de consórcios para implantação de aterros sanitários é importante não apenas para propiciar a redução de custos, mas também porque alguns municípios possuem a totalidade de sua área classificada como inapta para implantação de aterro sanitário, ou áreas insuficientes para tal.

O estado do Ceará possui 68,63% das áreas inaptas para instalação de aterro sanitário considerando distância mínima de estradas, corpos hídricos (rios principais e reservatórios), núcleos populacionais, aeroportos e campos de pouso, estar fora de áreas protegidas e de solos arenosos.

Este trabalho apresenta uma pré-seleção das áreas, devendo ser levado em consideração também amostras de campo, fatores adicionais e questões políticas para viabilizar as áreas de implantação de aterros sanitários.

## Referências

- ABNT. NBR 13896:1997 Aterros de resíduos não perigosos - Critérios para projeto, implantação e operação. [s.l: s.n.]. Available at: <https://pergamum.ufc.br/pergamum/biblioteca/index.php>. Accessed on: 15 jun. 2023.
- ABNT. NBR 15849:2010 Resíduos sólidos urbanos – Aterros sanitários de pequeno porte – Diretrizes para localização, projeto, implantação, operação e encerramento. [s.l: s.n.]. Available at: <https://pergamum.ufc.br/pergamum/biblioteca/index.php>. Accessed on: 15 jun. 2023.
- AMARAL, D. G. P.; LANA, C. E. Uso de geoprocessamento para indicação de áreas favoráveis à construção de aterro sanitário no município de Ouro Preto (MG) / Geographical information systems for indication of favorable areas to the sanitary landfill construction in Ouro Preto city (MG). Caderno de Geografia, v. 27, n. 49, p. 368, 2 maio 2017.
- 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). Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 23, n. 1, p. 201–206, 1 jan. 2018.
- CARVALHO, M. B. DE et al. Pré-seleção de Áreas para Implantação de Aterros Sanitários: Abordagem Composta Aplicada ao Município de Mirandópolis, SP. Geosciences = Geociências, v. 38, n. 3, p. 717–729, 19 dez. 2019.
- CEARÁ. Plano Estadual de Resíduos Sólidos do Estado do Ceará. [s.l: s.n.]. Available at: <https://www.sema.ce.gov.br/wp-content/uploads/sites/36/2018/12/Caderno-Banco-de-Dados.pdf>. Accessed on: 5 jun. 2023.
- CEARÁ. Cenário Atual do Saneamento Básico no Ceará. Fortaleza: Assembleia Legislativa do Estado do Ceará, 2021.
- COGERH. i3Geo. Available at: <http://i3geo.cogerh.com.br/i3geo/ogc/download.php#>. Accessed on: 23 jun. 2023.
- CONAMA. Resolução CONAMA nº 004, de 09 de outubro de 1995. Available at: <https://www.ibama.gov.br/sophia/cnia/legislacao/MMA/RE0004-040594.PDF>. Accessed on: 13 dez. 2024.
- CONAMA. Resolução CONAMA nº 404, de 11 de novembro de 2008. Brasil. CONAMA, , 11 nov. 2008. Available at: [http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=8931#\\_ftn4](http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=8931#_ftn4). Accessed on: 15 jun. 2023
- DIAS, L.; ANDRADE, A. Uso de Geoprocessamento para Indicação de Áreas Favoráveis à Construção de Aterro Sanitário no Município de Diamantina (MG). Revista Geográfica Acadêmica, v. 14, n. 2, p. 88–99, 20 dez. 2020.
- DUTRA, D. J. et al. Seleção de área para construção de aterro sanitário no município de Esmeraldas, MG, a partir da utilização de ferramentas de geoprocessamento. Revista Geográfica Acadêmica, v. 13, n. 2, 1 jul. 2020.
- EMBRAPA. Sistema brasileiro de classificação de solos. 5. ed. Brasília: EMBRAPA, 2018.
- FUNAI. Terras Indígenas. Available at: <https://www.gov.br/funai/pt-br/atuacao/terras-indigenas/geoprocessamento-e-mapas>. Accessed on: 23 jun. 2023.
- IBGE. Áreas urbanizadas do Brasil : 2019. Available at: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/cartas-e-mapas/redes-geograficas/15789-areas-urbanizadas.html?=&t=acesso-ao-produto>. Accessed on: 26 jun. 2023.

- 
- IMASUL. Critérios para Pré-seleção de Áreas para Implantação de Aterros Sanitários. [s.l: s.n.]. Available at: <https://www.imasul.ms.gov.br/wp-content/uploads/2016/01/Crit%C3%A9rios-para-sele%C3%A7%C3%A3o-de-%C3%A1reas-de-aterro-sanit%C3%A1rio.pdf>. Accessed on: 15 jun. 2023.
- INCRA. Certificação. Available at: [https://certificacao.incra.gov.br/csv\\_shp/export\\_shp.py](https://certificacao.incra.gov.br/csv_shp/export_shp.py). Accessed on: 23 jun. 2023.
- INPE. TOPODATA Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil. Available at: <http://www.dsr.inpe.br/topodata/>. Accessed on: 29 jun. 2023.
- IPECE. Ceará em Mapas Interativos. Available at: <http://mapas.ipece.ce.gov.br/i3geo/ogc/index.php>. Accessed on: 23 jun. 2023.
- LOURENÇO, R. W. et al. Metodologia para seleção de áreas aptas à instalação de aterros sanitários consorciados utilizando SIG. Ciência e Natura, v. 37, n. 4, p. 122–140, 2015.
- SÁNCHEZ, L. E. Avaliação de impacto ambiental. 3. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2020.
- SEMA. Consórcios de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos no Ceará 2022. Secretaria do Meio Ambiente, , 2022. Available at: <https://www.sema.ce.gov.br/wp-content/uploads/sites/36/2022/08/Mapa-Consocio-2022.pdf>. Accessed on: 15 jun. 2023
- SEMACE. Consulta de Processos de Licenciamento Ambiental. Available at: <https://mobile.semace.ce.gov.br/consultaProcesso>. Accessed on: 22 jun. 2023.
- SILVA, A. K. M.; MOTA, F. S. B. Caracterização dos resíduos sólidos urbanos: aproveitamento do biogás. 1. ed. Curitiba: Appris, 2019.
- SINIR. Relatório Nacional de Gestão de Resíduos Sólidos. Sistema Nacional de Informações sobre a Gestão dos Resíduos Sólidos, , 2019. Available at: <https://sinir.gov.br/relatorios/nacional/>. Accessed on: 15 jun. 2023
- ZHANG, C. et al. Greenhouse gas emissions from landfills: A review and bibliometric analysis. Sustainability (Switzerland), MDPI, , 1 abr. 2019.