

## Análise Multicritério na Seleção de Áreas para Implantação de Aterros Sanitários no Litoral do Paraná

Viviane Oliveira Machado Munaro <sup>1\*</sup>, Mauricio Almeida Noernberg <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Graduada em Engenharia Ambiental e Sanitária, Universidade Federal do Paraná, Brasil. (\*vivanemunaro@ufpr.br)

<sup>2</sup> Pós-Doutorado em Oceanografia, na Plymouth University, Inglaterra.

*Histórico do Artigo:* Submetido em: 18/05/2023 – Revisado em: 07/07/2023 – Aceito em: 16/09/2023

### RESUMO

O litoral paranaense é relativamente pequeno e conhecido pelo grande número de Unidades de Conservação e, conseqüentemente, boa preservação do bioma Mata Atlântica. Isso restringe a disponibilidade de locais para a implantação de empreendimentos potencialmente poluidores, como é o caso dos aterros sanitários, os quais possuem restrições ambientais para sua implantação. Para auxiliar no processo de busca por locais viáveis, este trabalho lançou mão de metodologias de Análise Multicritério de Apoio a Decisão (AMD) baseada em Sistema de Informações Geográficas (SIG), a fim de compor mapas temáticos dos critérios limitantes na alocação do empreendimento integrando através de metodologia do Processo de Análise Hierárquica (AHP). O Litoral foi classificado de acordo com os fatores ambientais e sociais, assim, 85% das áreas foram classificadas como proibidas e 0,02 como muito favoráveis. Por fim, foram indicadas áreas próximas aos centros urbanos do litoral do Paraná com potencial para a execução de aterros sanitários.

**Palavras-Chaves:** Resíduos Sólidos, SIG, Análise Hierárquica, Tomada de Decisão.

## Multicriteria Analysis in the Selection of Areas for the Implementation of Sanitary Landfills on the Coast of Paraná

### ABSTRACT

The coast of Paraná is relatively small and known for its large number of Conservation Units and, consequently, good preservation of the Atlantic Forest biome. This restricts the availability of locations for the implementation of potentially polluting projects, such as landfills, which have environmental restrictions for their implementation. To assist in the search process for viable locations, this work used Multicriteria Decision Support Analysis (AMD) methodologies based on a Geographic Information System (GIS), in order to compose thematic maps of the limiting criteria in the allocation of the enterprise integrating through the Hierarchical Analysis Process (AHP) methodology. The Coast was classified according to environmental and social factors, thus 85% of the areas were classified as prohibited and 0.02 as very favorable. Finally, areas close to urban centers on the coast of Paraná with potential for landfills were identified.

**Keywords:** Solid Waste, GIS, Hierarchical Analysis, Decision Making.

Munaro, V. O. M., Noernberg, M. A., D (2023). Análise Multicritério na Seleção de Áreas para Implantação de Aterros Sanitários no Litoral do Paraná. *Revista Brasileira de Sensoriamento Remoto*, v.4, n.3, p.13-32.



Direitos do Autor. A revista utiliza a licença *Creative Commons* - CC Atribuição Não Comercial 4.0 CC-BY-NC.

## 1. Introdução

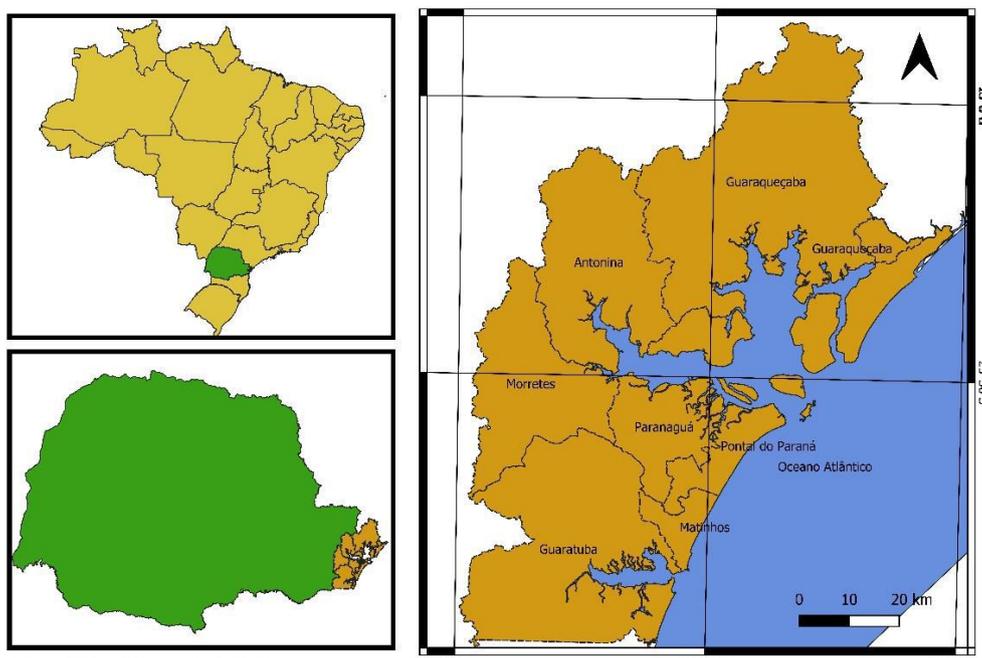
Com o novo marco do saneamento básico, estabelecido pela Lei 14.026 de 15 de julho de 2020 (Brasil, 2020), o qual obriga os municípios a se adequarem à Lei no que tange os serviços de abastecimento de água potável, esgotamento sanitário, limpeza urbana, manejo de resíduos sólidos, drenagem e manejo das águas pluviais urbanas, os municípios devem buscar áreas para a alocação de empreendimentos de aterros sanitários visando atender a população local e flutuante em consonância com os aspectos ambientais restritivos impostos pelas normativas ABNT NBR 8419 (1992), a ABNT NBR 13896 (1997) e a ABNT NBR 15849 (2010).

A adequação às normativas trazem um desafio aos gestores públicos e à sociedade civil na busca por áreas adequadas para instalação de aterros sanitários ambientalmente, legalmente e economicamente viáveis. Estas adequações são mais desafiadoras em regiões ambientalmente complexas e protegidas como o litoral do Paraná.

O litoral paranaense (Figura 1) possui grande diversidade geológica, cultural, de vegetação e de economia. Considerado como um dos redutos de preservação da mata atlântica brasileira, possui 80% de seu território destinado à preservação (Pierri et. al., 2006).

Com uma economia variada entre atividade portuária, pesca, agricultura e turismo sazonal, tem sua população variando de acordo com a época do ano, sendo nos meses de verão o período com maior população flutuante (Pierri, 2003). Guaratuba, por exemplo, com uma população autóctone de aproximadamente 33.000 habitantes, chegou a receber 500.000 (quinhentos mil) turistas na temporada de 2008 (Scheuer, 2011). Esta população sazonal causa acréscimo na produção de resíduos urbanos e o exaurimento da vida útil dos aterros já concebidos.

**Figura 1** – Local do Estudo



Fonte: Observatório do Litoral Paranaense - UFPR (2022)

A fim de adequar os municípios às metas previstas no marco do saneamento, os gestores de cada localidade devem realizar um planejamento de médio/longo prazo como objetivo de destinar áreas viáveis para a implantação de aterros sanitários. Uma ferramenta possível para auxiliar na escolha destas áreas é a utilização

do Método de Análise Hierárquica (AHP), para facilitar a abordagem e conexão dos critérios envolvidos na seleção de áreas para os aterros sanitários, método que consiste na adoção de pesos para os critérios, a partir de uma análise qualitativa.

Desta forma, este trabalho se propõe a identificar áreas viáveis para o estabelecimento de aterros sanitários no litoral do Paraná utilizando Sistema de Informações Geográficas (SIG) e Análise Multicritério de Apoio a Decisão (AHP - *Analytic Hierarchy Process*).

## 2. Material e Métodos

Para o dimensionamento do aterro sanitário foi estabelecida uma vida útil de 16 anos e dados do IBGE (IBGE, 2022) para as estimativas populacionais dos municípios da região. O valor de massa média per capita recolhida utilizado foi de  $0,87 \text{ kg} \cdot \text{hab}^{-1} \cdot \text{dia}^{-1}$  (CGPC), conforme o Diagnóstico Temático - Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos 2020 (SNIS, 2021).

A massa bruta de resíduos sólidos gerada a cada ano por município ( $RSU_i$ ) e destinada ao aterro sanitário foi estimada através da Equação 1, proposta por Lourenço et al (2015).

$$RSU_i = P_i \times CGPC \times 365/1000 \quad (1)$$

Onde  $RSU_i$  é a massa de resíduo coletado no ano ( $i$ ) ( $\text{ton} \cdot \text{ano}^{-1}$ );  $P_i$  é a população no ano ( $i$ );  $CGPC$  o coeficiente de geração per capita de  $RSU$  ( $\text{Kg} \cdot \text{hab}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$ ).

O volume final de resíduos sólidos confinado no aterro sanitário, foi obtido segundo Salamoni, Pinheiro e Nummer (2009) (Equação 2).

$$V_{RSU} = \left( \frac{RSU}{DRS} \right) + V_{RC} \quad (2)$$

Onde  $RSU$  é a massa de resíduo sólido urbano coletado no ano ( $\text{ton} \cdot \text{ano}^{-1}$ );  $V_{RSU}$  o volume do resíduo sólido urbano no aterro sanitário em  $\text{m}^3$ ;  $DRS$  o peso específico do resíduo após sua compactação ( $\text{ton} \cdot \text{m}^{-3}$ ) e  $V_{RC}$  o volume de solo do recobrimento da célula em  $\text{m}^3$ .

Os valores de  $DRS$  e  $V_{RC}$  foram obtidos da literatura, sendo  $910 \text{ Kg} \cdot \text{m}^{-3}$  e 30% respectivamente (Lourenço et al, 2015).

O cálculo da área do aterro sanitário (Equação 3) é obtido pela razão do  $V_{RSU}$  enterrado pela altura de 30 metros, somado a um acréscimo de 50% para a locação da área de infraestrutura (Lourenço et al, 2015).

$$A_t = \frac{V_{RSU}}{h} + A_{IE} \quad (3)$$

Onde  $A_t$  é a área total prevista do aterro sanitário ( $\text{m}^2$ );  $h$  a altura média de cada parcela de aterro (m) e  $A_{IE}$  a área de infraestrutura do aterro ( $\text{m}^2$ ).

A Tabela 1, apresenta a projeção da massa total de resíduos sólidos para cada município gerador do litoral paranaense e a área total destinada para sua devida locação no aterro sanitário.

**Tabela 1** - Estimativa do total de resíduos sólidos urbanos coletados e as áreas necessárias para o aterro sanitário para um período de 16 anos (2038)

<b>Município</b>	<b>RSU acumulado (t)</b>	<b>Volume (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Área (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Área (ha)</b>
Guaraqueçaba	36.653	52.361	2.618	0,262
Antonina	94.828	135.469	6.773	0,677
Morretes	85.441	122.059	6.103	0,610
Paranaguá	851.603	1.216.576	60.829	6,083
Pontal do Paraná	171.467	244.953	12.248	1,225
Matinhos	202.399	289.141	14.457	1,446
Guaratuba	212.243	303.204	15.160	1,516

Fonte: Os autores (2022)

Os parâmetros fisiográficos utilizados na definição dos critérios locais foram integrados e analisados no sistema de informações geográficas de livre acesso QGIS versão 3.16 Hannover (<https://www.qgis.org>), bem como a análise multicritério de apoio a decisão.

Os parâmetros utilizados na análise foram: declividade, solo, corpos hídricos, núcleos populacionais, rodovias, unidades de conservação, terras indígenas e sambaquis. A preparação dos parâmetros fisiográficos e a definição dos critérios locais sobre esses utilizados na análise locacional são descritos a seguir.

A declividade da região foi estimada a partir do modelo digital de elevação do banco de dados geomorfométricos do Brasil (TOPODATA – INPE), disponíveis em <http://www.dsr.inpe.br/topodata>, acesso em 17/07/2022. A declividade máxima para a implantação do aterro sanitário é de 30% ABNT NBR 13896 (1997). Desta forma, através de lógica booleana, declividades até a 30% representam área permitida e áreas acima de 30% área restringida. Considerando somente as áreas permitidas, foram criadas três classes com intervalo de 10% de declividade a fim de atribuir pesos para o uso na análise multicritério.

O tipo de solo é importante na análise locacional, pois deve apresentar baixa percolação do chorume a fim de evitar seu contato com o lençol freático e, conseqüentemente, contaminação. A ABNT NBR 13896 (1997) recomenda que o solo na região do aterro, ou materiais disponíveis, devem ser homogêneos com coeficiente de permeabilidade inferior a  $10^{-6}$  cm.s<sup>-1</sup>.

As informações dos tipos de solo da região foram extraídas da base de dados do Instituto Água e Terra do Paraná (disponível em <https://www.iat.pr.gov.br/pagina/dados-e-informacoes-geoespaciais-tematicos>), acesso em 10/08/2022) e as características de textura e drenagem baseadas em EMBRAPA (2018). As classes de drenagem do solo são: excessivamente drenado, fortemente drenado, acentuadamente drenado, bem drenado, moderadamente drenado, imperfeitamente drenado, mal drenado e muito mal drenado.

A Tabela 2 apresenta os tipos de solo encontrados no litoral paranaense, suas características de textura e drenagem. Levando em consideração essas características foi estabelecida uma escala arbitrária de 0 a 1 indicando o grau de viabilidade do solo para implantação de aterro, onde 0 (zero) indica um solo com característica arenosa e que se encontra constantemente saturado e com proximidade do lençol freático, e 1 (um) para solos imperfeitamente drenados. Locais com afloramentos rochosos foram excluídos da análise pela impossibilidade de movimentação de maquinários.

**Tabela 2** - Tipos de solo, características texturais, drenagem e índice de viabilidade

<b>Tipo de Solo</b>	<b>Textura</b>	<b>Drenagem</b>	<b>Valor atribuído</b>
Argissolos	Varia de arenosa a argilosa no horizonte A e de média a muito argilosa no horizonte B, sempre havendo aumento de argila daquele para este	Forte a imperfeitamente drenado	1
Latossolos	De um modo geral, os teores da fração argila no <i>solum</i> aumentam gradativamente com a profundidade ou permanecem constantes ao longo do perfil	Variam de fortemente a bem drenados	0,8
Espodossolos	Predominantemente arenosa	-	0,1
Cambissolos	Tem textura francoarenosa ou mais argilosa	Fortemente até imperfeitamente drenados	0,5
Gleissolos	Podem ter textura arenosa somente nos horizontes superficiais, desde que seguidos de horizonte glei de textura francoarenosa ou mais fina.	Encontram permanente ou periodicamente saturados por água, são solos mal ou muito mal drenados em condições naturais	0,1

Fonte: Adaptado EMBRAPA (2018)

Para os parâmetros de afastamento de corpos hídricos foi utilizado a definição da Lei n. 12.651/2012 (Brasil, 2012), a qual trata sobre as áreas de proteção permanentes (APP) ao entorno de corpos hídricos. Entretanto, para facilitar os processos de aplicação de APP para os corpos hídricos, foi utilizado a orientação da ABNT NBR 13896 (1997) que define a área de restrição com distância mínima de 200 metros de qualquer curso d'água, a fim de se evitar contaminação pelo chorume.

Os dados dos corpos hídricos e da linha de costa foram obtidos em formato *shapefile* do sítio do observatório do litoral paranaense (disponível em <<https://litoral.ufpr.br/observatoriolitoral/geodados/arquivos-shapefile>>, acesso em 20/08/2022). Nestes foi aplicado uma zona de amortecimento (*buffer*) de 200 metros para cada lado dos rios para compor a área de exclusão dos corpos hídricos.

Para diminuir os impactos do aterro aos núcleos urbanos próximos, como mau cheiro, poluição visual e desvalorização imobiliária por exemplo, a ABNT NBR 13896 (1997) estabelece um distanciamento mínimo de 500 metros a partir da borda da mancha urbana como região de restrição.

As definições dos núcleos populacionais para aplicação do *buffer* de distância foram obtidas através do sítio da EMBRAPA (disponível em <[http://geoinfo.cnpm.embrapa.br/layers/geonode%3Aareas\\_urbanas\\_br\\_15](http://geoinfo.cnpm.embrapa.br/layers/geonode%3Aareas_urbanas_br_15)>, acessado em 05/08/2022).

O fator econômico relacionado a esse parâmetro de distância dos núcleos populacionais aos núcleos geradores de resíduos, também foi considerado. A maior distância entre o aterro e o núcleo gerador incorre em um maior custo operacional do aterro sanitário. Desta forma, a partir do critério de restrição (500 metros) foram atribuídos progressivamente menores valores para as maiores distâncias dos núcleos populacionais.

Um dos passivos financeiros durante a implementação de um aterro sanitário e no decorrer de sua vida útil é o transporte dos resíduos para o local de deposição. A proximidade do aterro a vias de acesso adequadas diminui os custos de transporte dos resíduos. O plano de informação da rede viária da região foi obtido do Observatório do Litoral Paranaense (disponível em <<https://litoral.ufpr.br/observatoriolitoral/geodados/arquivos-shapefile>>, acessado em 21/08/2022).

Foi definido como faixa de restrição a distância 500 metros de cada margem das estradas. A partir desta distância, foi estipulado o critério de valores maiores para a distância de 500 metros e valores menores a cada 500 metros de distância, dentro de uma escala de 0 a 1.

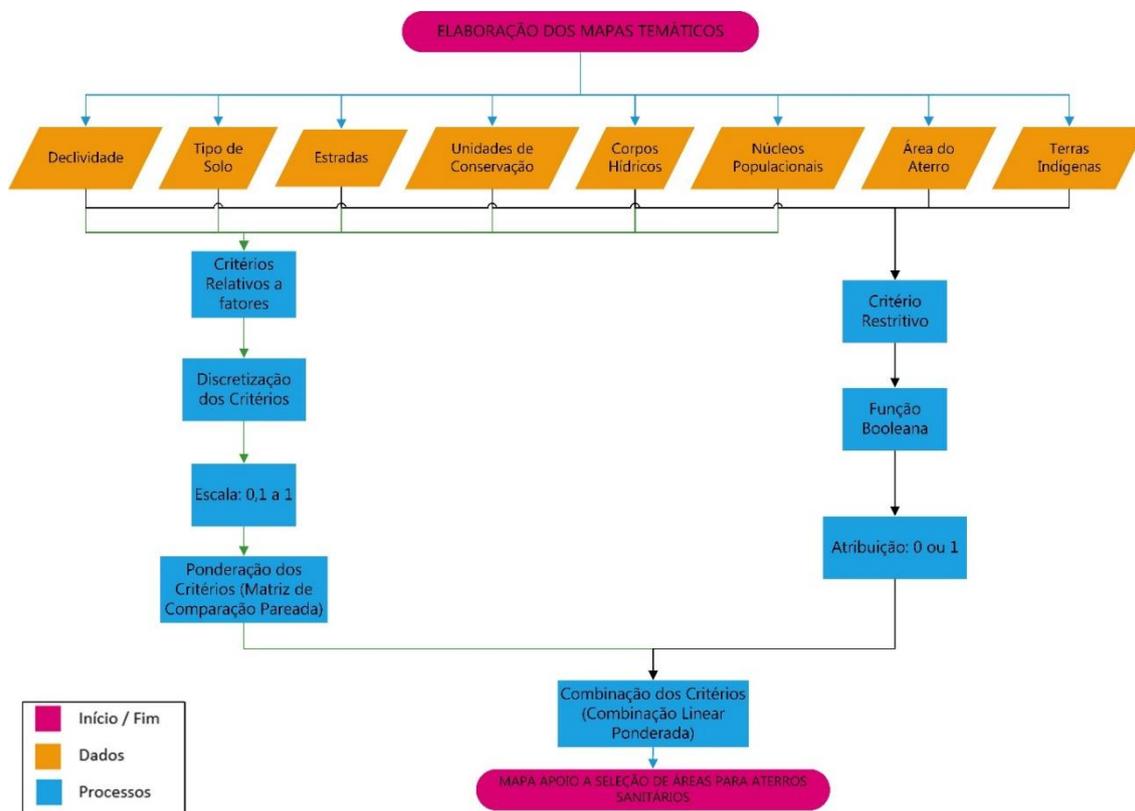
As unidades de conservação são divididas conforme a Lei 9.985 de 18 de julho de 2000 (Brasil, 2000) em seu Artigo 7º em Unidades de Proteção Integral e Unidades de Uso Sustentável. Não são admitidos empreendimentos que gerem impactos ao meio ambiente em Unidades de Proteção Integral, sendo estas áreas excluídas na busca para a alocação do aterro sanitário. Entretanto, para as Unidades de Uso Sustentável foi verificado o plano de manejo de cada uma delas (Paraná, 2006; Paraná, 2015; Paraná, 1998), e assim avaliada a possibilidade de alocação do empreendimento.

O plano de informação com as delimitações das Unidades de Conservação da região foi obtido através do sítio GEONODE vinculado a Prefeitura de Paranaguá (disponível em < <https://geonode.paranagua.pr.gov.br/>>, acessado em 25/08/2022). As UCs foram divididas em restringidas e permitidas para implantação de aterro sanitário.

No litoral paranaense vivem comunidades indígenas da etnia *Guarani Mbya*, divididas nas aldeias *Tekoa Pindoty* na Ilha da Cotinga, *Guaviraty* em Pontal do Paraná e *Kuaray Guata Porã* em Guaraqueçaba, conforme descrito por Margarida e Martins (2019). Segundo a Constituição da República Federativa do Brasil, nestas áreas são proibidos empreendimento como aterros sanitários municipais ou de consórcio intermunicipal (Brasil, 1988).

As etapas de análise multicritérios para a geração do mapa de áreas favoráveis à implementação de aterros sanitários é apresentada na forma de um organograma (Figura 2).

**Figura 2** - Organograma da análise multicritério para a seleção de áreas favoráveis para a instalação de aterros sanitários



Fonte: Os autores (2022)

## 2.1 Refinamento e tratamento dos dados

As camadas vetoriais foram transformadas em arquivos raster e os índices de cada parâmetro atribuído aos respectivos *pixels*. Os índices foram atribuídos de forma arbitrária, levando em consideração os impactos sociais, ambientais e econômicos envolvidos. Os critérios com os respectivos índices são apresentados na Tabela 3.

**Tabela 3** - Classificação dos critérios e seus respectivos índices

Parâmetro	Proximidade/Critérios	Índices
Corpos Hídricos	Água	Restringido
	0 – 200 m	Restringido
	200 – 500 m	0,1
	500 – 1.000 m	0,4
	1.000 – 2.000 m	0,6
	> 2.000 m	1
Declividade	0 – 1%	Restringido
	1 – 10%	1
	10 – 20%	0,8
	20 – 30%	0,6
	> 30%	Restringido
Núcleos Populacionais	Núcleo Populacional	Restringido
	0 – 500 m	Restringido
	500 – 2.000	0,4
	2.000 – 5.000 m	0,6
	5.000 – 10.000 m	0,8
Rodovias	> 10.000 m	1
	Rodovias	Restringido
	0 – 500 m	Restringido
	500 – 1.000	0,6
	1.000 – 3.000	1
Unidades de Conservação	> 3.000 m	0,8
	UC	Restringido
	< 200 m	0,5
	200 – 1000 m	0,8
Tipos de Solos	> 1.000 m	1
	Afloramento de Rocha	Restringido
	Gleissolos	0,1
	Espodossolos	0,1
	Cambissolos	0,5
	Latossolos	0,8
Argissolos	1	

Terras Indígenas e Sambaquis	-	Restringido
------------------------------	---	-------------

Fonte: Os autores (2022)

Para a composição dos pesos atribuídos aos parâmetros foi utilizado o método *AHP*, onde os critérios não restritivos são comparados de forma pareada, juntamente com os respectivos pesos (Tabela 4). Os valores obtidos para as combinações par a par foram baseados em uma escala de intensidade de importância utilizada pelo método de Saaty, estes foram coletados a partir de uma pesquisa, realizada através de questionário com cinco especialistas do Campus Pontal do Paraná da Universidade Federal do Paraná.

**Tabela 4** - Processo de Análise Hierárquica

	Solos	Corpos Hídricos	Declividade	UC	Núcleos Populacionais	Estradas	Pesos
<b>Solos</b>	<b>1</b>	1	5	6	8	9	<b>0.354</b>
<b>Corpos Hídricos</b>	1.00	<b>1</b>	4	5	6	8	<b>0.295</b>
<b>Declividade</b>	0.20	0.25	<b>1</b>	2	6	7	<b>0.194</b>
<b>UC</b>	0.17	0.20	0.50	<b>1</b>	1	3	<b>0.069</b>
<b>Núcleos Populacionais</b>	0.13	0.17	0.17	1.00	<b>1</b>	3	<b>0.064</b>
<b>Estradas</b>	0.11	0.13	0.14	0.33	0.33	<b>1</b>	<b>0.024</b>

Fonte: Os autores (2022)

Para o cálculo da razão de consistência, o autovalor da matriz deve ser encontrado fazendo uso da Equação 4.

$$\lambda_{m\acute{a}x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{[AP]_i}{P_i} \quad (4)$$

Onde  $\lambda_{m\acute{a}x}$  é o autovalor máximo da matriz de decisão *AHP*;  $n$  é a ordem da matriz de decisão *AHP*;  $A$  é a matriz de decisão *AHP* e  $P$  é o peso matriz de decisão *AHP* (AutoVetor).

Com o autovalor ( $\lambda$ ), é calculado o Índice de Consistência (*IC*), através da Equação 5.

$$IC = \frac{(\lambda_{m\acute{a}x} - n)}{(n - 1)} \quad (5)$$

Onde *IC* é o índice de consistência.

Para a Razão de Consistência (*RC*) foi necessário definir o Índice Randômico (*IR*). O *IR* é o índice de consistência obtido para uma matriz randômica recíproca, com elementos não-negativos, para vários tamanhos de matriz  $n$  foram aproximados por Saaty, como demonstra a Tabela 5.

**Tabela 5 - Índices de Consistência Randômicos (*IR*)**

<b>n</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>
<b>IR</b>	0	0	0,52	0,89	1,11	1,25	1,35	1,40	1,45	1,49

Fonte: Saaty e Vargas (1991)

Por fim, a Razão de Consistência (*RC*) é calculada a partir da Equação 6.

$$RC = \frac{IC}{IR} \quad (6)$$

Onde *RC* é a razão de consistência e *IR* é o índice randômico.

A razão de consistência do método resultou em um valor de 9,4%, o que demonstra estar de acordo com o que preconiza a metodologia de Saaty (1980), ou seja, valor inferior a 0,1 (10%).

## 2.2 Combinação Linear Ponderada

Após a conversão das camadas vetoriais dos critérios em camadas rasterizadas, foi realizada a combinação dos parâmetros. Para isso, foi utilizado o método de Combinação Linear Ponderada (Ferreira, Koproski e Zanott, 2011), que combina os parâmetros através de uma média ponderada. Para as áreas impeditivas como unidades de conservação, áreas de preservação permanente, centros populacionais, margens de rios e estradas foi utilizada a lógica booleana para incorporar estas áreas ao mapa. Assim, pôde ser calculado o valor final de cada *pixel*, o qual é dado pela Equação 7.

$$V = (\sum_{i=1}^n P_i X_i) X_r \quad (7)$$

Onde *V* é o valor final do pixel; *P<sub>i</sub>* é o peso do fator *i*; *X<sub>i</sub>* é o índice do fator *i* e *X<sub>r</sub>* é o índice do fator restritivo (valor 0 ou 1).

## 3. Resultados e Discussão

Após a aplicação dos critérios e exclusão das áreas impedidas, obteve-se um mapa temático com pontuações dentro da escala de 0 a 1, condizente com a Tabela 6.

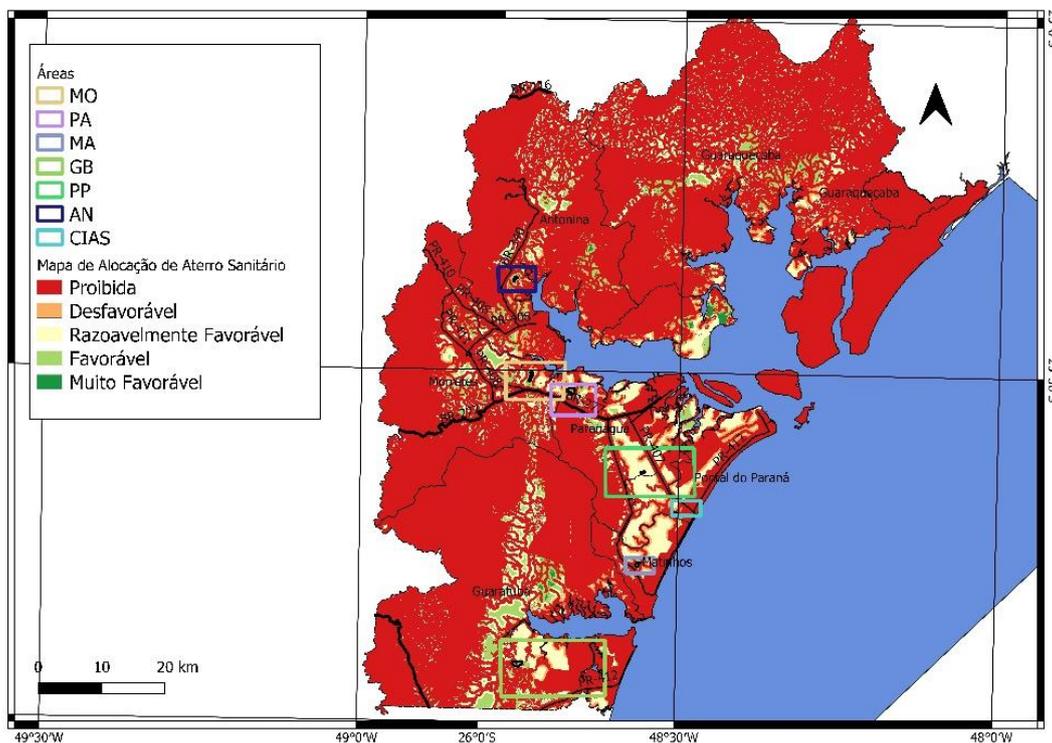
**Tabela 6 – Classes de Viabilidade**

<b>Classes</b>	<b>Pontuação</b>
Proibida	0 a 0,2
Desfavorável	0,2 a 0,4
Razoavelmente Favorável	0,4 a 0,6
Favorável	0,6 a 0,8
Muito Favorável	0,8 a 1

Fonte: Os autores (2022)

Os valores foram divididos em 5 classes de viabilidade para a implantação de um aterro sanitário (Figura 3):

**Figura 3 - Mapa de viabilidade de implantação de aterro sanitário**



Fonte: Os autores (2022)

Em relação às áreas disponíveis, foi constatado que a maior parte do litoral paranaense é proibido para a alocação do empreendimento, conforme apresenta na Tabela 7. Esta grande área classificada como proibida se dá pelo fato de a região estudada estar circundada pela Serra do Mar, possuindo grandes declividades em suas encostas, gerando várias bacias hidrográficas espalhadas pela planície costeira e possuindo diversas áreas de mangue, restinga e mata atlântica, protegidas por serem APP ou por estarem dentro de UCs.

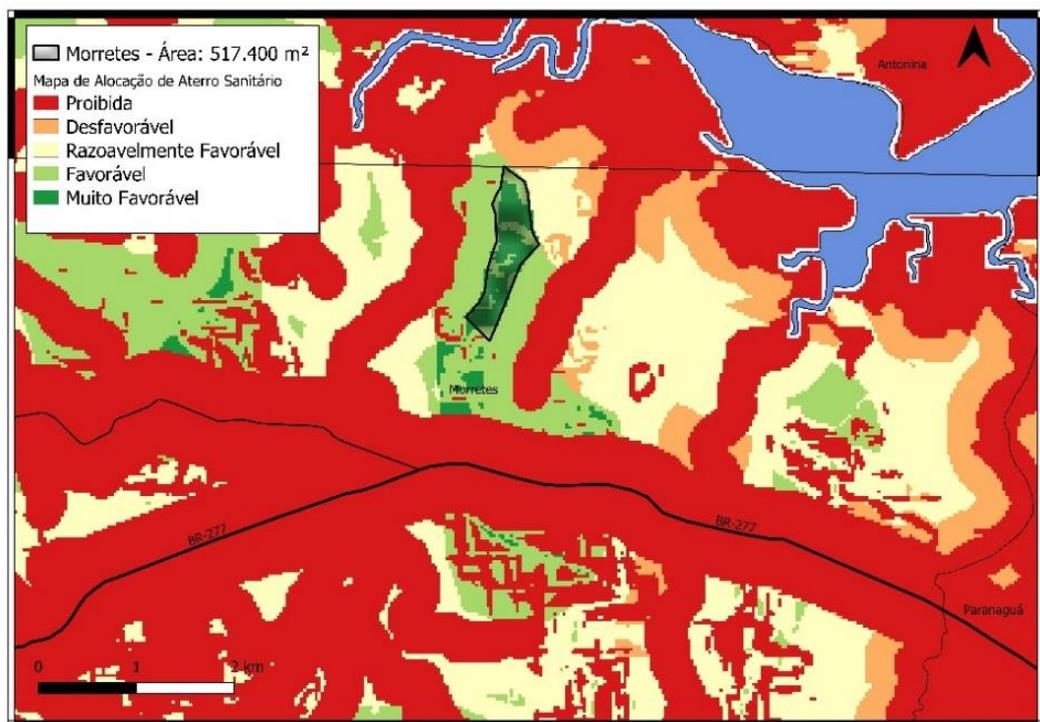
Tabela 7 - Classificação das áreas para a alocação de um aterro sanitário

Classificação	Área (m <sup>2</sup> )	%
Proibidas	4.601.665.600	85,56%
Desfavorável	181.902.400	3,38%
Razoavelmente Favorável	492.177.000	9,15%
Favorável	100.945.400	1,88%
Muito Favorável	1.321.700	0,02%
Total	5.378.012.100	

Fonte: Os autores (2022)

A partir do mapa de viabilidade de implantação para aterros sanitários foi possível identificar áreas favoráveis e com dimensões adequadas em cada município estudado. A primeira área identificada, localiza-se próximo ao município de Morretes com uma extensão de 563.350 m<sup>2</sup>, e denominada de MO. Esta área é quase 85 vezes maior do que a área calculada na Tabela 1 para o aterro sanitário no município de Morretes, e está situada a 1 km de distância da BR-277, a 1,2 km afastado do corpo hídrico mais próximo e a 17 km da cidade de Paranaguá (Figura 4).

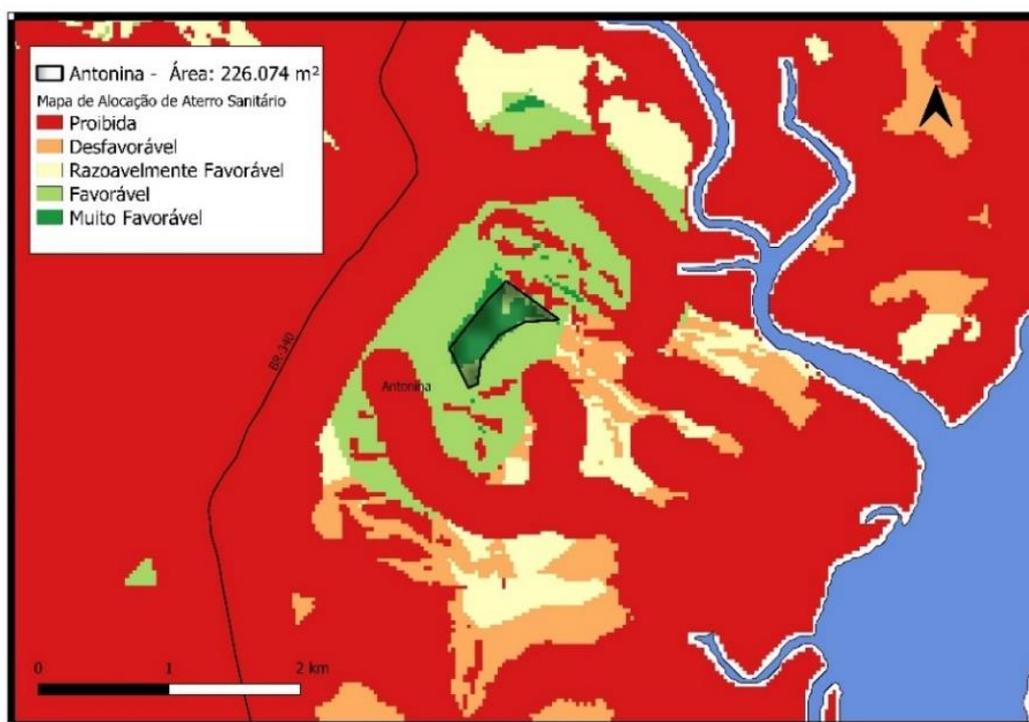
**Figura 4** – Mapa de viabilidade de implantação de aterro sanitário - “Área MO”



Fonte: Os autores (2022)

Dentro dos limites municipais de Antonina, foi encontrada uma região com área de 226.074 m<sup>2</sup> propícia para a instalação de aterro sanitário (ÁREA AN) distante 1km da BR 340, rodovia que liga o município de Antonina com o de Guaraqueçaba, e 8 km da PR 408, próximo à entrada do município de Antonina. Embora esta área esteja classificada como muito favorável (Figura 5), possui o impacto financeiro por estar longe dos centros de geração de resíduos.

**Figura 5** - Mapa de viabilidade de implantação de aterro sanitário - “ÁREA AN”

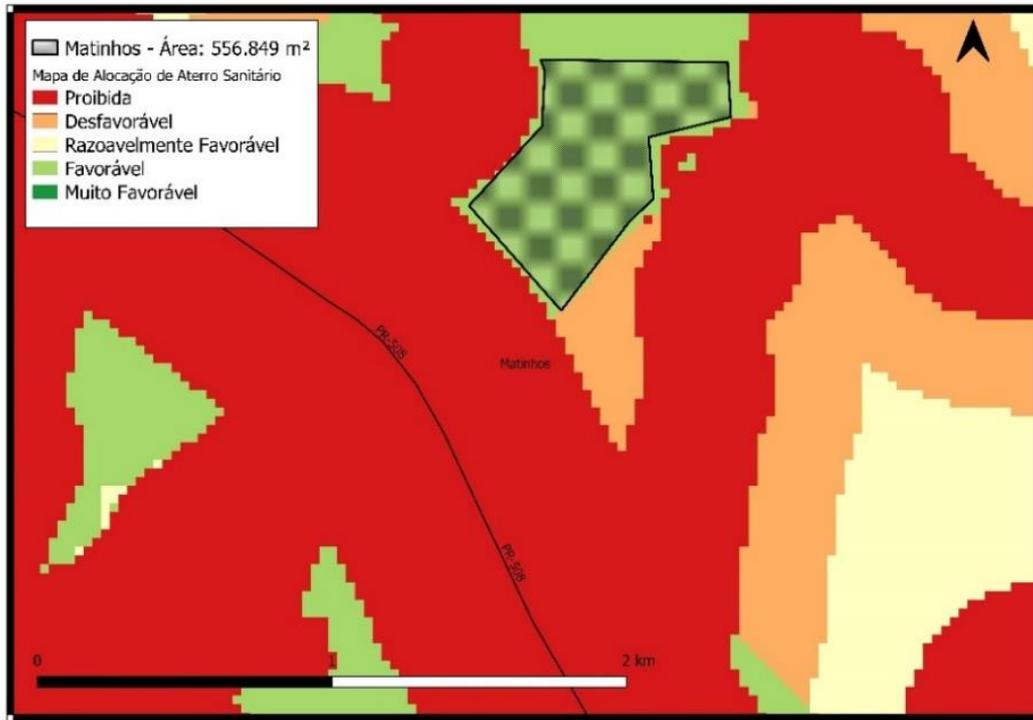


Fonte: Os Autores (2022)

Estas duas cidades, Morretes e Antonina, atualmente não possuem aterros sanitários, destinando seu resíduo sólido para o aterro localizado na cidade de Paranaguá.

Na entrada do Município de Matinhos, foi encontrada uma região com grande possibilidade de alocar o empreendimento nas proximidades da PR-508 (“ÁREA MA”). Esta área é 38,5 vezes maior que a área do aterro de projeto calculado na Tabela 3 para o município. (Figura 6)

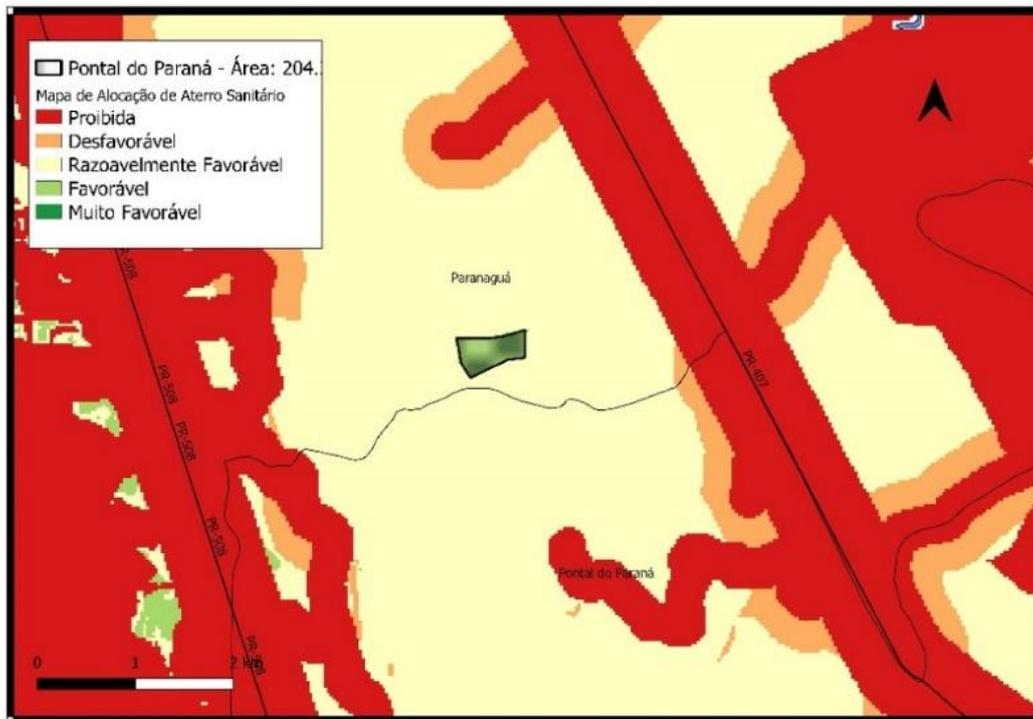
**Figura 6** - Mapa de viabilidade de implantação de aterro sanitário - “ÁREA MA”



**Fonte:** Os autores (2022)

No município de Pontal do Paraná, não foram encontradas áreas classificadas como áreas “Favoráveis” ou “Muito Favoráveis”, tendo na maior parte da região áreas “Proibidas”. Desta forma, buscou-se uma área de 204.342 m<sup>2</sup> nas proximidades da divisa Pontal do Paraná com Paranaguá (“ÁREA PP”) classificada como área “Favorável” para a alocação do aterro sanitário (Figura 7).

**Figura 7** - Mapa de viabilidade de implantação de aterro sanitário - “ÁREA PP”



Foi identificada também a pontuação do local onde funcionava o antigo aterro sanitário do Consórcio Intermunicipal para Aterro Sanitário de Pontal do Paraná e Matinhos (CIAS), que atendia os municípios de Matinhos e Pontal do Paraná, (Figura 8).

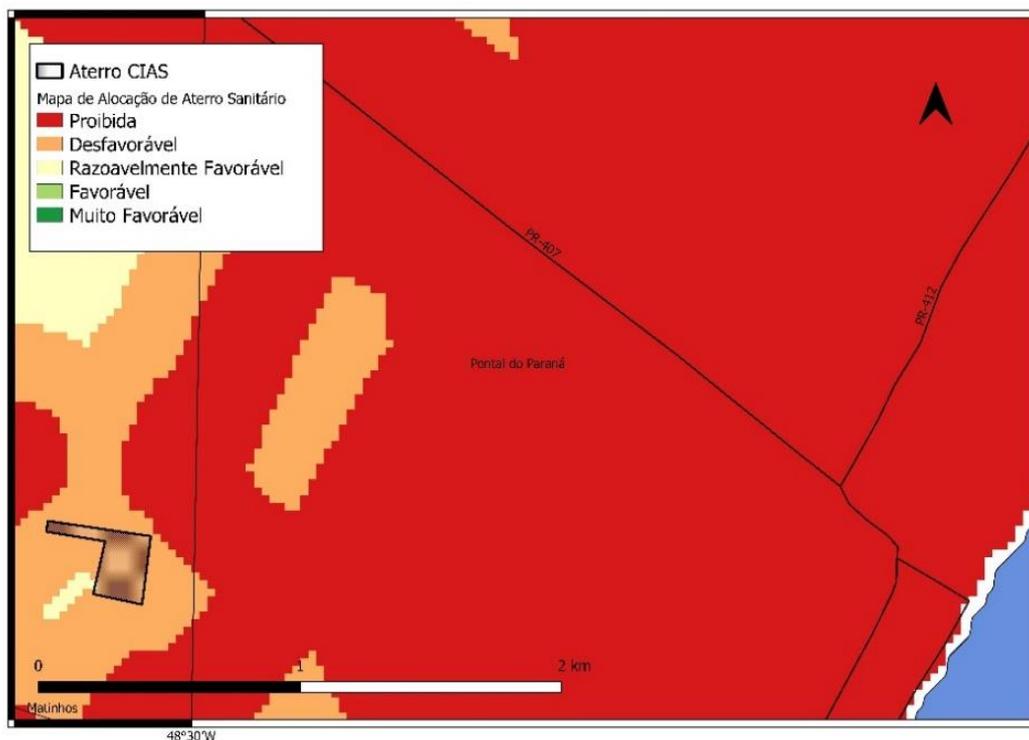
**Figura 8** – Localização do atual aterro sanitário – CIAS

A pontuação da área do CIAS foi de 0,3775, classificada como “Desfavorável”. Isto decorre da sua proximidade de diversos corpos hídricos, do núcleo populacional crescente de Pontal do Paraná e do solo tipo espodossolo (Figura 9).

Este aterro iniciou sua operação no ano de 2000, e em seu memorial descritivo de projeto teve uma vida útil prevista de 15 anos (Rassolin, 2002). De acordo com o relatório do CIAS (2019), somente no ano de 2018 foram depositadas 31.805,26 toneladas de resíduos no aterro. Entretanto, o aterro passou por sérios problemas de gestão operacional e seus resíduos sólidos começaram a ser dispostos em células sem recobrimento.

No limite de sua vida útil prevista, o aterro do CIAS passou a contaminar fortemente o lençol freático e os cursos d’água do seu entorno, constituindo talvez o maior passivo ambiental da região (Elste et. al., 2019), fato este confirmado por Kolm, Siqueira e Machado (2016) onde afirmam que em períodos de alta pluviosidade o Rio Peri recebe o chorume oriundo da terceira lagoa do aterro sanitário. Desta forma, a partir de 2018 os resíduos destes dois municípios passaram a ser transportados e destinados ao aterro sanitário do Complexo Eco Tecnológico (CIETec), localizado no bairro de Alexandra, cidade de Paranaguá.

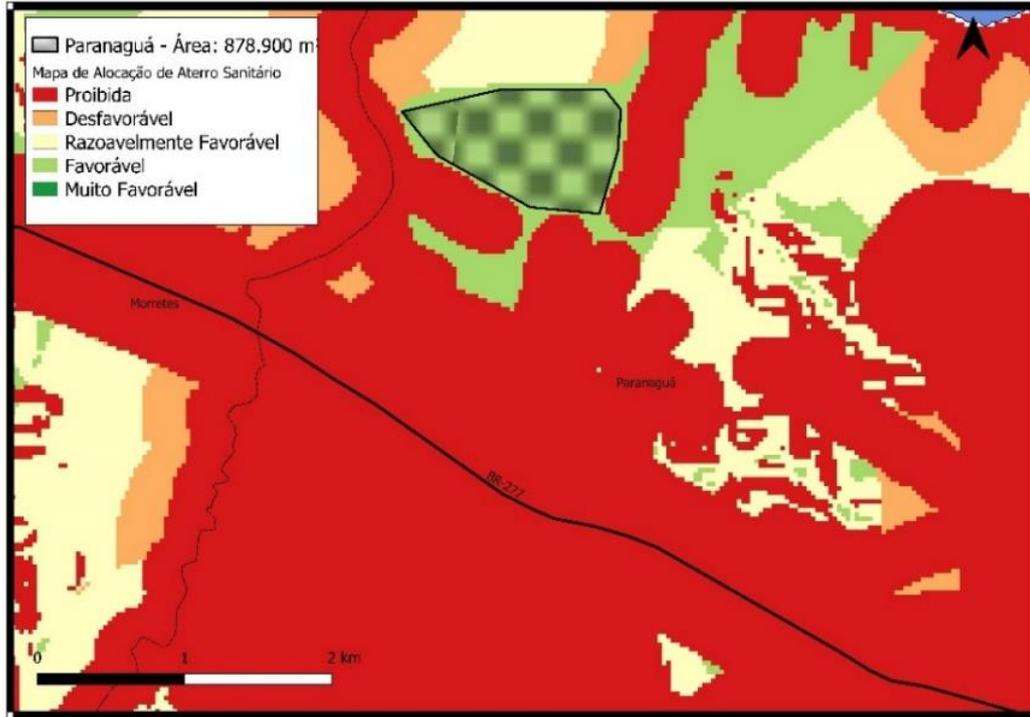
**Figura 9** - Mapa de viabilidade de implantação de aterro sanitário - “ÁREA CIAS”



Fonte: Os autores (2022)

Diante do apresentado, o aterro localizado na cidade de Paranaguá recebe os resíduos dos municípios de Antonina, Morretes, Paranaguá, Pontal do Paraná e Matinhos. Este incremento de resíduos oriundos dos municípios de Pontal do Paraná e Matinhos, acarretará o exaurimento da capacidade operacional de deposição dos resíduos sólidos no mesmo de forma mais acelerada. Por isso, no município de Paranaguá foi encontrada também uma área com possibilidade de alocar o aterro sanitário, denominada como “ÁREA PA”, possui 878.900 m<sup>2</sup> é próxima à BR 277 e dista 6 km da cidade de Paranaguá (Figura 10).

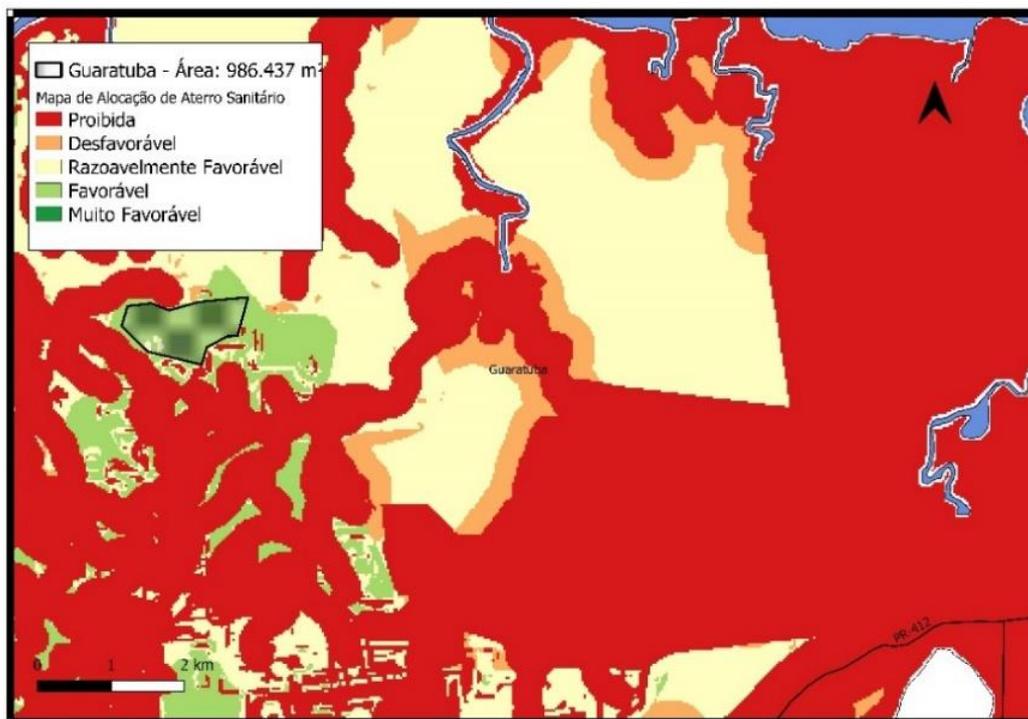
**Figura 10** - Mapa de viabilidade de implantação de aterro sanitário - “ÁREA PA”



**Fonte:** Os autores (2022)

Por fim, a “ÁREA GB”, localizada no Município de Guaratuba (Figura 11), possui uma área de 986.437 m<sup>2</sup>, estando distante 15 km da área urbana do município e possui seu melhor acesso pela PR 412, que liga o município de Guaratuba/PR com o município de Garuva/SC.

**Figura 11** - Mapa de viabilidade de implantação de aterro sanitário - “ÁREA GB”



Fonte: Os autores (2022)

Esta área, apesar de afastada do centro gerador de resíduos sólidos, atende de forma satisfatória aos requisitos para a alocação do aterro sanitário, obtendo uma pontuação de 0,7474 na escala de 0 a 1.

A Tabela 8, apresenta as áreas selecionadas pelo estudo, juntamente com o local do aterro do CIAS com seus respectivos pontos e classificação no mapa de viabilidade de alocação de um aterro sanitário.

**Tabela 8** - Pontuação das áreas escolhidas

	ÁREA MO	ÁREA PA	ÁREA MA	ÁREA GB	ÁREA PP	ÁREA AN	ÁREA CIAS
Área mínima (m <sup>2</sup> )	6.103	60.829	14.457	15.160	12.248	6.773	-
Área encontrada (m <sup>2</sup> )	517.400	878.700	556.849	986.437	204.342	226.074	55.825
Razão (Área/Área mínima)	84,8	14,4	38,5	65,1	16,7	33,4	-
Pontuação	0,8102	0,7974	0,6855	0,7474	0,6686	0,8102	0,3775
Classificação	Muito Favorável	Favorável	Favorável	Favorável	Favorável	Muito Favorável	Desfavorável

Fonte: Os autores (2022)

Todas as áreas viáveis para alocação de aterros sanitários no litoral do Paraná identificadas superam as áreas mínimas estimadas para cada município no período de 16 anos. O menor valor da razão entre a área encontrada e a área mínima foi de aproximadamente 14 vezes (ÁREA PA) e a maior de 84 vezes (ÁREA MO) (Tabela 8).

Somando-se as áreas mínimas de todos os municípios do litoral obtém-se a área de 118.188 m<sup>2</sup>, ou seja, qualquer uma das áreas viáveis encontradas para alocação de um aterro sanitário supera a área mínima de um aterro sanitário realizado em consórcio intermunicipal envolvendo todos os principais municípios do litoral, ou seja, supera a soma das áreas dos aterros de todos os municípios.

Podemos assim concluir que com a integração dos principais municípios do litoral em consórcio para a implantação de um aterro sanitário se faz ambiental, social e legalmente viáveis. Fato este que atrairia recursos federais à realização do empreendimento, haja visto se enquadrar nas políticas públicas estabelecidas.

O método AHP juntamente com a análise multicritério tem sido amplamente utilizado na seleção de áreas para locação de aterros sanitários pelo mundo (Duarte, 2015).

A seleção adequada de áreas para aterros sanitários gera resultados econômicos positivos e minimiza os riscos para a saúde e ao meio ambiente, embora a decisão pela implantação dessas áreas venha sendo fortemente influenciada por aspectos políticos, condições socioculturais e limitação de recursos financeiros (Duarte, 2015).

A escolha de áreas ou de arranjos ótimos é um sistema complexo e dinâmico que envolve diversas variáveis, muitas vezes desconhecidas pelos gestores municipais. A análise multicriterial, baseado no processo analítico hierárquico (AHP), reduz a subjetividade e subsidiam a geração de melhores cenários ao tomador de decisão (Samizava et. al., 2008).

Trabalhos similares como Lourenço et al. (2015); Moreira et al. (2016); Andrade e Barbosa (2015); Spigolon (2015); Marchezetti, Kaviski e Braga (2011); Calijuri et al. (2007); Geneletti (2009) e Sener et al. (2010) encontram resultados semelhantes para os seus respectivos locais de estudo, corroborando a boa aplicabilidade do método empregado.

#### 4. Conclusão

A complexidade ambiental do litoral do Paraná, com seu grande número de unidades de conservação e com sua bacia hidrográfica relativamente bem distribuída ao longo da costa, além da pequena extensão indicam baixa disponibilidade de locais para a alocação de aterro sanitário. Fato este comprovado com 98% da área do litoral paranaense classificado como área “Proibidas”, “Desfavoráveis” ou “Razoavelmente Favoráveis” para o estabelecimento de aterros sanitários.

O presente trabalho, teve sucesso em demonstrar que métodos multicritério de apoio à decisão utilizando sistema de informações geográficas são ferramentas eficazes na tomada de decisão. Estes métodos tendem a diminuir os riscos de erros durante a fase de procura na implantação de um empreendimento, diminuindo também os impactos ambientais e sociais e otimizando os aspectos econômicos.

Como orienta a Política Nacional de Resíduos Sólidos (Brasil, 2010), os municípios responsáveis pela destinação do resíduo sólido podem trabalhar em conjunto, formando consórcios intermunicipais para cuidar do saneamento básico, neste caso em especial os resíduos sólidos urbanos. Podemos observar que no litoral do Paraná as áreas encontradas através da ferramenta e metodologia empregada são significativamente maiores que a área mínima para a alocação do aterro sanitário para um período de 16 anos, viabilizando a formação de consórcios intermunicipais para tratar dos resíduos sólidos.

Cabe destacar que os resultados obtidos devem ser verificados *in loco*, a fim de constatar as condições previstas nos dados gerados pela análise realizada, como por exemplo, presença de pequenos corpos hídricos que podem não estar considerados em função da escala dos dados das bases utilizadas na pesquisa.

Este estudo contribui para o aumento do conhecimento sobre a região do litoral do Paraná, servindo como registro histórico e subsidiar mais trabalhos sobre a região.

Há ainda importantes parâmetros com dados indisponíveis para a região que não foram considerados neste trabalho, como a profundidade do lençol freático e um mapeamento de solos mais detalhado incluindo o

coeficiente de permeabilidade do solo. Estas lacunas de informações básicas podem ser supridas em trabalhos futuros, diminuindo as incertezas dos resultados.

## 5. Agradecimentos

Ao Laboratório de Oceanografia Costeira e Geoprocessamento (LOGC) do Campus Pontal do Paraná - Centro de Estudos do Mar da UFPR.

## 6. Referências

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas (1992). **NBR 8419 - Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos**. Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas (1997). **NBR 13896. Aterros de resíduos não perigosos - Critérios para projeto, implantação e operação**. Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas (2010). **NBR 15849. Resíduos sólidos urbanos – Aterros sanitários de pequeno porte – Diretrizes para localização, projeto, implantação, operação e encerramento**. Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

Andrade, A. J. B.; Barbosa, N. P. P. (2015). Combinação do método AHP e SIG na seleção de áreas com potenciais para a instalação de aterro sanitário: caso da Ilha do Fogo, na República de Cabo Verde. **Revista de Geografia**. v. 32, n. 2, p. 248-266.

BRASIL (1988). **Constituição da República Federativa do Brasil de 1988**. Brasília, DF: **Presidência da República**. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/Constituicao/Constituicao.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Constituicao/Constituicao.htm)>. Acessado em janeiro/2017.

BRASIL (2012). **Lei nº 12.651 de 25 de maio de 2012 que dispõe sobre a proteção da vegetação nativa e dá outras providências**.

BRASIL (2000). **Lei nº 9.985 de 18 de julho de 2000 que institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências**.

BRASIL (2020). **Lei nº 14.026 de 15 de julho de 2020 que atualiza o Marco Legal de Saneamento Básico**.

BRASIL (2010). **Lei nº 12.305 de 02 de agosto de 2010 que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos**.

Calijuri, M. L.; Lourdes, S. S. P.; Santiago, F. F.; Schaefer, C. E. G. R.; Lugão, W. G.; Alves, J. E. M. (2007). Identificação de áreas alternativas para a disposição de resíduos sólidos na região do Baixo Ribeira do Iguape – SP. **Engenharia Ambiental e Sanitária**. v. 12, n. 3, p. 335-342.

CIAS – Consórcio Intermunicipal Aterro Sanitário (2019). **Relatórios mensais**. Pontal do Paraná.

Duarte, D. P. (2015). Seleção de áreas para aterros sanitários consorciados utilizando análise multicritério: revisão sistemática. **Revista de Engenharia e Tecnologia**. v. 7, n. 3, p. 238-248, ago.

Elste, G. A. S.; Zanlorenzi, G. A.; Lautert, L. F. C.; Nazário, M. G.; Marques, P. H. C.; Quadros, J. (2019). A contaminação do rio Guaraguaçu (Litoral do Paraná): limites e riscos ao desenvolvimento territorial regional. **Guaju – Revista Brasileira de Desenvolvimento Territorial Sustentável**. Matinhos, v.5, n.2, p. 54-70, jul./dez.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (2018). **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5 ed. Brasília, DF, Brasil.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (2015). **Áreas Urbanas no Brasil em 2015**. Disponível em: <[http://geoinfo.cnpm.embrapa.br/layers/geonode%3Aareas\\_urbanas\\_br\\_15](http://geoinfo.cnpm.embrapa.br/layers/geonode%3Aareas_urbanas_br_15)>. Acessado em agosto/2022.

Ferreira, M. P.; Koproski, L.; Zanott, D. C. (2011). Uma abordagem fuzzy no zoneamento de risco de incêndio. **Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR**. INPE. Curitiba, PR, Brasil.

Geneletti D. (2010). Combining stakeholder analysis and spatial multicriteria evaluation to select and rank inert landfill sites. **Waste Manag.** 30(2), p. 328-37.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2022). **Censo Demográfico – População estimada. Características da população e dos domicílios. Resultados do universo**. Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

INPE - TOPODATA (2022). **Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil**. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/topodata>>. Acessado em julho/2022.

Kolm, H. E.; Siqueira, A.; Machado, E. C. (2016). Influência da pluviosidade na qualidade da água de dois sangradouros do litoral do Paraná, Brasil. **Brazilian Journal of Aquatic Science and Technology**. 20(2). v. 20, n. 2.

Lourenço, R. W.; Silva, D. C. C.; Sales, J. C. A.; Medeiros, G. A.; Otero, R. A. P. (2015). Metodologia para seleção de áreas aptas à instalação de aterros sanitários consorciados utilizando SIG. **Revista Ciência e Natura**. Santa Maria, v. 37 n. 4 set-dez, p. 122-140.

Marchezetti, A. L.; Kaviski, E.; Braga, M. C. B. (2011). Aplicação do método AHP para a hierarquização das alternativas de tratamento de resíduos sólidos domiciliares. **Ambiente Construído**. Porto Alegre, v. 11, n. 2, p. 173-187.

Margarida, A. P.; Martins, P. (2019). Direitos Indígenas, Território E Resistência: Notas Em Torno De Uma Aldeia Mbyá Guarani No Litoral Do Paraná. **Revista Latino-Americana de Estudos em Cultura e Sociedade**. v. 05, ed. especial.

Moreira, L. L.; Schwaback, D.; Corrêa, N. R.; Coelho, A. L. N. (2016). SIG aplicado à seleção de áreas potenciais para a instalação de aterro sanitário no município da Serra – ES. **Revista Geociências**. v. 35, n. 4, p. 531-541.

PARANÁ (2006). **Plano de manejo da área de proteção ambiental de Guaratuba**. Instituto ambiental do Paraná. Curitiba, PR, Brasil.

PARANÁ (2015). **Plano de manejo do parque estadual do rio da onça**. Instituto ambiental do Paraná. Curitiba, PR, Brasil.

PARANÁ (1998). **Criada a Floresta Estadual do Palmito, constituída pelos lotes rurais localizada no Município e Comarca de Paranaguá pelo Instituto Ambiental do Paraná**. Instituto ambiental do Paraná. Curitiba, PR, Brasil.

Pierri, N. (2003). O litoral do Paraná: entre a riqueza natural e a pobreza social. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**. Curitiba, n. 8, p. 25-41, jul./dez.

Pierri, N.; Angulo, R. J.; Souza, M. C.; Kim, M. K. (2006). A ocupação e o uso do solo no litoral paranaense: condicionantes, conflitos e tendências. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**. Curitiba, n. 13, p. 137-167, jan./jun. 2006. Editora UFPR.

Rassolin, P. (2002). **Proposta de um modelo de manejo de resíduos sólidos no litoral paranaense: estudo de caso Consórcio Intermunicipal Aterro Sanitário**. Monografia. Graduação em Ciências Biológicas. Universidade Federal do Paraná. Curitiba, Brasil.

Saaty, T. L.; Vargas, L. G. (1991). Prediction, projection and forecasting. **Boston: Kluwer Academic Publishers - Mathematical Social Sciences**, v. 22, n. 2, p. 185.

Saaty, T. L. (1980). The analytical hierarchy process: planning, priority setting, resource allocation. **New York: McGraw-Hill**. 287p.

Salamoni, R. H.; Pinheiro, R. J. B.; Nummer, A. V. (2009). Processo operacional da Central de Tratamento de Resíduos da Caturrita–Santa Maria, RS Operational process of Caturrita Central Residues Treatment Plant (CTRC)–Santa Maria, RS. **Teoria e Prática na Engenharia Civil**, n. 14, p. 43-50.

Samizava, T. M.; Kaida, R. H.; Imai, N. N.; Nunes, J. O. R. (2008). Sig aplicado à escolha de áreas potenciais para instalação de aterros sanitários no município de Presidente Prudente – SP. **Revista Brasileira de Cartografia**. n. 60/01, abril.

Scheuer, L. (2011). Percepção geográfica e planejamento turístico: um estudo sobre a Sazonalidade. **Revista Turismo & Sociedade**. Curitiba, v. 4, n. 2, p. 286-304.

Sener, S.; Sener, E.; Nas, B.; Karagüzel, R. (2010). Combining AHP with GIS for landfill site selection: A case study in the Lake Beyşehir catchment area (Konya, Turkey). **Waste Management**. v. 30, n. 11, p. 2037-2046.

SNIS - Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (2021). **Diagnóstico Temático – Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos**. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. Brasília, DF, Brasil.

Spigolon, L. M. G. (2015). **A otimização da rede de transporte de RSU baseada no uso do SIG e análise de decisão multicritério para a localização de aterros sanitários**. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. São Paulo, SP, Brasil.