

## SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA APLICADO À IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS PARA IMPLANTAÇÃO DE ATERRO SANITÁRIO NA REGIÃO DO PANTANAL BRASILEIRO

**Edson Rodrigo dos Santos da Silva**

Universidade Federal de Mato Grosso do Sul – UFMS  
CPTL, Três Lagoas, MS, Brasil  
[edson.r.silva@ufms.br](mailto:edson.r.silva@ufms.br)

**Víncler Fernandes Ribeiro de Oliveira**

Universidade Federal de Mato Grosso do Sul – UFMS  
CPTL, Três Lagoas, MS, Brasil  
[vinclerfernandes@hotmail.com](mailto:vinclerfernandes@hotmail.com)

**Erivelton Pereira Vick**

Universidade Federal de Mato Grosso do Sul – UFMS  
CPTL, Três Lagoas, MS, Brasil  
[e.vick@hotmail.com](mailto:e.vick@hotmail.com)

**Bruno Henrique Machado da Silva**

Universidade Federal de Mato Grosso do Sul – UFMS  
CPTL, Três Lagoas, MS, Brasil  
[brunomachado.geo@gmail.com](mailto:brunomachado.geo@gmail.com)

**César Gustavo da Rocha Lima**

Universidade Estadual Paulista – UNESP  
FE, Ilha Solteira, SP, Brasil  
[cesar.lima@unesp.br](mailto:cesar.lima@unesp.br)

**Vitor Matheus Bacani**

Universidade Federal de Mato Grosso do Sul – UFMS  
CPTL, Três Lagoas, MS, Brasil  
[vitor.bacani@ufms.br](mailto:vitor.bacani@ufms.br)

**Aguinaldo Silva**

Universidade Federal de Mato Grosso do Sul – UFMS  
CPAN, Corumbá, MS, Brasil  
[aguinaldo.silva@ufms.br](mailto:aguinaldo.silva@ufms.br)

### RESUMO

O descarte adequado dos resíduos produzidos pela sociedade constitui uma preocupação constante. No Brasil, muitos municípios descartam o lixo produzido em lixões a céu aberto, ao passo que a construção de aterros sanitários tem apresentado grandes dificuldades. Neste contexto, o presente trabalho teve como objetivo elaborar uma análise geográfica, em ambiente SIG, dos parâmetros de ordem legal, ambiental e logística que possam ser implementados por entes públicos para a seleção de áreas mais favoráveis à instalação de um aterro sanitário, tendo como recorte espacial os municípios de Corumbá e Ladário, no Pantanal Sul-Matogrossense. Esse trabalho se desenvolveu por meio de três etapas: a restrição, a qualificação e a análise pormenorizada, a qual apontou as áreas mais aptas para a implantação de um aterro sanitário. Dada as dificuldades impostas pela localização dos municípios, as áreas identificadas como aptas para a implantação de um aterro sanitário representam 403,45 km<sup>2</sup>, isto é, apenas 0,62% da área combinada dos dois municípios (64.792,62 km<sup>2</sup>). Dessas áreas aptas, a análise pormenorizada revelou que apenas quatro apresentam particularidades potencialmente positivas, como distância de até 25 km do centro gerador, acesso por estradas de boa qualidade, declividades satisfatórias, distância de aglomerados humanos, entre outras.

**Palavras-chave:** Resíduos sólidos. Geoprocessamento. Gestão de resíduos.

### GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEM APPLIED TO THE IDENTIFICATION OF AREAS FOR THE IMPLEMENTATION OF LANDFILLS IN THE BRAZILIAN PANTANAL REGION

### ABSTRACT

The proper disposal of waste produced by society is a constant concern. In Brazil, many municipalities discard the waste produced in open-air dumps, while the construction of sanitary landfills has presented great difficulties. In this context, the present work aimed to elaborate a geographic analysis, in a GIS environment, of the legal, environmental and

logistical parameters that can be implemented by public entities for the selection of areas more favorable to the installation of a sanitary landfill, having as spatial clipping the municipalities of Corumbá and Ladário, in the Pantanal Matogrossense, the South area. This work was developed through three stages: restriction, qualification and detailed analysis, which pointed out the most suitable areas for the implementation of a sanitary landfill. Given the difficulties imposed by the location of the municipalities, the areas identified as suitable for the implementation of a sanitary landfill represent 403.45 km<sup>2</sup>, that is, only 0.62% of the combined area of the two municipalities (64,792.62 km<sup>2</sup>). From these suitable areas, the detailed analysis revealed that only four have potentially positive particularities, such as a distance of up to 25 km from the generating center, access by good quality roads, satisfactory slopes, distance from human settlements, among others.

**Keywords:** Solid waste. Geoprocessing. Waste Management

## INTRODUÇÃO

A exploração contínua dos recursos naturais somada ao aumento populacional concentrado nas cidades, alicerçados por um modelo de desenvolvimento baseado no consumo, tem promovido a geração crescente de resíduos sólidos não reciclados (ZAINU e SONGIP, 2017). Esse problema tende a ser mais acentuado em países em desenvolvimento, cuja ausência ou ineficácia nas ações de planejamento na identificação de locais adequados para instalação de aterros sanitários promove severos impactos negativos aos ecossistemas terrestres, aquáticos e à vida humana (BROWN, 2015).

A despeito de uma preocupação secular, o aumento da produção de resíduos sólidos e o seu descarte inadequado seguem constituindo uma preocupação atual. O relatório publicado pelo *World Bank Group*, denominado *What a Waste 2.0*, estimou em 70% o aumento da produção anual mundial de resíduos sólidos, com estimativas de geração de 3,40 bilhões de toneladas anuais em 2050 (KAZA et al., 2018). Dentre os números atuais referentes a produção de resíduos no mundo, apenas 13,5% são reciclados e 5,5% compostados, ao passo que se estima em 1/3, ou 40%, a quantidade de resíduos que não recebem destinação adequada.

Nesse sentido, apesar do aumento da produção de resíduos ocorrerem em escala global, alguns países produzem mais em relação a outros. Tomando como exemplo, o Japão gera aproximadamente um terço a menos de lixo por pessoa em comparação aos Estados Unidos, mesmo com ambos apresentando valores do Produto Interno Bruto (PIB) per capita semelhante (HOORNWEG; BHADATATA; KENNEDY, 2013). Dessa forma, enquanto os países tidos como ricos, produzem entre 1 a 2 toneladas de resíduos sólidos per capita ao ano, dando a este uma destinação final mais adequada, nos países mais pobres a produção de resíduos é menor, contudo, o tratamento e destinação adequada dos resíduos produzidos é deficiente (TISSERANT et al., 2017).

No caso brasileiro, em 2018 foram produzidas 79 milhões de toneladas de resíduos sólidos urbanos, na qual 92% (72,7 milhões de toneladas) foram coletadas e, desse valor, 59,5% (43,3 milhões de toneladas) receberam como destino final aterros sanitários. Contudo, 40,5% dos resíduos sólidos coletados (29,5 milhões de toneladas) não obtiveram disposição em locais adequados (ABRELPE, 2019), situação vivida em 3.001 municípios brasileiros (53,88% do total).

Conforme a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), instituída pela Lei nº 12.305 (BRASIL, 2010), a disposição final ambientalmente adequada de rejeitos/resíduos constitui uma das principais etapas do gerenciamento integrado de resíduos sólidos, cabendo ao Distrito Federal e aos municípios, por meio de planos municipais de gestão integrada de resíduos sólidos, a seleção de áreas mais favoráveis para a implantação de aterros sanitários, de forma a “evitar danos ou riscos à saúde pública e à segurança e a minimizar os impactos ambientais adversos” (BRASIL, 2010). Em adendo, segundo o texto da citada lei, aos aterros sanitários devem ser destinados apenas os rejeitos dos resíduos sólidos, isto é, aqueles produtos que não podem mais ser reutilizados, reciclados ou compostados. Contudo, a reciclagem ainda é incipiente em todo o território nacional (BRASIL, 2019), o que indica que grandes volumes de resíduos sólidos ainda aproveitáveis são destinados diretamente a aterros, bem como em demais locais inadequados. Devido a tal situação e às complexidades enfrentadas pelos municípios brasileiros, o presente trabalho define que o aterro sanitário pode receber rejeitos e eventuais resíduos sólidos não processados, apesar desta não ser a situação ideal.

Conforme a citada lei, com exceção dos municípios com menos de vinte mil habitantes, todos os demais municípios brasileiros devem elaborar planos integrais, o que inclui a identificação de áreas e a posterior instalação de aterros sanitários para a disposição final de rejeitos/resíduos. O não cumprimento desse passo, no prazo inicial de quatro anos (esgotado em 2014), resultaria na impossibilidade de “acesso a recursos da União, ou por ela controlados, destinados a empreendimentos e serviços relacionados à limpeza urbana e ao manejo de resíduos sólidos” (BRASIL, 2010), além da manutenção de práticas ambientalmente inadequadas e degradantes.

Dessa forma, a seleção de áreas para instalação de aterros sanitários passa a constituir uma das primeiras dificuldades dos municípios brasileiros em relação ao atendimento das diretrizes definidas pela PNRS. Essa dificuldade pode ser melhor compreendida quando se considera que em 2018 apenas 1.986 municípios brasileiros (35,65%) destinavam seus rejeitos/resíduos em aterros sanitários, enquanto outros 1.012 (18,16%) o destinavam diretamente em lixões, com mais 1.967 municípios (35,31%) que sequer possuem informações (BRASIL, 2019). Nesse contexto, conforme dados do Sistema Nacional de Informações Sobre Saneamento (SNIS), até 2018 havia mais de 1.037 lixões ativos em território brasileiro, o que representa aproximadamente 32% do total dos quatro principais tipos de unidades de processamento de resíduos sólidos urbanos-RSU (unidades de triagem, lixão, aterro sanitário e aterro controlado).

Como verificado, a identificação de áreas favoráveis para a disposição final ambientalmente adequada de rejeitos constitui uma das primeiras e, tangencialmente, uma das maiores dificuldades, pois tradicionalmente envolve o financiamento de pesquisas, muitas vezes custosas e realizadas por empresas privadas, o que cinge processos burocráticos adicionais para a sua contratação, estabelecendo um ambiente complexo e desfavorável aos municípios interessados, sobretudo aos menores, mais distantes e isolados.

Nesse contexto, entende-se que o processo de seleção das áreas mais aptas para instalação de aterro sanitário abre espaço para a sua realização de maneira mais horizontalizada, menos burocrática, complexa e custosa, caso os seus parâmetros sejam integrados em uma análise geográfica utilizando ferramentas oportunizadas por Sistemas de Informação Geográfica (SIG). Conforme Longley et al. (2013), os SIGs constituem uma classe de sistemas que não apenas controlam eventos, atividades e coisas, como também controlam onde esses eventos, atividades e coisas acontecem ou existem. Dessa forma, destacam que a importância do emprego do SIG se dá, pois “quase tudo que acontece, acontece em algum lugar. Saber o local onde algo acontece pode ser fundamental” (LONGLEY et al. 2013, p. 2). Assim, sendo a localização um aspecto importante para a sociedade humana, o seu conhecimento é imprescindível para o desenvolvimento da mesma, podendo o SIG contribuir para a facilitação das atividades humanas, desonerando e tornando viáveis processos antes complexos.

Nesse sentido, o presente trabalho alicerça-se na seguinte hipótese: uma análise geográfica executada por meio de um SIG permite a integração de todos os parâmetros necessários para a escolha de áreas mais aptas e ambientalmente mais adequadas para a instalação de um aterro sanitário, reduzindo a complexidade e os custos deste processo, contribuindo duplamente para a gestão pública e para o equilíbrio ambiental. Essa hipótese encontra ressonância em diversos trabalhos produzidos ao redor do mundo que empregam SIGs para a determinação das melhores áreas para a instalação de um aterro, como em Ajibade et al. (2019), Kamdar et al. (2019) e Rezaeisabzevar, Barzagan e Zohourian (2020), contudo, sua aplicabilidade para a realidade brasileira ainda carece de melhor entendimento e experimentação.

Assim, o presente trabalho objetivou elaborar uma análise geográfica, em ambiente SIG, para a seleção de áreas aptas à instalação de um aterro sanitário. Para elaboração dessa análise, definiu-se como área de estudo os municípios de Corumbá e Ladário. A escolha por esses municípios decorre de sua localização no noroeste do estado de Mato Grosso do Sul, uma região de fronteira entre Brasil e Bolívia encravada ao redor do Pantanal, considerado desde 2000 como Reserva da Biosfera e Patrimônio Natural da Humanidade pela Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura - UNESCO (IUCN, 2000). Para além da localização estratégica, a escolha pelos municípios se deu devido à ausência de local adequado para o descarte dos rejeitos/resíduos sólidos por eles produzidos; atualmente apenas um lixão a céu aberto, localizado a um quilometro da área urbana de Corumbá atende aos dois municípios (MS, 2016).

## MATERIAIS E MÉTODOS

Para a consecução dos objetivos, foi criado um amplo banco de dados geográficos, contendo arquivos de estrutura vetorial e matricial. Esses dados procuraram representar o conjunto de variáveis utilizadas para a pré-seleção de áreas para instalação de aterros sanitários, considerando os dois principais itens dessa análise: os parâmetros ambientais e logísticos.

Considerando as principais etapas para a seleção de uma área à instalação de um aterro sanitário, os procedimentos operacionais foram ordenados de forma a, primeiramente, restringir as áreas “não aptas”, seguida pela qualificação das áreas “aptas” (aquelas não eliminadas na primeira etapa). Deve-se destacar que os procedimentos adotados nesse trabalho foram desenvolvidos por meio do *software* de SIG ArcGis 10.6® (ESRI, 2018) licenciado pela Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Laboratório de Sensoriamento Remoto Aplicado.

Salienta-se ainda que os arquivos matriciais e vetoriais foram reprojatados para projeção cônica equivalente de Albers, adotando-se o sistema de referência geocêntrico para as Américas (SIRGAS 2000), seguindo os parâmetros definidos por IBGE (2016) que aponta esse sistema como o mais apropriado para a quantificação de áreas no território brasileiro em ambiente SIG.

### **Restrição**

A restrição constitui a etapa de identificação das áreas não aptas a receberem um aterro sanitário, definidas conforme a interação de recomendações contidas na literatura acadêmica e determinações especificadas na legislação competente especificadas em cada variável destacada a seguir. De acordo com as recomendações/determinações, foi gerado um *buffer* para a delimitação da área restringida, que variou conforme as características e a importância de cada variável. Posteriormente, esses *buffers* foram combinados, gerando o mapa de restrição. Esse mapeamento ao restringir as áreas não aptas, definiu aquelas que poderão passar pela segunda etapa de pré-seleção: a qualificação. Assim, as variáveis restritivas abordadas foram:

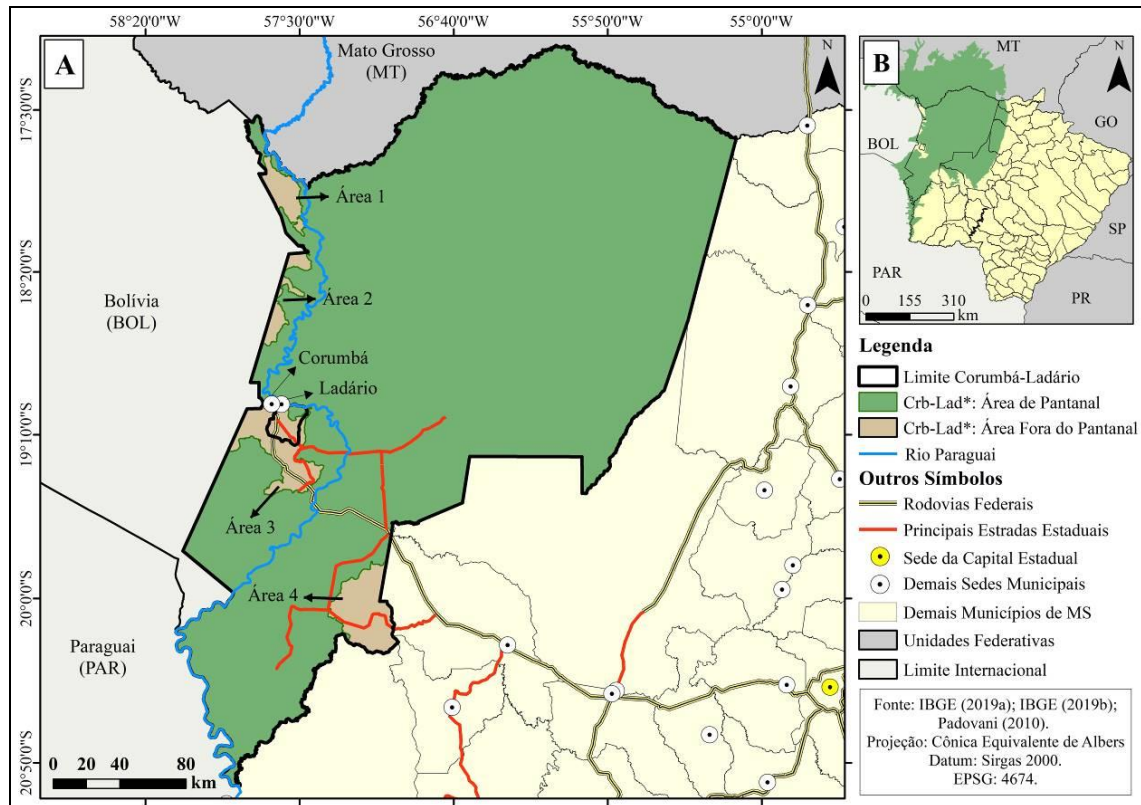
**Pantanal:** a instalação de empreendimentos antrópicos no Pantanal é restrita, para além das particularidades da planície, pela legislação vigente. Assim, conforme a Constituição Federal do Brasil, (BRASIL, 1988, art. 225, § 4º) o Pantanal Mato-Grossense é definido como patrimônio nacional, e a sua utilização deve se dar por meio de mecanismos de preservação do meio ambiente. Em complemento, a Lei 12.651 de 25 de maio de 2012 (BRASIL, 2012, art. 10), determina que nos pantanais e planícies pantaneiras, é permitida apenas a exploração ecologicamente sustentável.

Em complemento, o Zoneamento Ecológico-Econômico de Mato Grosso do Sul (MS, 2015) recomenda o rigoroso controle de qualquer atividade que possa impactar negativamente o pulso de inundação e a biodiversidade pantaneira como um todo, definindo toda a planície do Pantanal como uma zona de recuperação. Dessa forma, o presente trabalho considerou a planície pantaneira como a primeira e a mais importante área inapta para a instalação de um aterro sanitário. Assim, empregando-se a delimitação do Pantanal proposta por Padovani (2010), foi gerada a primeira camada de restrição (Figura 1).

Restringidas as áreas de Pantanal, foi identificada a existência de quatro grandes regiões adjacentes à planície (Figura 1), localizadas em distintas posições dos municípios e apresentando características, limitações e potencialidades díspares para a instalação de um aterro sanitário. Assim, para a continuidade do processo de pré-seleção, foi preciso optar por uma das quatro áreas adjacentes. Nesse contexto, as áreas 1, 2 e 4 também foram classificadas como inaptas. As áreas 1 e 2 localizam-se a norte das áreas urbanas de Corumbá e Ladário, a pelo menos 95 km de distância, tendo como única via de acesso o rio Paraguai. Para além de localizarem-se já distante das áreas urbanas, essas duas áreas encontram-se cercadas pelo Pantanal, abarcam as morrarias ocidentais e exigiriam o transporte dos resíduos por meio de navegação fluvial (tanto no rio Paraguai, quanto em alguns tributários), um processo inadequado dado os riscos de acidentes com potencial devastador para a biodiversidade, condição já apontada por MS (2015).

Já a área 4, apesar de possuir acesso por via terrestre (por meio da BR 262 e das MS 325 e 243), está a pelos menos 178 km de distância das áreas urbanas de Corumbá e Ladário, o que torna inviável o transporte de resíduos devido ao custo associado, já que os veículos destinados a esta finalidade teriam de percorrer pelo menos 356 km (ida e volta).

Figura 1 - Corumbá (MS): área de Pantanal (verde) e fora do Pantanal (marrom) nos municípios de Corumbá e Ladário (Crb-Lad), 2021.



Fonte - Os autores, 2021. \* O município de Ladário constitui um enclave territorial e estabelece relação de conurbação com Corumbá.

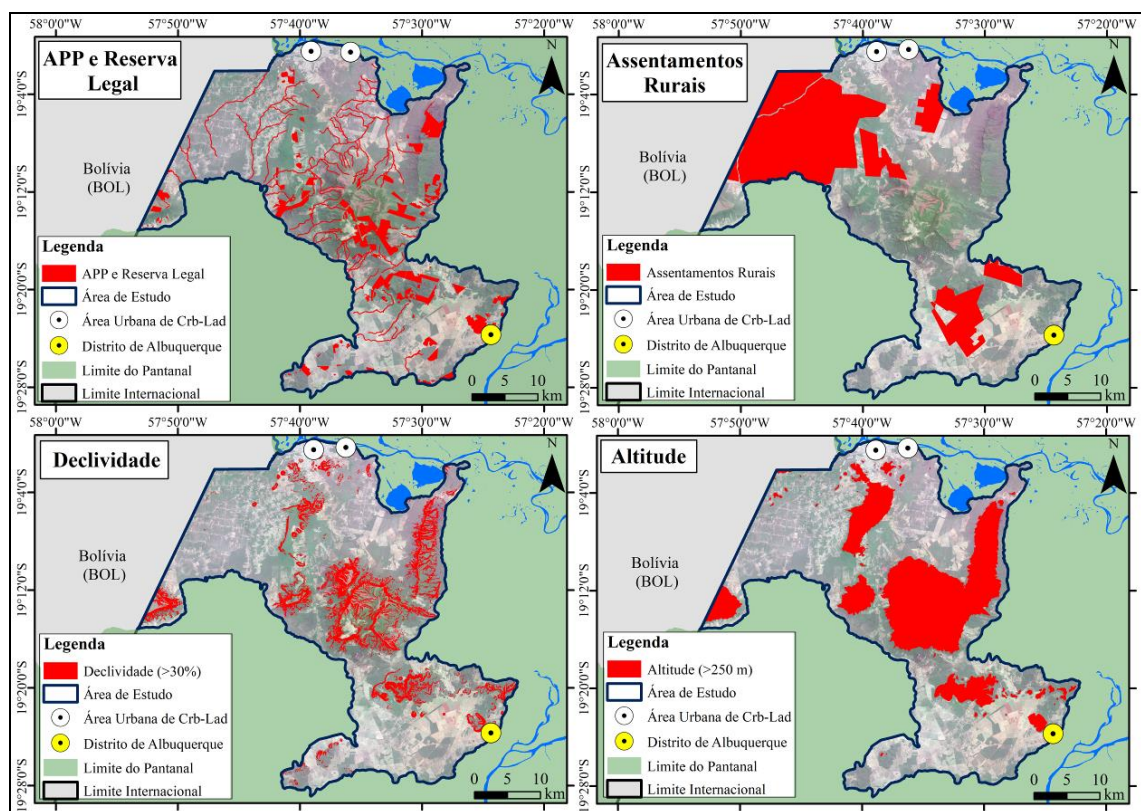
Dessa forma, optou-se por seguir o processo de pré-seleção pela área 3, pois essa localiza-se entre o planalto do Urucum e a depressão do Paraguai, na região nas quais estão localizadas as áreas urbanas de Corumbá e Ladário, bem como os principais distritos populacionais e projetos de assentamentos rurais. Essa área, de aproximadamente 1.301 km<sup>2</sup>, foi utilizada para a continuidade desse trabalho, sendo denominada como área de estudo, recortando assim todas as demais variáveis estudadas.

**Área de Preservação Permanente (APP):** conforme BRASIL (2012), a APP é uma área protegida, com cobertura vegetal ou não, destinada à preservação ambiental. Dessa forma, tendo funções ambientais inexoráveis, as APPs constituem áreas inaptas para a instalação de um aterro sanitário, definição esta subsidiada por ABNT (1997) e Carvalho et al. (2019). Assim, as APPs (Figura 2) dos cursos hídricos foram geradas por meio de *buffer* de 30 metros em relação à rede de drenagem (todos os cursos d'água da área possuem menos de 10 metros de largura). Foram utilizadas ainda as APPs provenientes do Sistema Nacional de Cadastro Ambiental Rural (SICAR, 2020), especialmente aquelas relacionadas a topos de morros, encostas com declividades superiores a 45° e bordas de chapadas. Estes dados foram conferidos e filtrados conforme a sua adequação e correção, sendo integrados às APPs geradas através de *buffer* por meio da ferramenta *merge*.

**Reserva legal:** a reserva legal é uma área localizada no interior de uma propriedade rural e destinada à conservação da biodiversidade, ao abrigo e proteção da fauna e flora nativa e ao uso sustentável dos recursos naturais, dentre outras destinações (BRASIL, 2012). Dessa forma, áreas de reserva legal não devem ser utilizadas para a implantação de aterros sanitários, pois envolveriam a supressão de formações vegetais e influenciariam negativamente na conservação da biodiversidade, devendo ocupar pelo menos 20% da área das propriedades localizadas na região. Deve-se apontar que as áreas de reserva legal também provêm de SICAR (2020) (Figura 2).

**Assentamentos rurais:** um assentamento rural constitui um projeto estatal destinado à entrega de unidades agrícolas para famílias que não possuam condições econômicas para adquirir e manter, por conta própria, uma propriedade rural. Enquanto mecanismo da política de reforma agrária brasileira, definida pela Constituição Federal de 1988 (BRASIL, 1988) e regulamentada pela Lei n. 8.629 de 25 de fevereiro de 1993 (BRASIL, 1993), os assentamentos rurais constituem projetos de relevância social ímpar e não podem ser alterados em relação às suas funções legais. Assim, a área combinada dos oito assentamentos rurais dos municípios, provenientes de INCRA (2020), foi definida como inapta para instalação de aterro sanitário (Figura 2).

Figura 2 - Corumbá (MS): Áreas inaptas para as variáveis restritivas: APP, reserva legal, assentamentos rurais, declividade e altitude, 2021.



Fonte - Os autores, 2021.

**Declividade:** a declividade é importante, pois possui impacto direto na drenagem (superficial e subterrânea), na umidade no solo, no potencial de erosão e na velocidade do fluxo superficial (GORSEVSKI et al., 2012). Elevadas declividades podem aumentar os custos de construção e operação de aterros, aumentando também riscos de infiltração e escoamento de produtos tóxicos para as águas superficiais e subterrâneas (REZAEISABZEVAR; BAZARGAN; ZOHOURIAN, 2020).

As recomendações contidas na literatura acadêmica registram uma variação entre os índices ideais de declividade para a instalação de um aterro sanitário. Contudo, IMASUL (2020), ao definir os critérios para pré-seleção de áreas para aterros em Mato Grosso do Sul, não recomenda a instalação em áreas com declividades superiores a 30%, definição corroborada pela NBR 13.896/1997 que recomenda declividade superior a 1% e inferior a 30%. Assim, para essa etapa de restrição, adotou-se as declividades superiores à 30% como limiar de restrição. Por conseguinte, a declividade foi gerada por meio da ferramenta *slope*, a partir da cena orbital do satélite ALOS, sensor PALSAR, de 12,5 metros de resolução espacial (JAXA/METI, 2007), disponível no portal *Alaska Satellite Facility's*. Posteriormente, a declividade foi reclassificada, identificando apenas as áreas com inclinação superior a 30% (Figura 2).

**Altitude:** os principais pontos elevados da área de estudo fazem parte do complexo de morrarias Urucum-Amolar. Nesse complexo, predominam terrenos de dissecação (homogênea ou diferencial), com forma de topo tabular, convexo ou aguçado. Por outro lado, registram-se também terrenos de aplainamento (degradado inumado) com forma de topo pediplanado, caracterizados por desenvolverem superfícies aplainadas e pouco dissecadas localizadas em topos de planaltos e chapadas (IBGE, 2009).

Na região de Corumbá e Ladário, esses terrenos localizam-se no topo de morrarias, apresentando declividades de até 20%, mas em cota altimétrica superior a 600 metros. Assim, em termos de declividade essas áreas não apresentam restrições, contudo do ponto de vista prático, o acesso é bastante complexo e dificultado pelo terreno declivoso do entorno, tornando inviável o aproveitamento dessas áreas para a instalação de um aterro sanitário.

Dessa forma, foi implementada a variável altitude, já aplicada anteriormente por Kamdar et al. (2019). A altitude deve complementar as restrições topográficas em conjunto com a declividade e recomenda-se que a operacionalização da altitude como variável restritiva. Ela tem de considerar as características locais e ser determinada conforme um limiar que reprima as áreas planas localizadas em topos de planaltos e chapadas nas quais o acesso de equipamentos e veículos de transporte seja dificultado pela topografia. Assim, tendo em vista a altitude média da área de estudo (180 metros), foi determinada a cota de 250 metros de altitude como o limiar de restrição, pois altitudes superiores a estas registram-se somente nas regiões das morrarias do complexo Urucum-Amolar (Figura 2).

**Poços:** os poços constituem obras antrópicas destinadas à captação de águas subterrâneas para o abastecimento humano, animal e demais usos antrópicos. Como fonte de captação de águas subterrâneas, para usos geralmente sem grandes processos de tratamento, os poços podem facilmente se contaminar com águas impuras e produtos nocivos à saúde provenientes da decomposição de resíduos em aterros, colocando em risco todas as pessoas e serviços que dependem dessas águas. Assim, seguindo as recomendações de Chang, Parvathinathan e Breeden (2008) e Carvalho et al. (2019) foi gerado um raio de 500 metros de restrição ao redor dos poços tubulares registrados por CPRM (2019).

**Corpos hídricos:** os corpos hídricos referem-se aos corpos d'água naturais e artificiais localizados no interior do continente que não são de origem marinha, como os rios, córregos, canais, lagos e lagoas de água doce, represas, açudes, entre outros (IBGE, 2013). Tendo em vista que os corpos hídricos da região drenam para o Pantanal, faz-se necessário uma maior atenção na seleção de área para implantação de aterro, evitando qualquer possibilidade de contaminação. Dessa forma, foram utilizados os corpos hídricos da região delimitados por Silva et al. (2011), corrigidos em escala 1:15.000. Posteriormente foi gerado um *buffer* de 200 metros, configurando a área de restrição para implantação de aterro conforme determinado para o estado de Mato Grosso do Sul, por IMASUL (2020) (Figura 3).

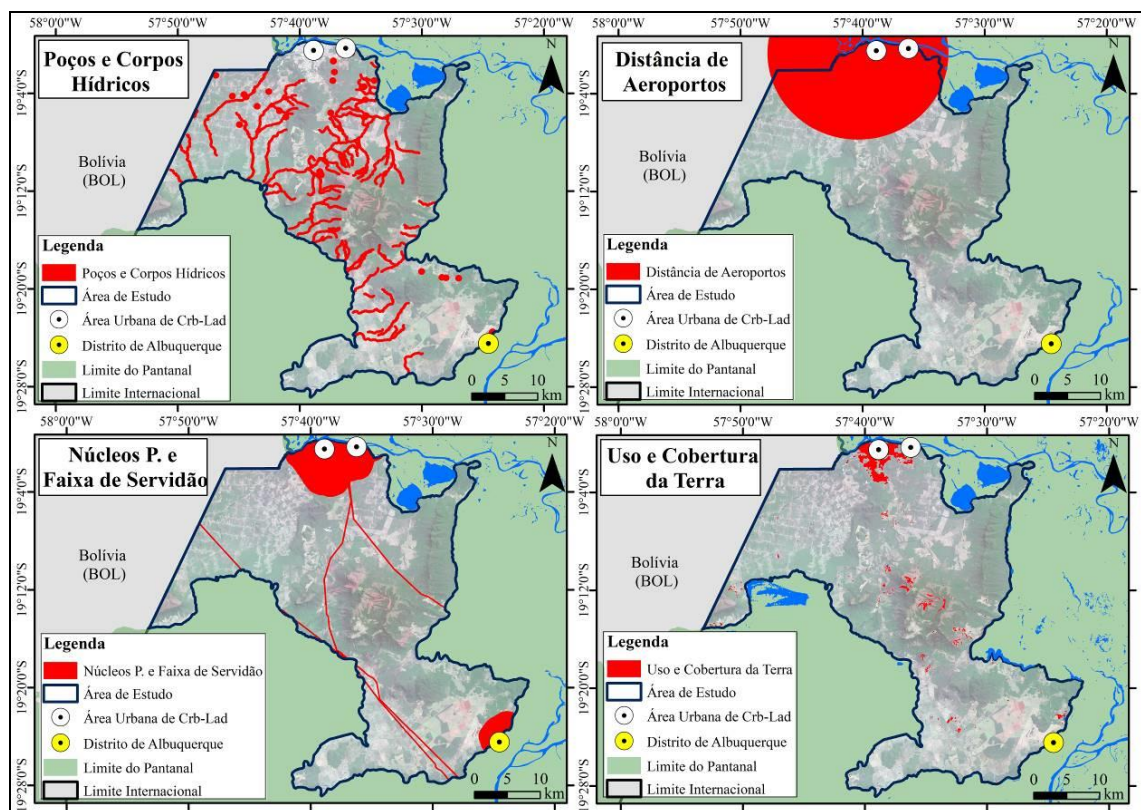
**Distância de aeroportos:** conforme o Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA, por meio de sua resolução nº 4 de 09 de outubro de 1995, as áreas de segurança aeroportuárias (ASA) constituem um raio determinado a partir do "centro geométrico do aeródromo", na qual não é permitida a implantação de "atividades de natureza perigosa, entendidas como foco de atração de pássaros" (CONAMA, 1995). Tendo em vista que atividades "foco de atração de pássaros" podem colocar em risco a segurança da navegação aérea, foram determinadas duas categorias de ASA: I. para aeroportos que operam de acordo com as regras de voo por instrumento (IFR) raio de 20 km; para os demais aeródromos raio de 13 km. Assim, tendo em vista a condição do aeroporto internacional de Corumbá, foi determinado um raio em 13 km, a partir do centro geométrico do aeródromo (Figura 3).

**Núcleos populacionais:** Conforme IMASUL (2020), não é recomendada a instalação de aterros sanitários a uma distância menor que 2 km de qualquer núcleo populacional. Essa distância mínima se faz necessária devido aos possíveis problemas de saúde que podem ser acarretados à população local, além de impactos visuais e sonoros. Assim, as áreas urbanas de Corumbá e Ladário, bem como os distritos rurais localizados na área de estudo foram delimitadas manualmente, em escala 1:15.000, utilizando como base as imagens orbitais 21KVV e 21KVU, do satélite Sentinel 2-B, sensor MSI, datadas de 23 de setembro de 2020. Posteriormente foi gerado um *buffer* de 2 km, dando conta da área de restrição estipulada (Figura 3).

**Faixa de servidão:** a faixa de servidão é uma área de largura variável (dependendo do tipo de empreendimento que margeia), destinada à passagem e proteção da infraestrutura à qual margeia, não

sendo recomendada a instalação de um aterro sanitário nas suas proximidades (Figura 3). No caso da área de estudo, as principais infraestruturas são um gasoduto (Brasil-Bolívia) e duas redes de transmissão de energia. Assim, foram gerados *buffers* com a área restrita para cada infraestrutura. Para o gasoduto Brasil-Bolívia, foi utilizado o traçado proveniente de EPE (2019), corrigido em escala 1:15.000, sendo determinada uma faixa de 70 metros: 20 metros de faixa de servidão legal, determinada por Decreto Federal (BRASIL, 1996) e outros 50 metros recomendados por Carvalho et al. (2019). Para as linhas de transmissão de energia, vetorizadas manualmente em escala 1:15.000, considerou-se o especificado por CELG PAR (2010), que determina faixa de segurança de pelo menos 35 metros para redes de transmissão com tensão a 230 kV. Para além da faixa de segurança mínima, acrescentaram-se outros 50 metros (CARVALHO et al., 2019).

Figura 3 - Corumbá (MS): áreas inaptas para as variáveis restritivas: poços e corpos hídricos; distância de aeroportos; núcleos populacionais, faixa de servidão e uso e cobertura da terra, 2021.



Fonte - Os autores, 2021.

**Uso e cobertura da terra:** no que se refere ao uso e cobertura da terra, algumas classes foram definidas como inaptas (Figura 3), pois apresentam relevância ambiental e social, além de imporem dificuldades à instalação de um aterro sanitário. Das oito classes de uso e cobertura da terra identificadas na área de estudo quatro são consideradas inaptas (áreas de mineração, corpos d'água continentais, áreas úmidas e áreas urbanas) e outras quatro definidas como aptas (formação campestre; formação florestal; formação savânica e pastagem). O uso e cobertura da terra empregado teve como base o mapeamento realizado pelo projeto MapBiomas, sendo que os dados utilizados se referem ao ano de 2018 e foram adquiridos no portal "coleções MapBiomas" (MAPBIOMAS, 2018) por meio da plataforma Google Earth Engine (GEE). No Quadro 1 estão sintetizadas todas as variáveis empregadas nessa etapa de restrição.



Quadro 1 - Corumbá (MS): Variáveis restritivas para a instalação de aterro sanitário, 2021.

Variável	Fonte	Referência Reguladora	Restrição
APPs e Reservas Legais	SICAR (2020)	ABNT (1997)	Presença indica área inapta
Assentamentos Rurais	INCRA (2020)	<b>Inédita</b>	Presença indica área inapta
Declividade	<b>Autores</b> (ALOS-PALSAR)	IMASUL (2020)	Áreas com declividades superiores a 30%
Distância aos corpos de água	Silva et al. (2011)	IMASUL (2020)	Áreas com menos de 200 m
Distância de núcleos populacionais	<b>Autores</b>	IMASUL (2020) Carvalho et al. (2019)	Áreas com menos de 2 km
Distâncias de aeródromos	<b>Autores</b>	IMASUL (2020) CONAMA (1995)	Raio de 13 km
Faixa de Servidão - Gasoduto	EPE (2019)	TBG (2015); Carvalho et al. (2019)	50 metros após a faixa de servidão de 20 metros
Faixa de Servidão - Linha de Transmissão de Energia	<b>Autores</b>	CELG PAR (2010) Carvalho et al. (2019)	50 metros após a faixa de segurança de 35 metros
Planície do Pantanal (área de uso restrito)	Padovani (2010)	MS (2015) BRASIL (2012)	Toda a área da planície
Poços de água	CPRM (2019)	Chang; Parvathinathan e Breeden (2008); Carvalho et al. (2019)	Raio de 500 metros
Uso e ocupação	MapBiomass (2018)	Baseado no princípio de Feo e Gisi (2014)	Áreas de mineração, corpos d'água continentais, áreas úmidas e áreas urbanas
Altitude	<b>Autores</b> (ALOS-PALSAR)	<b>Autores</b>	Cotas superiores a 250 metros

Fonte - Os autores, 2021.

### Qualificação

A partir das áreas aptas, pode-se seguir à qualificação. Essa fase constitui o levantamento e qualificação das áreas aptas, a fim de se identificar e classificar aquelas que apresentam as melhores condições para a instalação de um aterro sanitário. Essa identificação e classificação ocorrem por meio do uso de dois critérios principais: preferência e penalização. O parâmetro preferência indica a ocorrência de elementos positivos e convenientes para implantação de aterro. Já a penalidade indica o contrário: a presença de elementos contra indicativos. A penalidade não constitui um parâmetro excludente e restritivo, e sim discriminatório, apontando que a instalação de um aterro sanitário nessas áreas deve se dar observando maiores cuidados e prevenções, possivelmente resultando em adicionais onerações financeiras.

Os critérios para a qualificação (aptidão) foram divididos em: aptidão do meio físico e aptidão logística. A aptidão do meio físico (solo, declividade e uso e cobertura da terra) foi dividida em três classes: baixa, média e alta aptidão para instalação de aterro sanitário. A aptidão logística foi determinada aplicando a distância euclidiana sobre os parâmetros analisados, seguida pela função *Fuzzy*, definindo-se que áreas com valores próximos a 1 apresentam as maiores aptidões. A seguir, são descritos os parâmetros utilizados nesta etapa.

**Solos:** os solos constituem um dos mais importantes parâmetros qualitativos para a implantação de aterros sanitários, pois apresentam limitações e potencialidades para esse tipo de empreendimento. Assim, os solos encontrados na região, provenientes de IBGE (2018), foram classificados em baixa, média e alta aptidão (Figura 4) para o estabelecimento de um aterro sanitário e estão especificados no Quadro 2.

Na classe de baixa aptidão foram agrupados os Gleissolos (característicos de área alagada ou sujeita a alagamentos), Vertissolos (profundos e pouco profundos, em geral com presença de fendas no perfil decorrente a expansão e contração de argila), Cambissolos (ocorrência de rasos a profundos) e os Planossolos (solos minerais imperfeitamente ou mal drenados) (IBGE, 2015). Essa classificação decorre das características de cada um, apresentando um conjunto de limitações para a instalação do aterro, seja por se tratar de solos hidromórficos, imperfeitamente ou maldrenados, pouco desenvolvidos e/ou localizarem-se em áreas planas e úmidas ou inundáveis. Para o Chernossolo também se adotou a baixa aptidão, pois levou-se em consideração o seu alto potencial para desenvolvimento de atividades agrícolas (LEPSCH, 2010), evitando assim afetar áreas que poderiam ser melhor utilizadas para a produção agrícola.

Quadro 2 - Corumbá (MS): Classificação da aptidão dos solos, 2021.

Solos				
Fonte	Referência reguladora	Aptidão		
		Baixa	Média	Alta
IBGE (2018)	Montaño et al. (2012) Carvalho et al. (2019)	Gleissolo Háptico Ta Eutrófico Vertissolo Hidromórfico Cambissolo Háptico Tb Distrófico Chernossolo Rendzico Órtico Planossolo Háptico Eutrófico	Argissolo Vermelho-Amarelo Eutrófico	Latossolo Amarelo Distrófico

Fonte - Os autores, 2021.

Os Argissolos foram classificados como de média aptidão seguindo as recomendações de Carvalho et al. (2019) e Montaño et al. (2012) pois possuem ocorrência relacionada, em geral, a relevos mais acidentados e dissecados, em superfícies menos suaves, constituindo-se em solos minerais com presença de horizonte B textural de argila e transição entre os horizontes A e B geralmente clara, abrupta ou gradual (EMBRAPA, 2018).

Classificado como de alta aptidão, os Latossolos apresentam avançado estágio de intemperização sendo, portanto bem desenvolvidos e maduros. Variam entre fortemente e bem drenados apresentando, normalmente, profundidade considerável. Eles têm sequência de horizontes A, B e C com pouca diferenciação de sub-horizontes e transições usualmente difusas ou graduais (EMBRAPA, 2018). Assim, os Latossolos configuram-se como os solos mais aptos para a implantação de um aterro sanitário, sobretudo por sua espacialização na área de estudo em terrenos de declividade moderada e pouco pronunciada.

**Declividade:** nessa etapa, a declividade também foi delimitada em três classes de aptidão, cada qual com um intervalo baseado em Embrapa (1979) e Ross (1994) nos seguintes valores: 0-3%, baixa aptidão; 20-30% média aptidão; e 3-20%, alta aptidão. Nesse contexto, apesar de IMASUL (2020) não apresentar uma classificação mais pormenorizada da declividade, entende-se que essa deve ser classificada conforme as referências contidas na literatura pois permitirá um melhor aproveitamento da topografia regional.

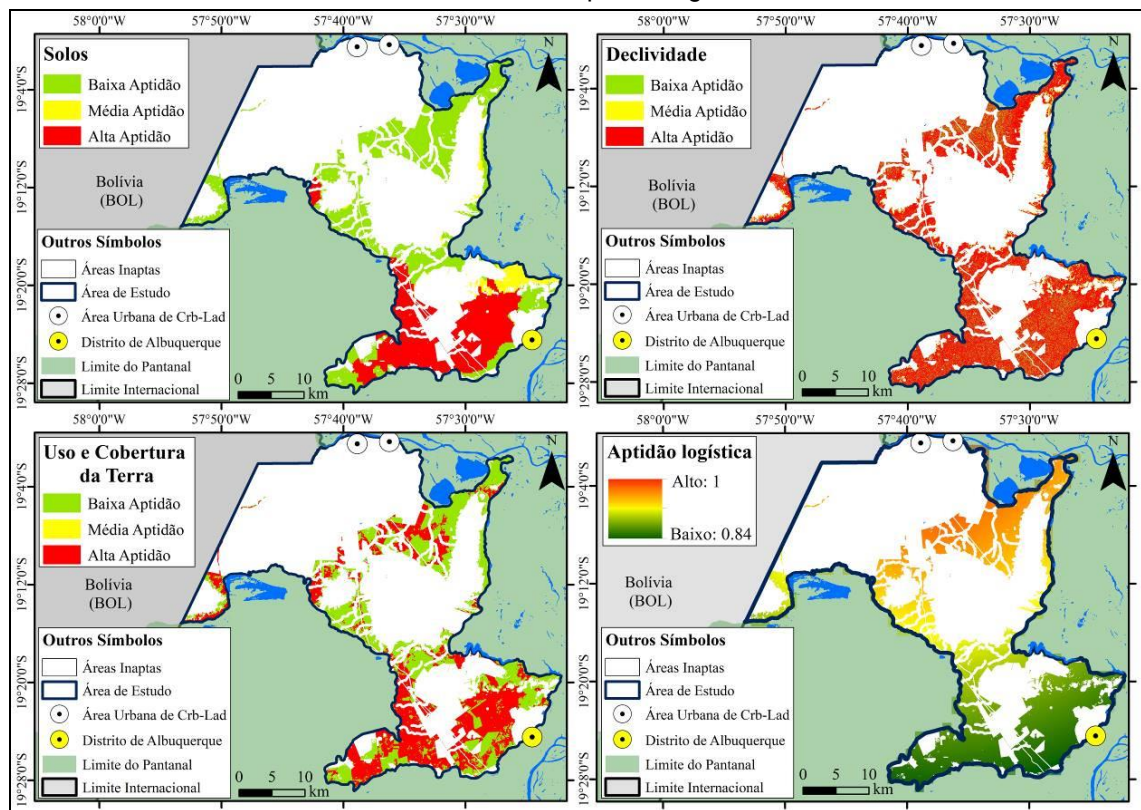
Assim, as áreas declividades entre 0-3% são planas, sujeitas a inundações e a ineficientes processos de drenagem do solo (NAS et al., 2010). Já as áreas com declividades entre 20-30% apresentam terrenos relativamente irregulares, com ângulos de inclinação pouco favoráveis tanto para a implantação, quanto à manutenção de aterros sanitários, gerando custos onerosos para os entes proponentes da obra (REZAEISÁBZEVAR; BAZARGAN; ZOHOURIAN, 2020). Por fim, as áreas com declividades entre 3-20% se distribuem em inclinações nem muito baixas (planas), nem mais elevadas (onduladas), podendo receber a implantação de aterros sanitários sem maiores custos (Figura 4).

**Uso e cobertura da terra:** nessa etapa, o uso e a cobertura da terra foi utilizado a fim de melhor identificar as áreas nas quais a implantação de um aterro sanitário se fará de forma menos onerosa e impactante, tanto para o meio social, quanto para o meio ambiental. Assim, a vegetação natural (dividida em Formação Florestal, Formação Savânica e Formação Campestre) foi classificada como de baixa aptidão à instalação de um aterro, pois envolveria a supressão da vegetação natural, o que pode impactar negativamente na conservação da biodiversidade (Figura 4). A construção de um aterro nessas áreas de vegetação natural também resultaria em maiores complexidades burocráticas e custos adicionais, tanto para a supressão vegetal, quanto para a correspondente compensação ambiental no futuro.

Por outro lado, os usos antrópicos, como pastagens e culturas anuais e perenes foram classificados como de alta aptidão, pois envolveriam uma menor complexidade de processos burocráticos e financeiros.

**Aptidão logística:** a aptidão logística consistiu na classificação da área de estudo de acordo com a sua proximidade com o centro gerador (áreas urbanas de Corumbá e Ladário) e com as principais estradas da área, partindo da seguinte relação: quanto mais próximo do centro gerador e/ou das estradas, maior a aptidão logística; quanto mais distante, menor sua aptidão (Figura 4). Assim, utilizando os limites das áreas urbanas e a espacialização das principais estradas, provenientes de IBGE (2019) e corrigidas em escala 1:15.000, foi gerada a sua distância euclidiana, por meio da ferramenta *euclidean distance*. Essa ferramenta foi aplicada a fim de permitir uma visão integrada e contínua das distâncias entre as infraestruturas logísticas e os limites da área de estudo, evitando assim rupturas e descontinuidades. Após esse passo, foi aplicada a função linear *Fuzzy* que objetiva padronizar os intervalos da distância euclidiana em valores que variam de 0 a 1, no qual valores próximos a 1 indicam proximidades com as infraestruturas logísticas e valores próximos a 0 a sua distância.

Figura 4 - Corumbá (MS): Qualificação das áreas aptas conforme as variáveis: solos, declividade, uso e cobertura da terra e aptidão logística, 2021.



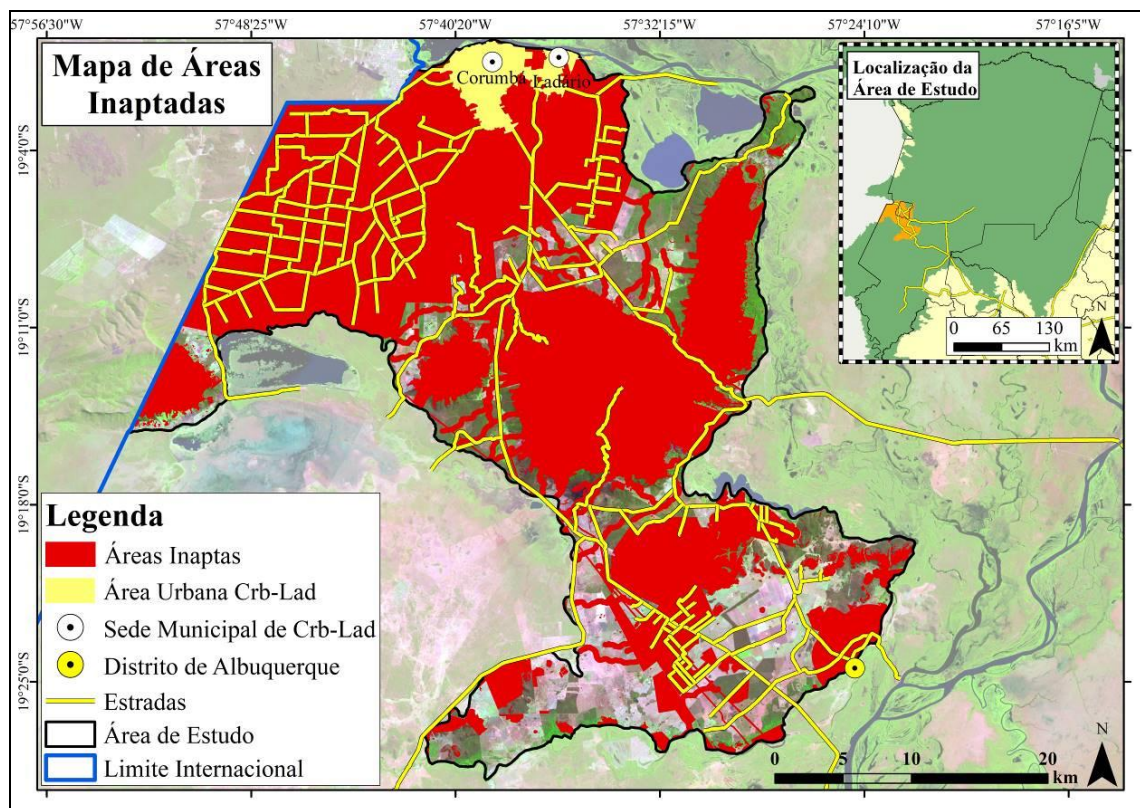
Fonte - Os autores, 2021.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir da exclusão da área de Pantanal restaram apenas 3.073,70 km<sup>2</sup> (4,77% do total) de áreas adjacentes nos municípios de Corumbá e Ladário. Destes, 1.301,86 km<sup>2</sup> localizam-se na área de estudo do presente trabalho (42,36% das áreas adjacentes à planície pantaneira). Dessa área de estudo, 898,41 km<sup>2</sup>, (69,01% de toda a área de estudo) foram classificadas como inaptas. Assim, apenas 403,45 km<sup>2</sup> dos municípios são classificados como aptos, ou seja, 99,38% da área territorial de ambos os municípios não apresenta condições para a instalação de um aterro sanitário, um resultado superior àquele obtido por Majid e Mir (2021) quando analisaram locais para a instalação de um aterro em município densamente povoado e com poucas áreas livres na Índia.

A maior concentração de áreas inaptas espacializou-se: i) nas proximidades das áreas urbanas de Corumbá e Ladário, nas quais foram registradas ocorrências de restrições devido à distância mínima de aeródromos (raio de 13 km) e distância de núcleos populacionais (pelo menos 2 km); ii) nas proximidades da fronteira com a Bolívia, em grande parte pela concentração de assentamentos rurais e às áreas com declividades superiores a 30%; iii) na região central da área de estudo, na qual concentram-se a maior parte das morrarias do complexo Urucum-Amolar, com declividades inaptas, altitudes superiores a 250 metros e alguns corpos hídricos que possuem as morrarias como cabeceiras; iv) e na porção sul, em que registraram-se algumas morrarias com declividades e altitudes inaptas, assentamentos rurais, áreas de APP, reserva legal e faixas de servidão e distância de núcleos populacionais (distrito de Albuquerque) (Figura 5).

Figura 5 - Corumbá (MS): Áreas inaptas para a implantação de um aterro sanitário na área de estudo, entre os municípios de Corumbá e Ladário (MS), 2021.



Fonte - Os autores, 2021.

Deve-se salientar que muitas áreas restritas se sobrepõem, evidenciando a ocorrência de dois ou mais elementos de inaptidão na mesma região. Dessa forma, as áreas de cada um dos parâmetros

restritivos não puderam ser somadas, sendo combinados em um único grupo, para então realizar o cálculo preciso de toda a área inapta (Tabela 1).

A pequena parcela de áreas aptas na área de estudo evidencia as particularidades da região e as dificuldades para a instalação de um aterro sanitário nos municípios, que possuem cerca de 95% da área territorial combinada localizada no Pantanal. Situação relativamente semelhante só é encontrada em apenas outros quatro municípios pantaneiros Matogrossenses: Cáceres, Poconé, Barão de Melgaço e Santo Antônio do Leverger.

No que se refere à qualificação das áreas aptas, aproximadamente 221,76 km<sup>2</sup> (54,97%) dos solos são classificados como de baixa aptidão, constituindo-se por solos com características que dificultam a implantação de um aterro sanitário sejam pela drenagem deficiente ou pouco desenvolvimento. Cerca de 24 km<sup>2</sup> (5,86%) são cobertos por Argissolos (média aptidão), enquanto os Latossolos, os mais indicados para a implantação de um aterro sanitário, distribuem-se por mais de 158 km<sup>2</sup>, ou seja, 39,17% de todas as áreas aptas.

Tabela 1 - Corumbá (MS): Áreas inaptas de acordo com as variáveis restritivas para a área de estudo, 2021.

Variáveis Restritivas		Área (km <sup>2</sup> )	Porcentagem em relação à área de estudo
Área de Preservação Permanente		13,22	1,02
Reserva Legal		90,11	6,92
Assentamentos Rurais		341,74	26,25
Declividade (>30%)		153,18	11,77
Altitude (>250 metros)		315,54	24,24
Poços		24,36	1,87
Corpos Hídricos		152,75	11,73
Distância de Aeroportos		248,39	19,08
Distância de Núcleos Populacionais		93,08	7,15
Faixa de Servidão		15,94	1,22
Uso e Cobertura da Terra	Áreas de mineração	1,8	0,14
	Corpos d'água Continentais	0,44	0,03
	Áreas Úmidas	7,72	0,59
	Áreas Urbanas	22,42	1,72

Fonte - Os autores, 2021.

As declividades predominantes variaram entre 3 a 20% (alta aptidão), ocupando 330,63 km<sup>2</sup>, isto é, 81,95% do total. As declividades entre 0 a 3% (baixa aptidão) distribuem-se por 49,64 km<sup>2</sup> (12,30%), enquanto as declividades de 20 a 30% ocupam 23,18 km<sup>2</sup>, aproximadamente 5,75% da área total.

Em relação ao uso e cobertura da terra, as formações Florestais (1,85 km<sup>2</sup>), Savânicas (18 km<sup>2</sup>) e Campestres (9 km<sup>2</sup>) identificadas na área somaram 212 km<sup>2</sup>. Isso significa que 52,58% da área é ocupada por usos de baixa aptidão, que gerariam ônus adicionais para a implantação de um aterro sanitário. Por outro lado, as pastagens (alta aptidão) ocupam aproximadamente 191 km<sup>2</sup>, distribuindo-se por 47,42% das áreas aptas.

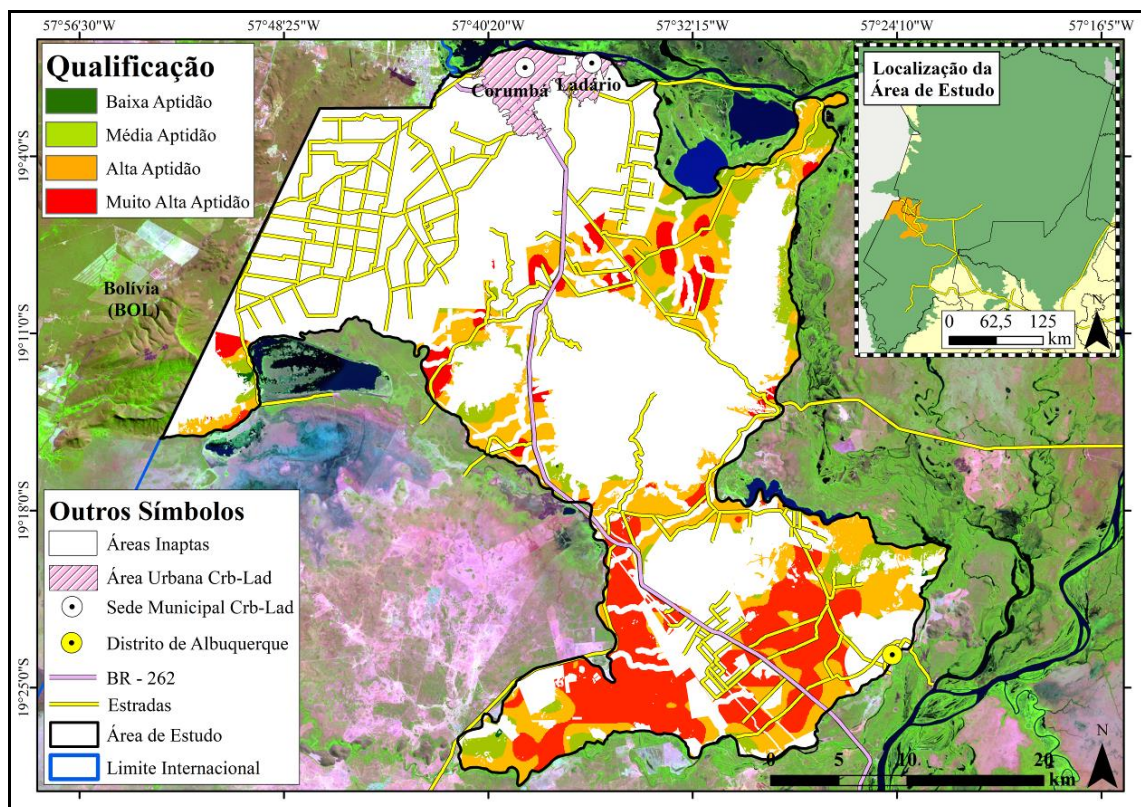
Nesse contexto, a combinação das citadas variáveis qualitativas, permitiu o entendimento da qualificação geral das áreas aptas, indicando aquelas que seriam mais adequadas e, portanto, de

menor onerosidade para a implantação de um aterro sanitário. O mapa de qualificação gerado por meio da lógica *Fuzzy* apresentou resultados expressos em um range de 0 a 1, no qual quanto mais próximo a 0, menor a aptidão e mais próximo a 1 maior a aptidão. Esse resultado foi dividido em cinco classes, de igual intervalo, afim de melhor parcelar os resultados, nos seguintes intervalos: muito baixa (<0,20); baixa (0,21-0,40); média (0,41-0,60); alta (0,61-0,80); muito alta (>0,81).

Conforme o mapa de qualificação (Figura 6), não foram identificadas áreas de muito baixa aptidão, aquelas que configurariam a combinação dos elementos menos aptos de todas as variáveis qualitativas. Em continuidade, as áreas de baixa aptidão restringiram-se a pequenas parcelas localizadas em áreas de cobertura vegetal, com declividades e solos de baixa aptidão. As áreas de média aptidão distribuíram-se geograficamente por toda a região estudada, sobretudo por áreas de solos com baixa aptidão, principalmente aqueles de drenagem deficiente; declividades de baixa e média aptidão e cobertura vegetal geralmente associada às formações florestais (nas áreas de declividade de média aptidão) e campestres (nas áreas planas de solos mal drenados).

As áreas de alta aptidão também se distribuíram por toda a região estudada, sendo resultado da interação entre declividades de alta aptidão, solos de baixa aptidão, uso e cobertura que varia entre formações florestais e, principalmente, pastagens e aptidões logísticas que variam substancialmente. Por fim, as áreas de muito alta aptidão são aquelas nas quais coadunam elementos de alta aptidão das variáveis de qualificação, como: solos maduros e bem desenvolvidos, como os Latossolos; declividades predominantemente entre 3 a 20%; uso e cobertura da terra dominada por pastagens e alta aptidão logística.

Figura 6 - Corumbá (MS): Qualificação das áreas aptas para a implantação de um aterro sanitário na área de estudo, entre municípios de Corumbá e Ladário (MS).



Fonte - Os autores, 2021.

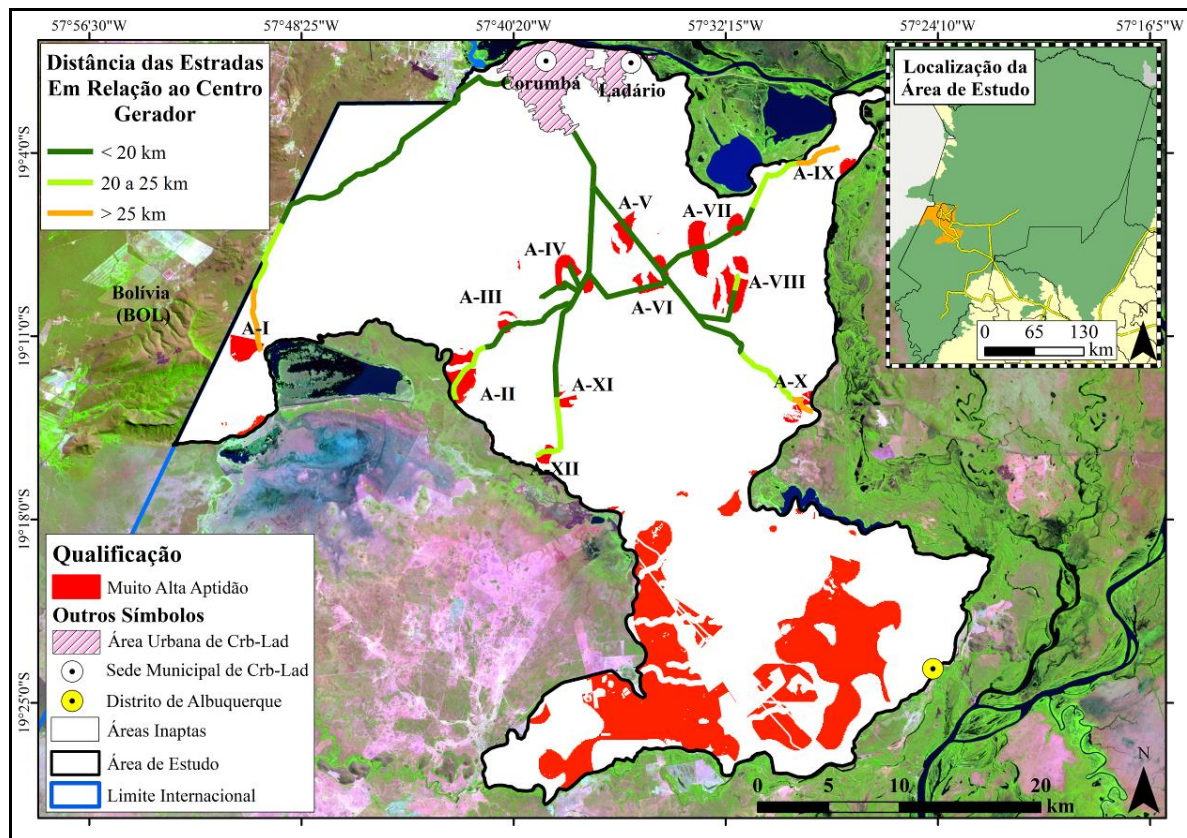
Assim, a partir do mapa de qualificação (Figura 6), para uma última escala de análise das áreas mais aptas, foram identificadas e avaliadas todas as áreas de “muito alta aptidão” que se localizam a até 25 km de distância do centro gerador, atendendo a um critério logístico estabelecido por IMASUL (2020) e

às indicações de Majid e Mir (2021) que apontam a distância de transporte como um fator importante que afeta o valor do projeto em longo prazo. Para além desse critério, foram avaliados também parâmetros de qualificação pormenorizados, em escala de análise local, procurando identificar as características que tornam as áreas de “muito alta aptidão” mais vantajosas ou menos vantajosas.

Essa etapa, denominada como análise pormenorizada, não tem como objetivo restringir as áreas de “muito alta aptidão”, pelo contrário, procura avaliar de forma individual essas áreas, identificando os pontos positivos e negativos. Assim, essa etapa procura apontar, de forma direta, aquelas áreas na qual a implantação de um aterro se daria de forma menos onerosa e impactante, tanto para o ambiente, quanto para a sociedade local. Procura também oportunizar à gestão pública mais uma camada de análise, repleta de informações que podem tornar a escolha de uma área mais intuitiva e direta. As áreas identificadas na análise pormenorizada podem ser observadas na Figura 7.

Assim, num primeiro momento, a análise pormenorizada restringiu todas as áreas de “muito alta aptidão” com distâncias superiores a 25 km do centro gerador, o que permitiu identificar que apenas 12 áreas estão enquadradas neste importante critério logístico. A distância das estradas foi dividida ainda em dois intervalos, conforme aqueles estabelecidos por IMASUL (2020): até 20 km (excelente) e entre 20 a 25 km (bom). Outros critérios para esta análise pormenorizada foram: condição das estradas de acesso (pavimentadas ou não pavimentadas); condição interna da área de “muito alta aptidão”; área adjacente a até 1 km de distância; direção e acumulação de fluxo; e presença de uso e cobertura da terra inapropriada.

Figura 7 - Corumbá (MS): Distância das estradas em relação ao centro gerador (áreas urbanas de Corumbá e Ladário), 2021.



Fonte - Os autores, 2021.

A avaliação em conjunto dos critérios permitiu identificar dois grandes grupos de áreas: aquelas com particularidades potencialmente complicadoras e aquelas com particularidades positivas. As áreas com particularidades potencialmente complicadoras não são inaptas para a implantação de um aterro sanitário, mas envolvem complicações que podem dificultar tal processo. A seguir apresentam-se as características das áreas identificadas em cada grupo.

**Áreas com particularidades potencialmente complicadoras:** nesse grupo, foram inseridas as áreas A-I, A-II, A-VII, A-VIII, A-IX, A-X, A-XI e A-XII.

**A-I e A-II:** apresentam como particularidade complicadora a sua proximidade e direção de fluxo para a lagoa Jacadigo e sua área úmida adjacente, o que pode acarretar potenciais impactos para este importante ambiente da planície pantaneira.

**A-VII:** apesar de se localizar a até 20 km do centro gerador, posiciona-se em uma região com direção e acumulação de fluxo voltada para a baía Negra, possuindo em mais de 54% de sua área formações florestais arbóreas e campestres.

**A-VIII:** também se localiza a boa distância do centro gerador, mas apresenta como particularidade complicadora o seu posicionamento no sopé ocidental da morraria do Rabicho, em região repleta de córregos que nascem nas vertentes da morraria e que, devido à direção e acumulação de fluxo a noroeste, deságuam alguns quilômetros para jusante na baía Negra.

**A-IX e A-X:** localizam-se no limite dos 25 km de distância do centro gerador, apresentando ainda direção e acumulação de fluxo a leste e sudeste, diretamente para a planície pantaneira.

**A-XI:** apesar de localizar-se nas margens da BR-262 (a única via pavimentada da região), apresenta como particularidade complicadora, a sua alta presença de vegetação natural, além da proximidade ao sopé ocidental da morraria do Urucum, que lhe confere uma direção e acumulação de fluxo para o sudeste, diretamente para o córrego local conhecido como Urucum (tributário da planície pantaneira a apenas 5 km a jusante).

**A-XII:** como particularidade complicadora, define-se a sua direção e acumulação de fluxo voltada a sul, diretamente para a planície pantaneira, localizada a menos de 500 metros da área. Apresenta ainda proximidade com algumas habitações de um assentamento rural da região.

**Áreas com particularidades potencialmente positivas:** nesse grupo, foram inseridas as áreas A-III, A-IV, A-V, A-VI.

**A-III:** localiza-se em estrada vicinal sem pavimentação, mas de boa qualidade, com a maior parte do trajeto (71%) se dando por meio da BR-262. Não possui declividade acentuada, o que minimiza os efeitos da direção e acumulação de fluxo a norte e oeste, voltada a um córrego perene que divide a área em duas. Apesar dessa divisão, ambas as áreas apresentam características positivas para a implantação de um aterro sanitário. Um ponto negativo é o fato do acesso à área se dar por meio de uma estrada vicinal que cruza o assentamento Urucum, o que pode acarretar mudanças permanentes no fluxo de veículos. A despeito deste fato, a área não se localiza no assentamento Urucum.

**A-IV:** esta área é dividida em duas porções separadas devido à presença do mesmo córrego perene que, quilômetros a jusante, divide a área **A-III**. A área localizada a norte registra grande presença de vegetação natural, pois perpassa áreas com declividades mais acentuadas (entre 20 a 30%). Essas declividades podem acentuar os efeitos da direção e acumulação de fluxos voltados a sudeste, diretamente para o córrego perene. Nesse sentido, a área a norte apresenta características complicadoras. Por outro lado, a área ao sul apresenta declividades pouco acentuadas, o que atenua os efeitos do fluxo acumulado a noroeste. Além de ser coberta basicamente por pastagens e eventuais formações campestres, é acessada diretamente pela BR-262 (pavimentada), a aproximadamente 7,4 km de distância do centro gerador (Figura 8).

**A-V:** essa área é dividida em três partes: uma ao norte, cortada pela estrada estadual MS-228 (Estrada Parque) e outra ao centro, separada da área ao sul devido à presença de um córrego. A área ao norte apresenta como desvantagem o fluxo acumulado e direcionado a sudeste, diretamente ao Assentamento 72, localizado imediatamente junto aos limites da área. Dessa forma, essa área a norte apresenta características complicadoras. Contudo, a área ao centro e ao sul apresentam baixas declividades, o que minimiza os efeitos do fluxo acumulado e direcionado a leste. A área ao centro

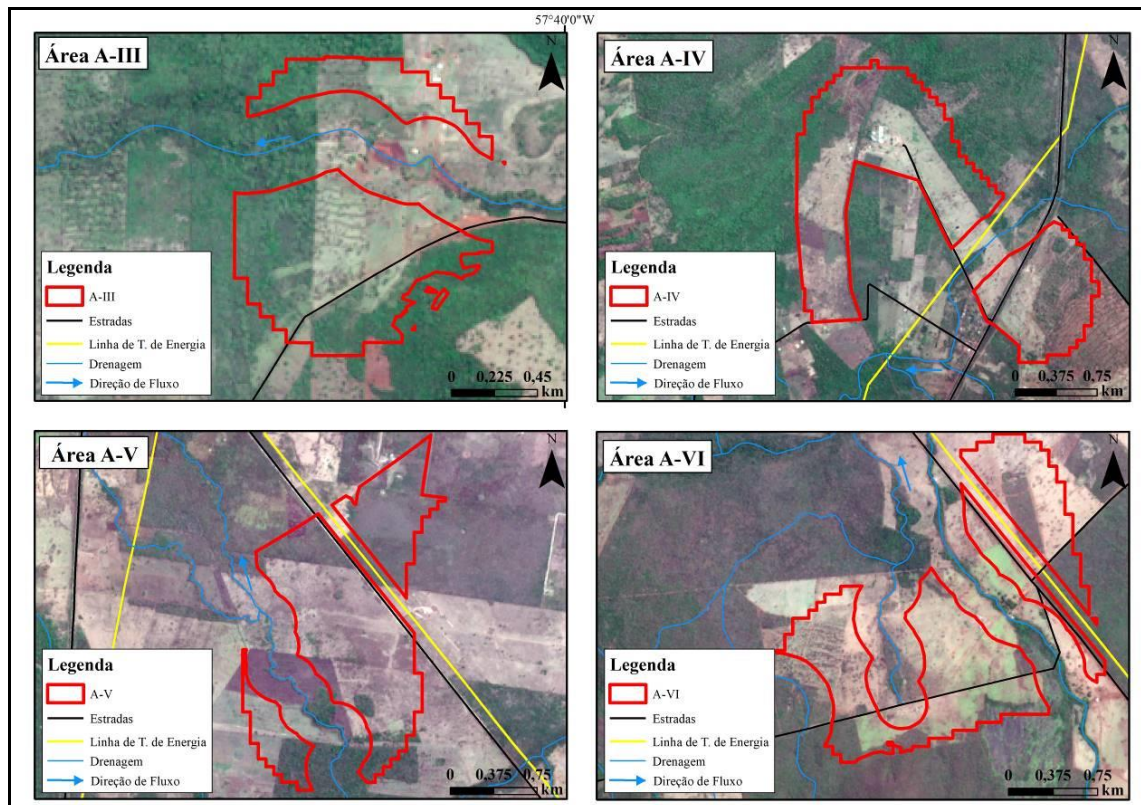


apresenta ainda a elevada presença de pastagens, inclusive nas áreas adjacentes, além do bom acesso, que se dá por 4,16 km por meio da BR-262 (49,29% do total) e outros 4,28 km por meio da MS-228 (50,71%) que, apesar de não pavimentada, possui boas condições neste trecho (Figura 8).

**A-VI:** área dividida em três porções: uma ao norte, separada da área central devido à presença de faixa de servidão da rede de transmissão de energia elétrica; a área central é separada da área ao sul devido à presença de um córrego. As áreas norte e central apresentam baixas declividades, minimizando os efeitos do fluxo acumulado e direcionado a norte. A área ao norte apresenta uma significativa porcentagem de vegetação natural, enquanto na área ao sul predominam pastagens. Assim, as áreas norte e central apresentam características positivas para a implantação de um aterro sanitário, com a área ao centro apresentando características ainda melhores. Por outro lado, a área ao sul localiza-se entre três córregos, todos provindos da face norte da morraria do Urucum. Registra ainda declividades mais acentuadas, potencializando os efeitos de um fluxo acumulado e direcionado a norte, apresentando características complicadoras para a implantação de um aterro sanitário (Figura 8).

A classificação das doze áreas de “muito alta aptidão” localizadas a até 25 km de distância do centro gerador, nos dois grupos citados anteriormente, permite aos gestores públicos, e a todos os demais interessados, o entendimento e pré-seleção daquelas que apresentam as particularidades mais interessantes para a implantação de um aterro sanitário, prosseguindo assim à realização de estudos mais específicos, como a verificação do nível do lençol freático, da permeabilidade e caracterização do solo em escalas mais específicas, a direção predominante do vento, entre outros.

Figura 8 - Corumbá (MS): Visão em grande escala das áreas com particularidades potencialmente positivas, 2021.



Fonte - Os autores, 2021.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho atendeu aos objetivos propostos, realizando a identificação das áreas aptas para a instalação de um aterro sanitário. Elaborou-se uma análise dos parâmetros elementares de ordem legal,

ambiental e logística que influem para a pré-seleção de áreas para a implantação de um aterro sanitário, apontando também a possibilidade de integração desta análise em ambiente SIG, por meio de métodos e procedimentos que possam ser agilmente implementados por entes públicos.

Com a “análise pormenorizada” pode-se identificar os prós e contras para a instalação de um aterro sanitário na região dos municípios de Corumbá e Ladário, oportunizando aos gestores públicos mais um dado científico para a seleção da melhor área para a construção de um aterro sanitário. Conforme a análise, as áreas identificadas como potencialmente positivas são as mais indicadas para a instalação de um aterro, carecendo de estudos complementares para a determinação daquela mais viável, visto que, os procedimentos desenvolvidos para a pré-seleção dessas áreas levaram em consideração variáveis em pequena e média escala, fazendo-se necessário estudos que compreendam detalhadamente o ambiente destas áreas. Nesse contexto, devido aos resultados obtidos e a sua aplicabilidade prática como subsídio para a gestão pública, o presente estudo será compartilhado com as autoridades municipais na expectativa que contribua para sanar uma das maiores demandas da população de Corumbá e Ladário. Assim, ratifica-se a premissa delineada pela hipótese norteadora deste trabalho.

Deve-se apontar ainda a possibilidade de associação dos municípios brasileiros aos municípios bolivianos de Puerto Quijarro e Puerto Suárez para a implantação de uma política conjunta de gestão de resíduos sólidos, com o descarte ambientalmente adequado em um local devidamente preparado para este fim, condição esta, muito diferente do cenário atual, tanto no Brasil, quanto na Bolívia. Apenas assim, poder-se-ia atender, em plenitude, os objetivos de conservação da planície pantaneira, responsabilidade definida inclusive pela constituição federal brasileira.

## AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001. O presente trabalho também foi realizado com o apoio da Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul – UFMS/MEC – Brasil. Agradecemos também ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão de bolsa de produtividade em pesquisa (processo n. 306448/2020-3).

## REFERÊNCIAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 13.896** - Aterro de resíduos não perigosos: critérios para projeto, implantação e operação, 1997.

ABRELPE - Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2018/2019**. 2019. Disponível em: <https://abrelpe.org.br/download-panorama-2018-2019/>. Acesso: 21 set. 2020.

AJIBADE, F. O.; OLAJIRE, O. O.; AJIBADE, T. F.; NWOGWU, N. A.; LASISI, K. H.; ALO, A. B.; OWALABI, T. A.; ADEWUMI, J. R. Combining multicriteria decision analysis with GIS for suitably siting landfills in a Nigerian state. **Environmental and Sustainability Indicators**, v. 3-4, 100010, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.indic.2019.100010>.

BRASIL. **Constituição da República Federativa do Brasil de 1988**. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/constituicao/constituicao.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm). Acesso em: 24 nov. 2020.

\_\_\_\_\_. **Lei nº 8.629, de 25 de fevereiro de 1993**. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/L8629compilado.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L8629compilado.htm). Acesso em 24 nov. 2020.

\_\_\_\_\_. **Decreto nº 0-011, de 28 de agosto de 1996**. Declara de utilidade pública, para fins de desapropriação, total ou parcial, ou instituição de servidão de passagem, em favor da Petróleo Brasileiro S.A. - PETROBRÁS, terrenos que menciona. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/dnn/anterior%20a%202000/1996/Dnn4367.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/dnn/anterior%20a%202000/1996/Dnn4367.htm). Acesso em: 24 nov. 2020.

\_\_\_\_\_. **Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010**, Brasília, DF, 2010. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm). Acesso em: 12 jun. 2020.

\_\_\_\_\_. **Decreto-lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012.** Institui o Novo Código Florestal Brasileiro. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de dezembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória no 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. DOU de 28 de maio de 2012. Brasília DF, 2012. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2011-2014/2012/lei/12651.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/12651.htm). Acesso em: 24 nov. 2020.

\_\_\_\_\_. Ministério do Desenvolvimento Regional. **Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: Diagnóstico do Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos** – 2018. Brasília, DF, 2019. 247 p. Disponível em: <http://www.snis.gov.br/diagnostico-anual-residuos-solidos>. Acesso em: 12 jun. 2020.

BROWN, D. P. Garbage: How population, landmass, and development interact with culture in the production of waste. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 98, p. 41-54, maio 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2015.02.012>.

CARVALHO, M. B. de; GIOVANINI JUNIOR, N.; LOLLO, J. A. de; LIMA, C. G. da R. Uso de geotecnologias na seleção de áreas para implantação de aterros sanitários: abordagem composta aplicada ao município de Mirandópolis, SP. **Revista Geociências**, v. 38, n. 3, p. 717 - 729, 2019. DOI: <https://doi.org/10.5016/geociencias.v38i3.13315>.

CELG PAR. **Especificação técnica para limitação do uso de faixa de linhas de subtransmissão e transmissão da celg par - 69 kV, 138 kV e 230 Kv.** 2010. Disponível em: <https://www.enel.com.br/content/dam/enel-br/one-hub-brasil--2018/nomas-t%C3%A9cnicas-go%C3%A1s/normas-t%C3%A9cnicas/ET-LTP.pdf>. Acesso em: 24 nov. 2020.

CHANG, N.; PARVATHINATHAN, G.; BREEDEN J. B. Combining GIS with fuzzy multicriteria decision-making for landfill siting in a fast-growing urban region. **Journal of Environmental Management**, v. 87, p. 139-153, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2007.01.011>.

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA nº 4, de 9 de outubro de 1995;** publicada no DOU no 236, de 11 de dezembro de 1995, Seção 1, página 20388. Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=182>. Acesso em: 24 nov. 2020.

CPRM - Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. Serviço Geológico do Brasil. **Sistema de informações de Águas Subterrâneas.** 2019. Disponível em: [http://siagasweb.cprm.gov.br/layout/visualizar\\_mapa.php](http://siagasweb.cprm.gov.br/layout/visualizar_mapa.php). Acesso em: 24 nov. 2020.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. **Súmula da X Reunião Técnica de Levantamento de solos.** Rio de Janeiro, SNLCS 1979.

\_\_\_\_\_. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos.** 5. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2018.

EPE - Empresa de Pesquisa Energética. **Mapa da Infraestrutura de Gasodutos de Transporte no Brasil.** 2019. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/mapa-da-infraestrutura-de-gasodutos-de-transporte-no-brasil>. Acesso em: 24 nov. 2020.

ESRI – Environmental Systems Research Institute. **ArcGIS Desktop:** Release 10. Redlands, CA: Environmental Systems Research Institute, 2018.

FEO, G.; GISI, S. Using MCDA and GIS for hazardous waste landfill siting considering land scarcity for waste disposal. **Waste Management**, v. 34, n. 11, p. 2225-2238, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2014.05.028>.

GORSEVSKI, P.V., DONEVSKA, K.R., MITROVSKI, C.D., FRIZADO, J.P., 2012. Integrating multicriteria evaluation techniques with geographic information systems for landfill site selection: a case study using ordered weighted average. **Waste Management**. 32, p. 287–296. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2011.09.023>.

HOORNEWEG, D.; BHADA-TATA, P.; KENNEDY, C. Environment: Waste production must peak this century. **Nature News**, v. 502, n. 7473, p. 615, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1038/502615a>.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. Manuais Técnicos em Geociências: **Manual Técnico de Geomorfologia.** Rio de Janeiro, 2009.

\_\_\_\_\_. **Manual Técnico de Uso da Terra.** Rio de Janeiro, 3ª ed., 2013.

- \_\_\_\_\_. **Manual Técnico de Pedologia**. Rio de Janeiro, 3ª ed., 2015.
- \_\_\_\_\_. **Base cartográfica continua do Brasil ao milionésimo**: Documentação Técnica Geral. Rio de Janeiro, 2016.
- \_\_\_\_\_. Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. **Mapeamento de Recursos Naturais do Brasil**. Rio de Janeiro, 2018. Escala: 1:250.000.
- \_\_\_\_\_. **Base cartográfica continua do Brasil**. Rio de Janeiro, 2019. Escala 1:250.000 -BC250.
- IMASUL - Instituto de Meio Ambiente de Mato Grosso do Sul. **Critérios para seleção de áreas para aterros sanitários**. 2020. Disponível em: <http://www.imasul.ms.gov.br/residuos-solidos/criterios-para-subsidiar-a-selecao-de-areas-para-aterros-sanitarios/>. Acesso em: 24 nov. 2020.
- IN CRA - Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária. **Acervo Fundiário**. 2020. Disponível em: <http://acervofundiario.incra.gov.br/acervo/acv.php>. Acesso em: 24 nov. 2020.
- IUCN - International Union for Conservation of Nature. World Heritage Nomination – IUCN Technical Evaluation: The Pantanal Conservation Complex (Brazil). WHC-00/CONF.204/INF.05. Gland, Switzerland, 2000.
- JAXA/METI - Japan Aerospace Exploration Agency/ Ministry of Economy, Trade, and Industry. **Alos Palsar L 1.0**. 2007. Accessed through ASF DAAC. Disponível em: <https://asf.alaska.edu/>. Acesso em: 20 nov. 2020.
- KAMDAR, I.; ALI, S.; BENNUL, A.; TECHATO, K.; JUTIDAMRONGPHAN, W. Municipal solid waste landfill siting using an integrated GIS-AHP approach: A case study from Songkhla, Thailand. **Resources, Conservation & Recycling**, v. 149, p. 220-235, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.05.027>.
- KAZA, S.; YAO, L.; BHADA-TATA, P.; WORDEN, F. V. **What a Waste 2.0 - A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050**. Urban Development. International Bank for Reconstruction and Development/ The World Bank. 1818 H Street NW, Washington, DC 240433. 2018. DOI: <https://doi.org/10.1596/978-1-4648-1329-0>.
- LEPSCH, I. F. **Formação e Conservação dos Solos**. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2010.
- LONGLEY, P. A.; GOODCHILD, M. F.; MAGUIRE, D. J.; RHIND, D. W. **Sistemas e Ciência da Informação Geográfica**. Tradução de André Schneider ... et al. 3 ed. Porto Alegre: Bookman, 2013.
- MAJID, M.; MIR, B. A. **Landfill site selection using GIS based multi criteria evaluation technique. A case study of Srinagar city, India**. **Environmental Challenges**, v. 3, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envc.2021.100031>.
- MAPBIOMAS - **Projeto de Mapeamento Anual da Cobertura e Uso do Solo no Brasil**. Coleção 5.0, 2018. Disponível em: <https://plataforma.mapbiomas.org/>. Acesso em: 24 nov. 2020.
- MONTAÑO, M.; RANIERI, V.E.L.; SCHALCH, V.; FONTES, A.T.; CASTRO, M.C.A.A.; SOUZA, M.P. Integração de critérios técnicos, ambientais e sociais em estudos de alternativas locais para a implantação de aterro sanitário. **Engenharia Sanitária Ambiental**, v. 17, n. 1, p. 61-70, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1413-41522012000100010>.
- MS - Mato Grosso do Sul (Estado). **Zoneamento Ecológico-Econômico de MS (ZEE-MS)**. 2015. Disponível em: <https://www.semagro.ms.gov.br/zoneamento-ecologico-economico-de-ms-zee-ms/>. Acesso em 24 de nov. de 2020.
- \_\_\_\_\_. **Indicadores de resíduos sólidos nos municípios de MS**. 2016. Disponível em: [http://www.tce.ms.gov.br/escoex/Arquivos/Publicacoes/residuos\\_solidos\\_2016\\_st5.pdf](http://www.tce.ms.gov.br/escoex/Arquivos/Publicacoes/residuos_solidos_2016_st5.pdf). Acesso em: 05 jan. 2022.
- NAS, B.; CAY, T.; ISCAN, F.; BERKTAY, A. Selection of MSW landfill site for Konya, Turkey using GIS and multi-criteria evaluation. **Environmental Monitoring and Assessment**. 160 (1–4), 2010, 491–500. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10661-008-0713-8>.
- PADOVANI, C. R. **Dinâmica Espaço-Temporal das Inundações do Pantanal**. 2010. 175 f. Tese (Doutorado em Ecologia Aplicada) – Escola Superior de Agricultura Luis de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba-SP.

REZAEISABZEVAR, Y.; BAZARGAN, A.; ZOHOURIAN, B. Landfill site selection using multi criteria decision making: Focus on influential factors for comparing locations. **Journal of Environmental Sciences**. v. 93, July 2020, p. 170-184. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jes.2020.02.030>.

ROSS, J. L. S. Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, n. 8, p. 63-74, 1994. DOI: <https://doi.org/10.7154/RDG.1994.0008.0006>.

SICAR - Sistema Nacional de Cadastro Ambiental Rural. **Imóveis**. 2020. Disponível em: <https://www.car.gov.br/publico/imoveis/index>. Acesso em: 24 nov. 2020.

SILVA, J. S. V.; POTT, A.; ABDON, M. M.; POTT, V. J.; SANTOS, K. R., 2011. **Projeto GeoMS: Cobertura vegetal e uso da terra do Estado de Mato Grosso do Sul**. Campinas: Embrapa Informática Agropecuária.

TBG - Transportadora Brasileira Gasoduto Bolívia-Brasil. **Faixa de Servidão**. 2015. Disponível em: [http://34.194.107.150/pt\\_br/o-gasoduto/faixa-de-servidao.htm](http://34.194.107.150/pt_br/o-gasoduto/faixa-de-servidao.htm). Acesso em: 24 nov. 2020.

TISSERANT, A.; PAULIUK, S.; MERCIAI, S.; SCHMIDT, J.; FRY, J.; WOOD, R.; TUKKER, A. Solid Waste and the Circular Economy: A Global Analysis of Waste Treatment and Waste Footprints. **Journal of Industrial Ecology**, v. 21, p. 628-640, jun. 2017. DOI: <https://doi.org/10.1111/jiec.12562>.

ZAINU, Z. A.; SONGIP, A. R. Policies, Challenges and Strategies for Municipal Waste Management in Malaysia. **Journal of Science, Technology and Innovation Policy**, v. 3, n. 1, p.18-22, jun. 2017. DOI: <https://doi.org/10.11113/jostip.v3n1.18>.

---

Recebido em: 08/09/2021

Aceito para publicação em: 16/05/2022