

Universidade Federal da Grande Dourados - UFGD
Faculdade de Ciências Biológicas e Ambientais - FCBA
Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade e Meio Ambiente - PPGBMA

Conectividade ecológica sob diferentes cenários ambientais na região da Serra da
Bodoquena, MS

Amanda Araujo de Souza

Dourados – MS
Agosto de 2026

Universidade Federal da Grande Dourados - UFGD
Faculdade de Ciências Biológicas e Ambientais - FCBA
Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade e Meio Ambiente - PPGBMA

Amanda Araujo de Souza

Conectividade ecológica sob diferentes cenários ambientais na região da Serra da
Bodoquena, MS

Dissertação apresentada à Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD), como parte dos requisitos exigidos para obtenção do título de Mestre em Biodiversidade e Meio Ambiente.

Área de concentração: Conservação dos Recursos Naturais.

Orientador: Prof. Dr. Sandro Menezes Silva.

Coorientadores: Prof. Dr. Joelson Gonçalves Pereira e Prof. Dr. Marcos Reis Rosa.

Dourados - MS

Agosto de 2026

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP).

S729c Souza, Amanda Araujo De

Conectividade ecológica sob diferentes cenários ambientais na região da Serra da Bodoquena.
MS [recurso eletrônico] / Amanda Araujo De Souza. -- 2026.
Arquivo em formato pdf.

Orientador: Sandro Menezes Silva.

Coorientador: Joelson Gonçalves Pereira.

Dissertação (Mestrado em Biodiversidade e Meio Ambiente)-Universidade Federal da Grande Dourados, 2026.

Disponível no Repositório Institucional da UFGD em:
<https://portal.ufgd.edu.br/setor/biblioteca/repositorio>

1. Dinâmica da paisagem. 2. Conectividade estrutural. 3. MapBiomass. 4. Serra da Bodoquena. 5. Gestão de recursos hídricos. I. Silva, Sandro Menezes. II. Pereira, Joelson Gonçalves. III. Título.

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

©Direitos reservados. Permitido a reprodução parcial desde que citada a fonte.

**"CONECTIVIDADE ECOLÓGICA SOB DIFERENTES CENÁRIOS AMBIENTAIS NA
REGIÃO DA SERRA DA BODOQUENA, MS"**

POR

AMANDA ARAÚJO DE SOUZA

**DISSERTAÇÃO APRESENTADA À UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE
DOURADOS (UFGD), COMO PARTE DOS REQUISITOS EXIGIDOS PARA
OBTENÇÃO DO TÍTULO DE MESTRE EM BIODIVERSIDADE E MEIO AMBIENTE -
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: "CONSERVAÇÃO DOS RECURSOS NATURAIS".**

 Documento assinado digitalmente
SANDRO MENEZES SILVA
Data: 14/08/2026 14:30:52-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

**PROF. DR. SANDRO MENEZES SILVA
ORIENTADOR – UFGD**

 Documento assinado digitalmente
JAIRO CAMPOS GAONA
Data: 17/08/2026 10:00:45-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

**PROF. DR. JAIRO CAMPOS GAONA
MEMBRO TITULAR – UFGD**

 Documento assinado digitalmente
PATRICIA SILVA FERREIRA EICHENBERG
Data: 14/08/2026 16:40:44-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

**PROF.^a DR.^a PATRICIA SILVA FERREIRA EICHENBERG
MEMBRO TITULAR – UFGD**

Aprovada em 14 de agosto de 2026.

AGRADECIMENTOS

Quero dedicar este trabalho à minha mãe, por tudo o que fez por mim e pela minha irmã. Se hoje chego até esta etapa, é porque você acreditou no nosso futuro. Tudo o que construí carrega a sua força, os seus ensinamentos e o seu amor. Obrigada por tudo, mãe!

Ao meu pai, *in memoriam*. Embora a vida não tenha nos permitido compartilhar esta caminhada, espero que possa se orgulhar da mulher que me tornei. Este trabalho também é por você.

À Aline, minha irmã e amiga, obrigada por compartilhar comigo a vida, por estar presente e por sempre torcer por mim.

Lara, minha companheira de vida, obrigada por acreditar em mim quando eu mesma duvidei, acolher minhas inseguranças e tornar este percurso mais leve. Obrigada por ser meu porto seguro e meu lar nos dias em que me senti perdida.

Cecília, com seu jeitinho espontâneo, carinhoso e alegre, trouxe leveza aos meus dias e me lembrou que a vida também pode ser bonita, mesmo nos momentos mais difíceis. A tia te ama!

Minha gratidão também à minha sogra, pelo carinho, pelo acolhimento e por torcer por mim.

Aos meus amigos, que compreenderam minhas ausências e permaneceram ao meu lado, obrigada por cada palavra de incentivo, cada conversa e cada gesto de carinho.

Ao professor Sandro Menezes Silva, o Sandrinho, pela orientação, confiança, apoio e paciência, que precisou ser grande em muitos momentos. Obrigada por conduzir este trabalho comigo e contribuir para minha formação como pesquisadora.

Ao professor Joelson Gonçalves Pereira, o Jojo, pelos ensinamentos, pela confiança e, principalmente, pela empatia. Obrigada por acreditar em mim e tornar esta caminhada mais leve.

E ao professor Marcos Reis Rosa, por aceitar fazer parte desta pesquisa, compartilhar seu conhecimento e contribuir para o desenvolvimento deste trabalho.

Por fim, agradeço à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo período em que fui contemplada com a bolsa de estudos.

Conectividade ecológica sob diferentes cenários ambientais na região da Serra da Bodoquena, MS

RESUMO

A região da Serra da Bodoquena abriga ecossistemas cársticos de excepcional valor ecológico e turístico, sob crescente pressão decorrente da expansão agropecuária. Este estudo realizou uma análise multi-temporal do uso e cobertura da terra nas Bacias Hidrográficas dos Rios Formoso e Miranda (MS), utilizando dados da Coleção 10.1 do MapBiomas no período de 1985 a 2024, com detalhamento cartográfico dos marcos temporais de 1985, 1994, 2004, 2014 e 2024. Foram elaborados três cenários espaciais: Atual (2024), Pessimista (conversão dos remanescentes desprotegidos) e Otimista (recuperação das Áreas de Preservação Permanente — APP e Reserva Legal — RL), além de um exercício tendencial linear para 2064. A modelagem de corredores ecológicos estruturais potenciais foi processada no QGIS com o complemento *LinkScape* (estratégia *Most Connectivity*, limite de 2.500 ha por bacia). Os resultados indicam perda acumulada de formações naturais de 16.505,47 ha no Rio Formoso e 29.025,23 ha no Rio Miranda entre 1985 e 2024, com destaque para a supressão florestal (12.566,80 ha e 25.951,75 ha, respectivamente). A lavoura de soja registrou expansão de 20.482,47 ha no Formoso, enquanto a pastagem cresceu 38.141,04 ha no Miranda. A modelagem espacial identificou 266 corredores estruturais prioritários conectando 465 fragmentos (2.499,37 ha de corredores na Bacia do Rio Formoso), viabilizando a articulação de 69.928,58 ha em conjuntos contíguos de vegetação nativa. Os cenários evidenciam a premência do cumprimento do Código Florestal e da Lei da Mata Atlântica para resguardar a integridade hídrica e a resiliência biológica regional.

Palavras-chave: Dinâmica da paisagem; Conectividade estrutural; MapBiomas; Serra da Bodoquena; Gestão de recursos hídricos.

Land-use and land-cover trajectories and ecological connectivity scenarios in the Formoso and Miranda river basins, Serra da Bodoquena, MS

ABSTRACT

The Bodoquena Plateau Range harbor karst ecosystems of exceptional ecological and tourist importance, currently under intense pressure from agricultural expansion. This study conducted a multitemporal land use and land cover analysis in the Formoso and Miranda River Basins (Mato Grosso do Sul state, Brazil), using MapBiomas Collection 10.1 data from 1985 to 2024, focusing cartographically on 1985, 1994, 2004, 2014, and 2024. Three spatial scenarios were developed: Current (2024), Pessimistic (conversion of unprotected remnants), and Optimistic (restoration of Permanent Preservation Areas — APP and Legal Reserves — RL), alongside an exploratory linear trend exercise up to 2064. Potential structural ecological corridors were modeled in QGIS using the *LinkScape* plugin (*Most Connectivity* strategy, 2,500 ha allocation limit per basin). Results demonstrate cumulative native vegetation losses of 16,505.47 ha in the Formoso Basin and 29,025.23 ha in the Miranda Basin between 1985 and 2024, predominantly affecting forest formations (12,566.80 ha and 25,951.75 ha, respectively). Soybean cultivation expanded by 20,482.47 ha in the Formoso Basin, while cultivated pasture grew by 38,141.04 ha in the Miranda Basin. Spatial modeling mapped 266 structural corridors linking 465 patches (2,499.37 ha of corridors in the Formoso Basin), structuring 69,928.58 ha into contiguous habitat networks. These scenarios emphasize the urgent need for enforced compliance with the Forest Code and the Atlantic Forest Act to ensure hydrological integrity and regional landscape resilience.

Keywords: Landscape Dynamics; Structural Connectivity; MapBiomas; Bodoquena Mountain Range; Water Resources Management.

Conectividad ecológica bajo diferentes escenarios ambientales en la region de la Serra da Bodoquena, MS

RESUMEN

La Sierra de la Bodoquena alberga ecosistemas kársticos de extraordinario valor ecológico y turístico, bajo creciente presión derivada de la expansión agropecuaria. Este estudio realizó un análisis multitemporal del uso y cobertura del suelo en las Cuencas Hidrográficas de los Ríos Formoso y Miranda (MS), utilizando datos de la Colección 10.1 de MapBiomass entre 1985 y 2024, con marcos cartográficos en 1985, 1994, 2004, 2014 y 2024. Se elaboraron tres escenarios espaciales: Actual (2024), Pesimista (conversión de remanentes desprotegidos) y Optimista (recuperación de Áreas de Preservación Permanente — APP y Reserva Legal — RL), complementados con un ejercicio tendencial lineal hacia 2064. El modelado de corredores ecológicos estructurales potenciales se procesó en QGIS con el complemento *LinkScape* (estrategia *Most Connectivity*, límite de 2.500 ha por cuenca). Los resultados indican una pérdida acumulada de vegetación natural de 16.505,47 ha en el Río Formoso y 29.025,23 ha en el Río Miranda entre 1985 y 2024, destacando la deforestación (12.566,80 ha y 25.951,75 ha, respectivamente). El cultivo de soja aumentó 20.482,47 ha en Formoso, mientras las pasturas crecieron 38.141,04 ha en Miranda. El modelado espacial identificó 266 corredores estructurales prioritarios que conectan 465 fragmentos (2.499,37 ha de corredores en Formoso), articulando 69.928,58 ha en redes contiguas. Los escenarios evidencian la necesidad de aplicar el Código Forestal y la Ley del Bosque Atlántico para salvaguardar la integridad hídrica regional.

Palabras clave: Dinâmica del Paisaje; Conectividad Estructural; MapBiomass; Sierra de la Bodoquena; Gestión de Recursos Hídricos.

SUMÁRIO

MANUSCRITO.....	1
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. METODOLOGIA.....	3
2.1 Delimitação e Caracterização da área de Estudo	3
2.2 Obtenção dos dados e ferramentas de geoprocessamento	4
2.3 Estruturação dos Cenários Futuros e Projeções Espaciais.....	7
2.4 Modelagem dos orredores Ecológicos Estruturais com o <i>LinkScape</i>	8
3. RESULTADOS	9
3.1 Dinâmica temporal e espacial do uso e cobertura da terra	6
3.2 Base integrada e cenários de conectividade ecológica	14
3.3 Modelagem de Corredores Ecológicos Estruturais.....	17
4. DISCUSSÃO	17
5. CONCLUSÕES	20
6. REFERÊNCIAS	20
NORMA EDITORIAL ADOTADA	24

Análise multitemporal, cenários futuros e proposição de corredores ecológicos nas bacias dos rios Formoso e Miranda, Mato Grosso do Sul

Amanda Araujo de Souza¹, Sandro Menezes Silva², Joelson Gonçalves Pereira², Marcos Reis Rosa³

¹ Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade e Meio Ambiente, Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, MS, Brasil.

² Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, MS, Brasil.

³ Universidade de São Paulo, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, São Paulo, SP, Brasil.

1. INTRODUÇÃO

A conversão antrópica dos ecossistemas naturais constitui um dos principais vetores das transformações ambientais globais, alterando ciclos biogeoquímicos, modificando regimes hidrológicos e acelerando a perda de biodiversidade em escala planetária (Foley *et al.*, 2005; Montràs-Janer *et al.*, 2024). No domínio neotropical, a expansão da fronteira agropecuária sobre áreas de alta relevância biológica resulta na intensa fragmentação de habitats, caracterizada pela divisão de ecossistemas contínuos em fragmentos reduzidos e espacialmente isolados em meio a uma matriz antrópica hostil (Fahrig, 2003; Haddad *et al.*, 2015). Esse processo compromete a conectividade da paisagem, compreendida classicamente como o grau em que a estrutura espacial facilita ou impede o movimento de organismos e o fluxo de processos ecológicos entre manchas de habitat (Taylor *et al.*, 1993; Tischendorf e Fahrig, 2000).

A perda de cobertura florestal e o avanço de matrizes agrícolas homogêneas afetam severamente a integridade ecossistêmica, impondo limiares críticos de extinção local, proliferação de efeitos de borda e redução drástica do tamanho efetivo de populações silvestres (Martensen *et al.*, 2012; Ribeiro *et al.*, 2009). Diante desse cenário, a proposição de redes de conectividade física emerge como uma das estratégias mais eficazes no planejamento e conservação da paisagem (Beier e Noss, 1998; Tambosi *et al.*, 2014; Salomão *et al.*, 2023). No escopo de análises regionais baseadas em sensoriamento remoto sem dados de rastreamento de fauna, tais arranjos configuram corredores estruturais potenciais, isto é, faixas contíguas de vegetação nativa desenhadas para restabelecer a continuidade física entre remanescentes florestais e Unidades de Conservação (UC), viabilizando rotas teóricas para o fluxo gênico e a dispersão biológica (Manes *et al.*, 2025; Ward *et al.*, 2020).

No Brasil, a efetividade da proteção da vegetação nativa está atrelada à implementação de instrumentos normativos, com destaque para a Lei de Proteção da Vegetação Nativa (Lei Federal nº 12.651/2012 - Código Florestal) e a Lei da Mata Atlântica (Lei Federal nº 11.428/2006). A aplicação integrada de Áreas de Preservação Permanente (APP) e Reserva

Legal (RL), associada ao Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza (SNUC - Lei Federal nº 9.985/2000), constitui a base legal indispensável para a salvaguarda de serviços ecossistêmicos vitais, tais como a regulação hídrica, a contenção de processos erosivos e o sequestro de carbono (Soares-Filho *et al.*, 2014; Climate Policy Initiative, 2025).

A região da Serra da Bodoquena, localizado no Estado de Mato Grosso do Sul, forma uma das províncias cársticas mais singulares do continente sul-americano (Sallun Filho e Karmann, 2007; Zavala *et al.*, 2017). A região caracteriza-se pela presença de calcários neoproterozoicos do Grupo Corumbá, que propiciam a formação de feições geomorfológicas cársticas subterrâneas e superficiais (dolinas, sumidouros, cavernas e ressurgências) e originam cursos d'água de extraordinária transparência química e biológica, em virtude da precipitação de carbonato de cálcio sobre depósitos de tufas e tufos calcários (Sallun Filho e Karmann, 2007; Spanholi e Young, 2023). Essa especificidade hidrogeoquímica sustenta um setor ecoturístico de renome internacional centrado no município de Bonito e adjacências (Garzoni e Martins, 2011; Umeda, Santos e Lastoria, 2015).

Em termos fitogeográficos, a área de estudo representa uma zona de tensão ecológica e transição biogeográfica crucial entre os biomas Cerrado e Mata Atlântica (Floresta Estacional Decidual e Semidecidual), abrigando expressiva riqueza florística, endemismos e espécies ameaçadas de extinção (Damasceno Junior *et al.*, 2024; Fontes, 2025). Ademais, a hidrografia da Serra da Bodoquena atua como subsistema formador fundamental da Bacia Hidrográfica do Rio Paraguai e da Planície Pantaneira, de modo que qualquer alteração nos regimes de vazão e no aporte de sedimentos repercute diretamente na dinâmica hidrológica do Pantanal Sul-Mato-Grossense (Chiaravalloti *et al.*, 2022).

O avanço sistemático da agropecuária tecnificada, baseada historicamente na pecuária extensiva e, nas últimas duas décadas, potencializada pela introdução intensiva do cultivo de soja e milho, tem gerado preocupações quanto à estabilidade morfodinâmica e hidrológica desse carste (Fontes, 2025; MapBiomas, 2026). As intervenções antrópicas desordenadas, caracterizadas pela supressão de matas ciliares, abertura de drenagens artificiais e pulverização de defensivos em solos rasos e cársticos, potencializam episódios de turbidez crônica nas águas dos rios Formoso e Miranda, ameaçando tanto a biota aquática quanto as atividades econômicas da região (Spanholi e Young, 2023; Umeda, Santos e Lastoria, 2015).

Nesse contexto de vulnerabilidade socioambiental, a investigação dos padrões históricos de transformação da paisagem e a modelagem prospectiva de cenários futuros tornam-se ferramentas imperativas para a gestão do território. O presente estudo tem como objetivos: (a) quantificar as mudanças espaço-temporais no uso e cobertura da terra nas Bacias Hidrográficas

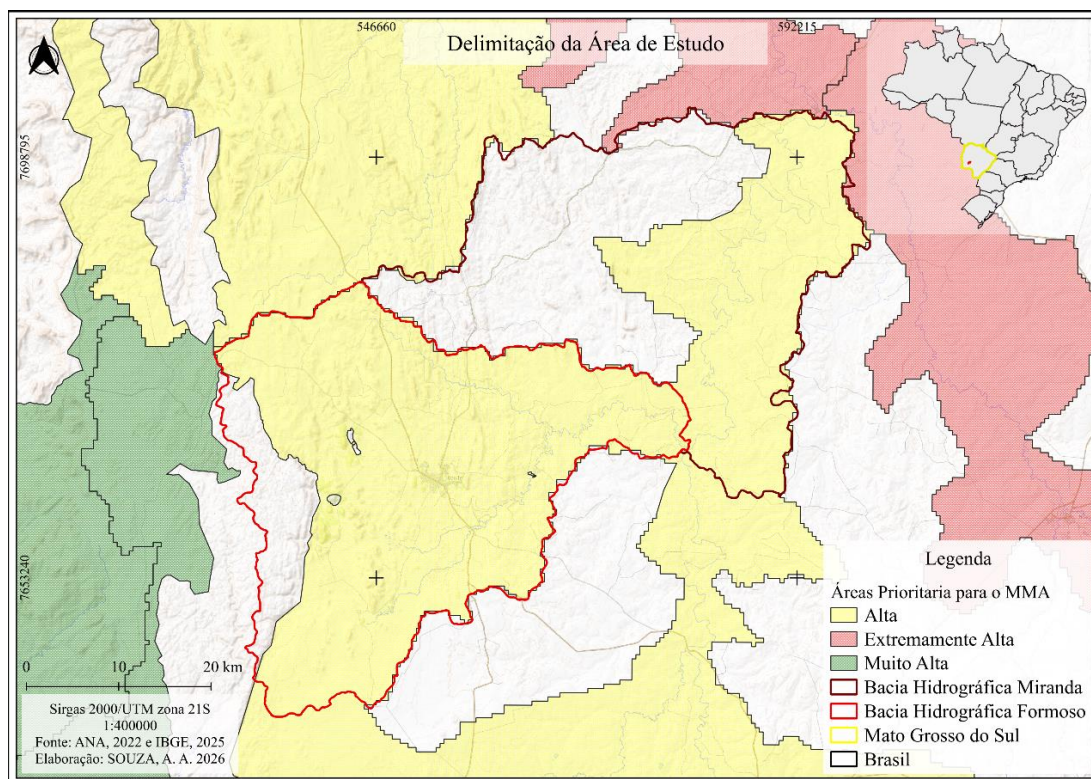
dos Rios Formoso e Miranda no período de 1985 a 2024, a partir dos dados da Coleção 10.1 do MapBiomas; (b) elaborar e comparar cenários espaciais territoriais (Atual, Pessimista e Otimista) complementados por uma projeção linear exploratória até o ano de 2064; e (c) modelar uma rede de corredores ecológicos estruturais potenciais prioritários, fornecendo subsídios quantitativos e cartográficos para o planejamento ambiental, a restauração ecológica e as políticas públicas de conservação na Serra da Bodoquena.

2. METODOLOGIA

2.1 Delimitação e Caracterização da Área de Estudo

A área de estudo abrange as Bacias Hidrográficas dos Rios Formoso e Miranda, localizadas no setor sudoeste do Estado de Mato Grosso do Sul, compreendendo porções territoriais dos municípios de Bonito, Bodoquena, Jardim, Guia Lopes da Laguna, Miranda e Porto Murtinho (Figura 1). A delimitação hidrográfica adotada fundamentou-se na base hidrográfica ottocodificada da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA, 2020) e no arcabouço cartográfico do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2022).

Figura 1: Localização das bacias hidrográficas dos rios Formoso e Miranda, Serra da Bodoquena, Mato Grosso do Sul.



Elaboração: Autores (2026).

A Bacia Hidrográfica do Rio Formoso abrange uma área total aproximada de 136.000 ha, configurando o principal polo ecoturístico cárstico de Bonito. A Bacia do Rio Miranda, em

seu recorte regional de análise vinculado à borda leste e planície contígua ao Planalto da Bodoquena, engloba cerca de 360.000 ha. Regionalmente, a área insere-se no domínio morfoclimático do Cerrado, com forte influência de elementos florísticos da Mata Atlântica (Floresta Estacional Semidecidual e Decidual sobre afloramentos calcários), sob clima tropical sazonal (Aw na classificação de Köppen), com estação chuvosa pronunciada no verão e seca no inverno.

O território engloba importantes áreas legalmente protegidas vinculadas ao Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC — Lei Federal nº 9.985/2000) e ao Cadastro Nacional de Unidades de Conservação (CNUC/MMA), conforme sintetizado na Tabela 1.

Tabela 1: Unidades de Conservação existentes na área de influência das bacias dos Rios Formoso e Miranda (MS).

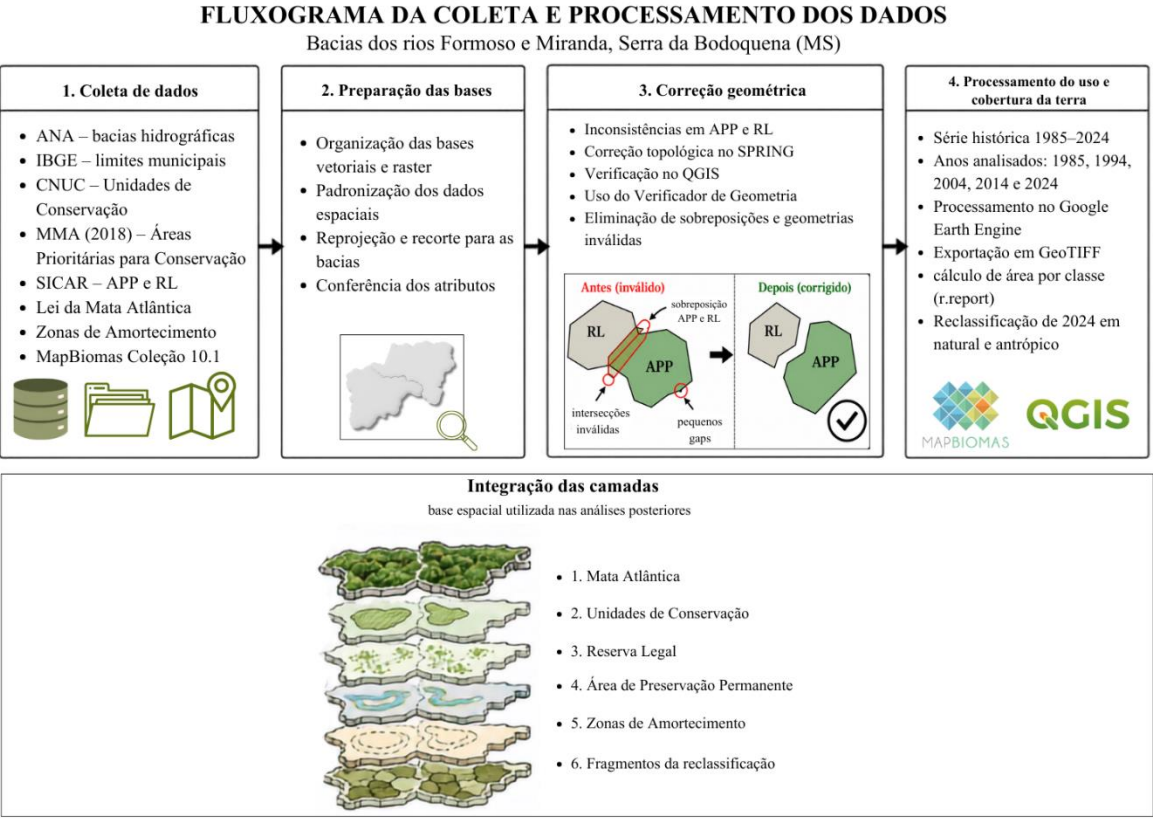
Nome	Jurisdição
Monumento Natural da Gruta do Lago Azul	Estadual
Monumento Natural do Rio Formoso	Estadual
Reserva Particular do Patrimônio Natural Rancho Tucano	Estadual
Reserva Particular do Patrimônio Natural Fazenda São Pedro da Barra	Estadual
Reserva Particular do Patrimônio Natural Fazenda São Geraldo	Estadual
Reserva Particular do Patrimônio Natural Estância Mimosa	Estadual
Reserva Particular do Patrimônio Natural Fazenda América	Federal
Reserva Particular do Patrimônio Natural Fazenda Boqueirão	Federal
Parque Nacional da Serra da Bodoquena	Federal
Reserva Particular do Patrimônio Natural Fazenda Singapura	Federal
Reserva Particular do Patrimônio Natural Sesc Bonito	Federal
Reserva Particular do Patrimônio Natural Santuário	Federal

Fonte: Elaborado com base em dados do MMA/CNUC (Brasil, 2000, 2018) e Imasul (2024).

2.2 Obtenção dos dados e ferramentas de geoprocessamento

O fluxo metodológico foi estruturado em quatro etapas sequenciais de geoprocessamento, desenhadas para garantir a replicabilidade do estudo, desde a aquisição das bases oficiais até a integração das camadas que subsidiaram a análise de conectividade, conforme segue abaixo (Figura 2).

Figura 2: Etapas de coleta, correção, processamento e integração dos dados utilizados nas bacias dos rios Formoso e Miranda.



Elaboração: Autores (2026).

Etapa 1: na coleta e aquisição de dados, foram utilizados dados espaciais provenientes de bases oficiais. A delimitação hidrográfica foi obtida junto à ANA, e os limites político-administrativos junto ao Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). As unidades de conservação foram obtidas no Cadastro Nacional de Unidades de Conservação (CNUC), e as Áreas Prioritárias para a Conservação da Biodiversidade no Ministério do Meio Ambiente (Brasil, 2018). As camadas de Áreas de Preservação Permanente (APP) e Reserva Legal (RL) foram provenientes do Sistema Nacional de Cadastro Ambiental Rural (SICAR). Também foram incorporadas a área de aplicação da Lei da Mata Atlântica (Brasil, 2006), as Zonas de Amortecimento consideradas no estudo e os dados de uso e cobertura da terra da Coleção 10 do MapBiomias (MapBiomias, 2026). A Zona de Amortecimento do Monumento Natural do Rio Formoso foi delimitada no QGIS a partir do critério espacial descrito no plano de manejo da unidade e conferida com a base de dados estadual.

Etapa 2: na preparação e padronização das bases, procedeu-se à organização dos arquivos vetoriais e raster para assegurar a interoperabilidade dos dados. Todos os arquivos

foram submetidos à padronização espacial, com adoção de sistema de coordenadas projetadas e datum SIRGAS 2000, seguida de reprojeção e recorte para o limite das bacias hidrográficas. Realizou-se ainda a conferência da integridade das tabelas de atributos, verificando a consistência das informações alfanuméricas associadas aos polígonos e pixels, etapa essencial para evitar erros nas fases subsequentes.

Etapa 3: na correção geométrica e topológica, foram identificadas e corrigidas inconsistências nas camadas de APP e RL, frequentemente sujeitas a sobreposições no SICAR. Utilizou-se o software SPRING para a execução de correções topológicas (Câmara *et al.*, 1996), e os dados foram validados no QGIS, empregando a ferramenta Verificador de Geometria para a identificação e eliminação de geometrias inválidas, como nós soltos e polígonos autointerseccionados. Esse procedimento permitiu a transição de uma base com sobreposições espaciais para uma malha corrigida e topologicamente consistente.

Etapa 4: no processamento do uso e cobertura da terra, foram processados os dados anuais do MapBiomias de 1985 a 2024 na plataforma Google Earth Engine (Gorelick *et al.*, 2017), utilizando a metodologia de classificação baseada em imagens Landsat (Souza Junior *et al.*, 2020). Foram analisados os marcos temporais de 1985, 1994, 2004, 2014 e 2024, permitindo o cálculo de taxas de conversão e a identificação de padrões de substituição de classes de uso. Os dados resultantes foram exportados em formato GeoTIFF, e o cálculo das áreas por classe foi realizado por meio do comando `r.report` no ambiente GRASS GIS. Para a análise de conectividade, o mapa de 2024 foi reclassificado em duas categorias amplas: áreas naturais (vegetação nativa) e áreas antrópicas (agropecuária e infraestrutura).

A integração das camadas consistiu na síntese de seis níveis de informações espaciais sobrepostas: remanescentes da Mata Atlântica, unidades de conservação, Reservas Legais, Áreas de Preservação Permanente, Zonas de Amortecimento e os fragmentos de vegetação natural identificados em 2024. Essa integração permitiu mapear a infraestrutura verde existente e identificar lacunas de conectividade, servindo de base para a construção dos cenários de conectividade ecológica.

O processamento computacional e a álgebra de mapas foram executados por meio da integração de plataformas complementares de geoprocessamento: (a) plataforma em nuvem Google Earth Engine (GEE) (Gorelick *et al.*, 2017) para extração, filtragem espacial e pré-processamento das coleções raster; (b) software livre QGIS versão 3.40.3 (QGIS Development Team, 2025) e GRASS GIS para análises espaciais vetoriais, operações topológicas e geração

do layout cartográfico; e (c) aplicativo SPRING (Câmara *et al.*, 1996) para procedimentos de segmentação e validação de classes temáticas.

A classificação temática dos dados de uso e cobertura da terra foi realizada com base na legenda da Coleção 10 do MapBiomas, cujos produtos apresentam resolução espacial de 30 m. Para a identificação das classes presentes na camada raster, o arquivo de legenda disponibilizado pelo MapBiomas foi importado para o software QGIS, versão 3.40.3, como um estilo de simbologia. Esse procedimento permitiu associar os códigos numéricos dos pixels às respectivas classes de uso e cobertura da terra, de acordo com a nomenclatura e a simbologia estabelecidas pelo MapBiomas, possibilitando a visualização e a identificação das categorias temáticas representadas na área de estudo.

2.3 Estruturação dos Cenários Futuros e Projeções Espaciais

A base integrada de 2024 foi utilizada como referência para três cenários espaciais de conectividade: atual, pessimista e otimista. O cenário atual correspondeu à própria composição integrada, reunindo os remanescentes de vegetação nativa e os instrumentos territoriais incorporados ao estudo. O cenário pessimista foi constituído apenas por Áreas de Preservação Permanente (APP), Reserva Legal (RL), áreas protegidas pela Lei da Mata Atlântica (MA) e Unidades de Conservação (UC). Essas categorias foram mantidas por apresentarem delimitação formal e regimes específicos de proteção e uso, sendo tratadas, para fins da modelagem, como os elementos com maior possibilidade relativa de permanência diante da continuidade das perdas de vegetação. A escolha não pressupõe que essas áreas sejam invioláveis ou estejam integralmente conservadas (Brasil, 2000; Brasil, 2012).

O cenário otimista manteve a composição de 2024 e acrescentou corredores ecológicos potenciais gerados no QGIS 3.40.3 com o plugin LinkScape, versão 1.5.0. Foi utilizado o modo vetorial, tendo como entrada os polígonos da base integrada, e a estratégia de otimização Most Connectivity, orientada à seleção de conexões que ampliam a área inserida em conjuntos espacialmente conectados (BISHOP, 2025). A parametrização do LinkScape foi definida a partir de quatro origens complementares. O orçamento de 2.500 ha por bacia constituiu uma restrição de planejamento deliberada, adotada para equalizar o esforço de restauração entre as duas bacias e assegurar a comparabilidade do cenário otimista.

A largura mínima de 200 m fundamentou-se na literatura de largura funcional de corredores ecológicos, adotando-se um patamar mínimo compatível com a faixa reportada para corredores efetivos (Luo *et al.*, 2024; Jurečka *et al.*, 2024). A distância máxima de busca de 5.000 m baseou-se em valores de dispersão de espécies de médio porte da fauna regional,

reconhecendo-se a alta sensibilidade dos modelos de conectividade a esse parâmetro (Ortiz-Rodríguez *et al.*, 2023). A área mínima de mancha de 10 ha constituiu uma opção operacional para excluir micro-fragmentos de baixa relevância estrutural, preservando, porém, os fragmentos capazes de atuar como stepping stones (Herrera *et al.*, 2017; Siqueira *et al.*, 2021). Para avaliar a robustez do cenário otimista, os parâmetros de maior incerteza (área mínima de mancha e distância máxima de busca) foram submetidos a análise de sensibilidade, verificando-se a estabilidade das conexões e corredores identificados frente a variações desses valores.

Como exercício prospectivo complementar, foi realizada uma extrapolação linear das áreas das classes de uso e cobertura da terra até 2064. A análise descritiva da trajetória considerou toda a série anual do período (1985–2024); o cálculo projetivo, porém, apoiou-se apenas na variação líquida entre os extremos da série. Para cada classe, a taxa média anual de variação foi estimada pela diferença entre as áreas de 2024 e 1985, dividida pelos 39 intervalos anuais do período. Essa taxa foi então projetada por 40 anos (2024–2064) e acrescida à área de 2024. O exercício teve finalidade exclusivamente ilustrativa: verificar a continuidade matemática da direção líquida de variação observada em cada classe, sem qualquer incorporação aos cenários de conectividade, cuja composição espacial foi construída de forma independente.

2.4 Modelagem de Corredores Ecológicos Estruturais com o LinkScape

A modelagem de conectividade espacial foi desenvolvida no ambiente QGIS versão 3.40.3 utilizando o complemento *LinkScape* (versão 1.5.0), fundamentado nos arcabouços algorítmicos da teoria dos grafos e da ecologia da paisagem (Herrera *et al.*, 2017; Ortiz-Rodríguez *et al.*, 2023; Siqueira *et al.*, 2021). A rotina espacial foi configurada a partir dos seguintes parâmetros padronizados:

Estratégia de Otimização: *Most Connectivity* (priorização de conexões que maximizam a coesão global da rede de fragmentos e a centralidade do grafo ecológico);

Limite de Alocação de Área: 2.500 ha por bacia hidrográfica destinados à implantação de faixas de restauração/conectividade;

Largura Mínima da Faixa do Corredor: 200 metros (buffer linear bilateral de 100 m), dimensão preconizada pela literatura para mitigar efeitos deletérios de borda e viabilizar funcionalidade estrutural (Beier e Noss, 1998; Tambosi *et al.*, 2014);

Distância Euclidiana Máxima de Conexão: 5.000 metros entre bordas de fragmentos florestais;

Área Mínima de Mancha Central (Core Habitat): Fragmentos de vegetação nativa com área superior ou igual a 10 ha, excluindo-se elementos ultrafragmentados desprovidos de estabilidade física.

O presente desenho algorítmico gera uma rede de *conectividade estrutural potencial*. O modelo não computa custos de fricção da matriz específicos para espécies-alvo (resistência biológica da paisagem) nem contou com validação de dispersão de fauna por radiotelemetria ou armadilhas fotográficas, consistindo em um planejamento físico-espacial para priorização de políticas públicas de restauração florestal.

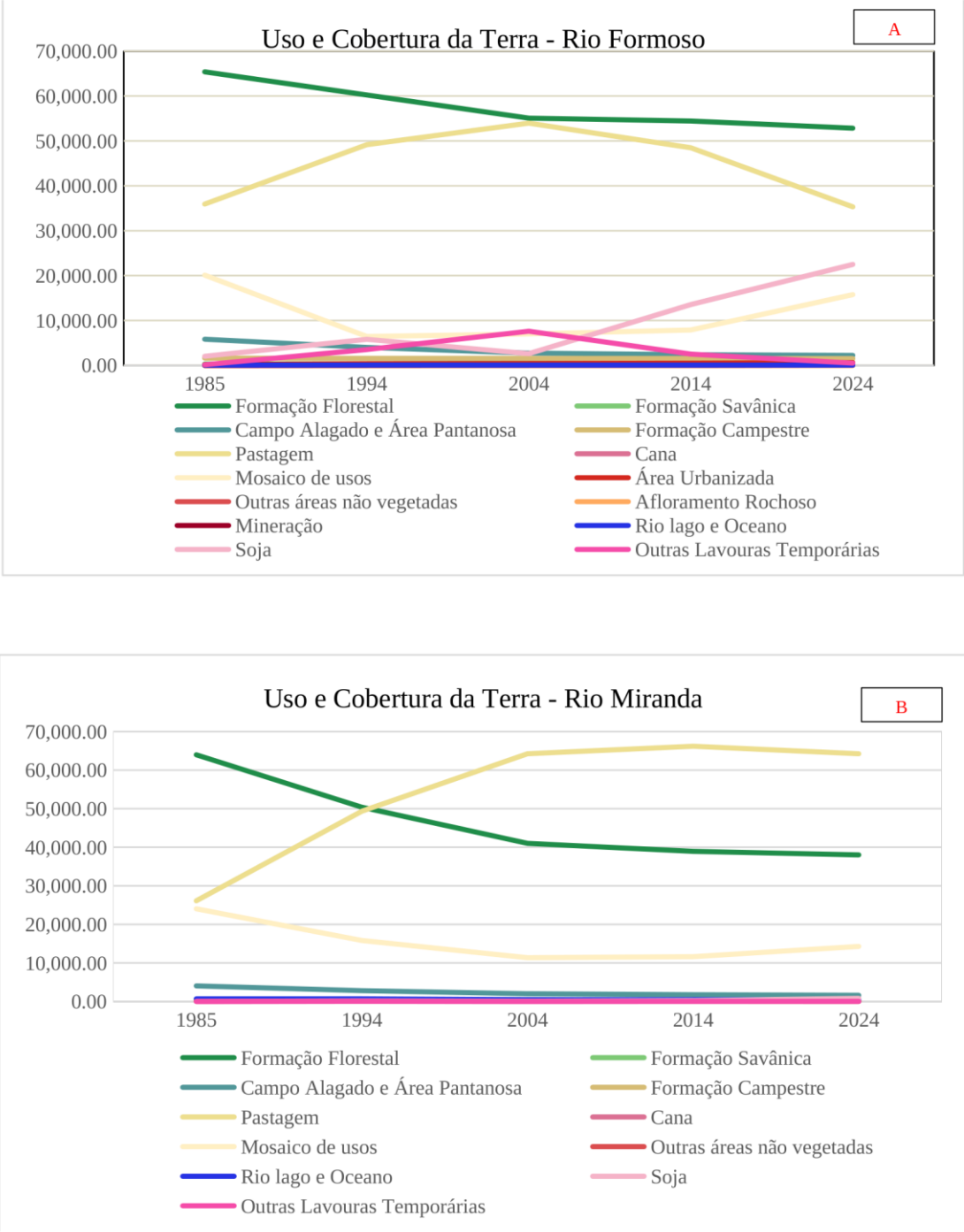
3. RESULTADOS

3.1 Dinâmica temporal e espacial do uso e cobertura da terra

A análise multitemporal dos 40 anos compreendidos entre 1985 e 2024 revelou profundas transformações estruturais nas paisagens de ambas as bacias hidrográficas, evidenciando padrões distintos de ocupação territorial e substituição de classes entre o Planalto da Bodoquena e as áreas limítrofes (Figura 3). Na Bacia Hidrográfica do Rio Formoso, constatou-se uma perda acumulada de 16.505,47 ha de formações naturais (florestais e savânicas) entre 1985 e 2024. A classe Formação Florestal sofreu uma redução líquida de 12.566,80 ha no período. O vetor preponderante de transformação antrópica recente foi a expansão vertiginosa da lavoura de soja (e agricultura tecnificada de grãos), que registrou um incremento de 20.482,47 ha, avançando substancialmente sobre áreas anteriormente ocupadas por pastagens consolidadas e suprimindo fragmentos florestais em áreas planas e de alta fertilidade.

Na Bacia Hidrográfica do Rio Miranda, a perda agregada de vegetação nativa foi ainda mais expressiva em termos absolutos, totalizando 29.025,23 ha suprimidos entre 1985 e 2024, dos quais 25.951,75 ha correspondem diretamente à supressão de Formações Florestais. Diferentemente do padrão observado no Formoso, o principal elemento motriz de transformação na Bacia do Miranda foi a ampliação da Pastagem, que acumulou um ganho líquido de 38.141,04 ha ao longo das quatro décadas avaliadas, consolidando uma matriz agropecuária contínua.

Figura 3: Variação anual da área ocupada pelas classes de uso e cobertura da terra nas bacias dos rios Formoso e Miranda, entre 1985 e 2024.

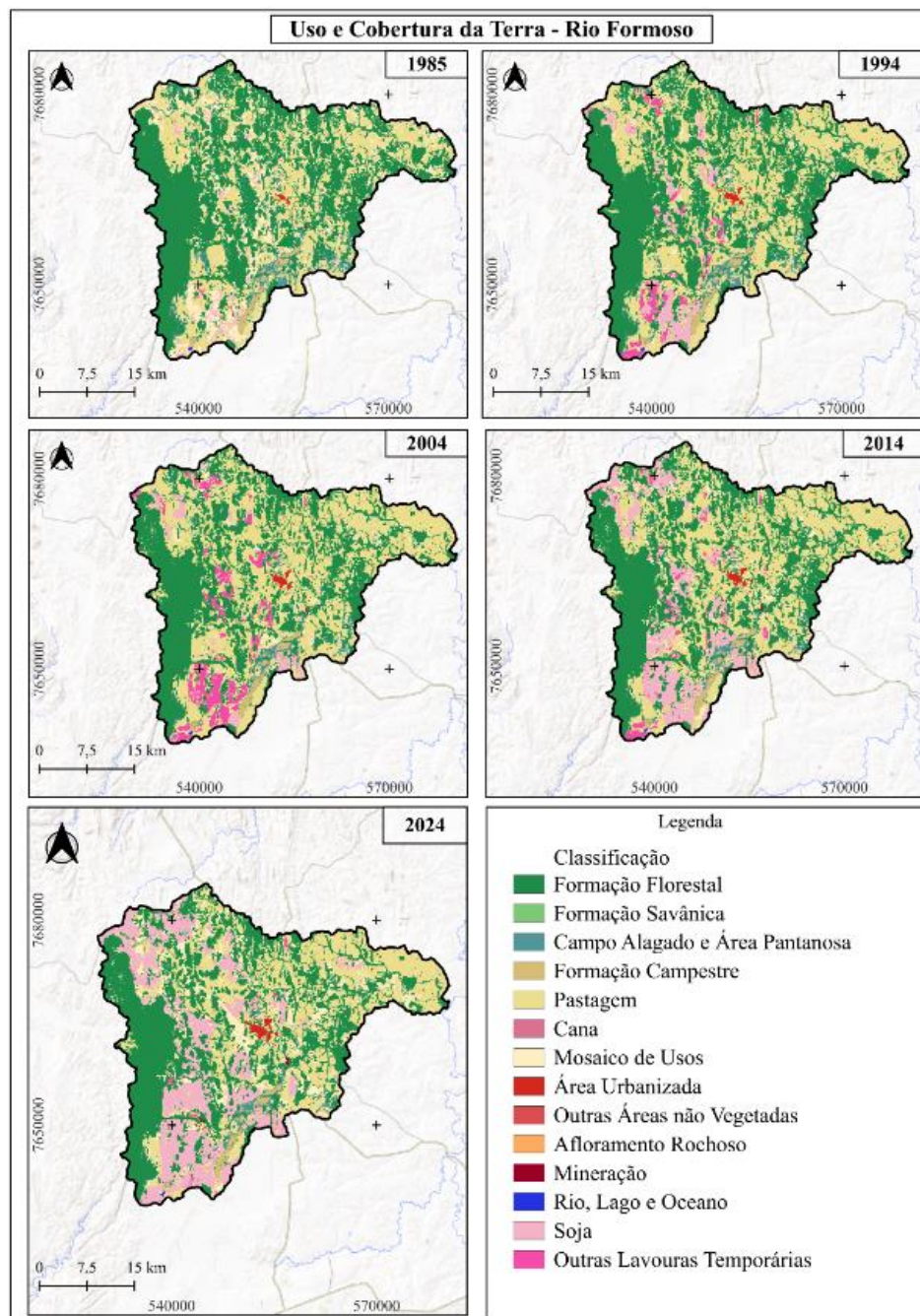


Fonte: MapBiomas - Toolkits, Coleção 10.1. Elaboração: Autores (2026).

Na bacia do rio Formoso (Figura 4), a formação florestal diminuiu de 65.404,82 ha para 52.838,02 ha, perda de 12.566,80 ha. Cerca de 82% dessa redução já havia ocorrido até 2004. A pastagem alcançou 54.333,49 ha em 2006 e recuou para 35.333,88 ha em 2024. A mudança mais expressiva no Formoso foi a expansão da soja, de 2.011,82 ha em 1985 para 22.494,29 ha em 2024. O crescimento tornou-se mais acentuado depois de 2004 e coincidiu com a redução da pastagem e das outras lavouras temporárias.

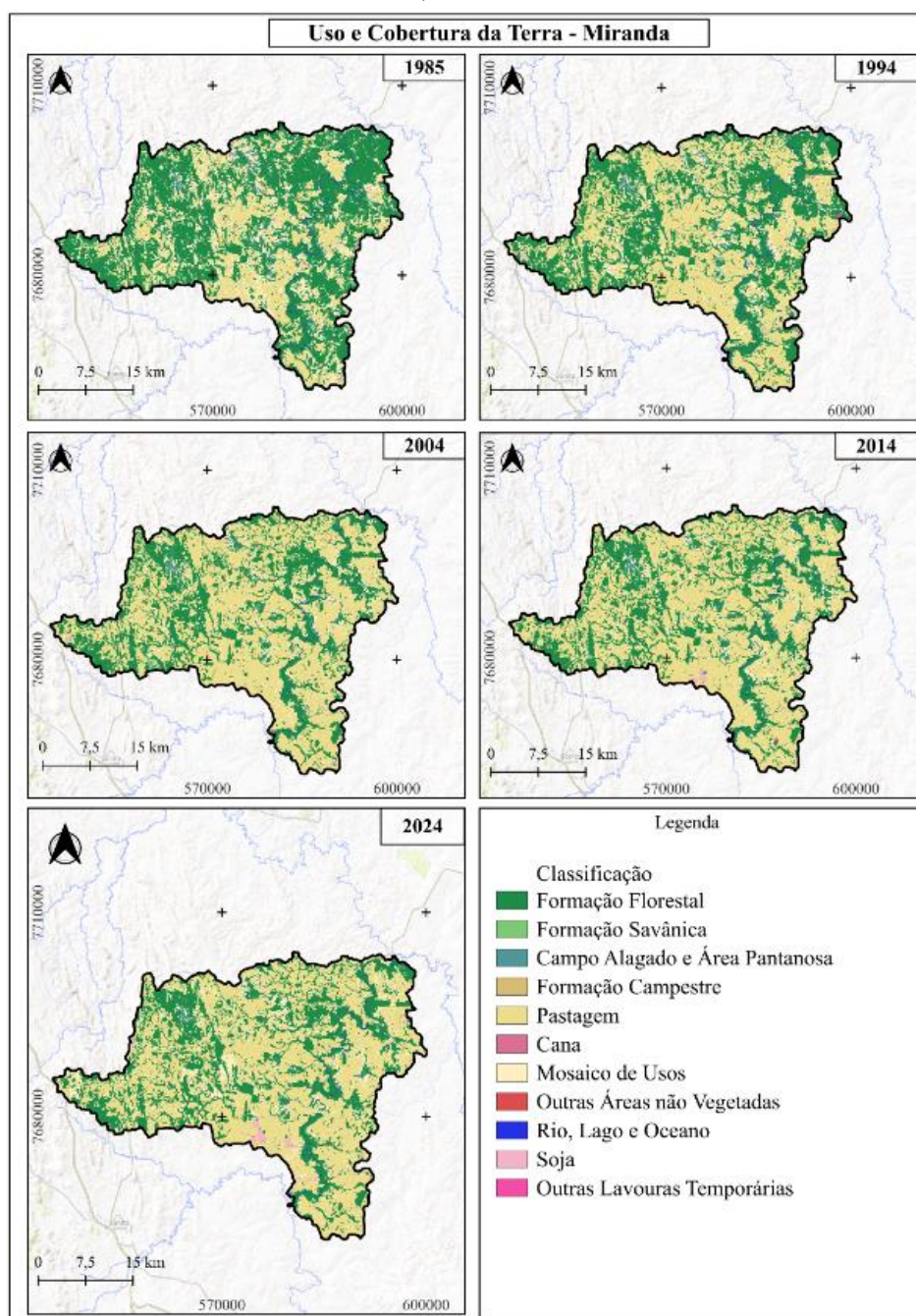
Na bacia do rio Miranda (Figura 5), a formação florestal diminuiu de 63.979,61 ha para 38.027,86 ha, perda de 25.951,75 ha. Entre 1985 e 2004 foram convertidos 22.981,45 ha, concentrando quase 89% da redução total. A pastagem aumentou de 26.105,44 ha para 64.246,48 ha e permaneceu dominante em 2024. A soja aumentou de 2,51 ha para 830,04 ha, mas permaneceu muito menos expressiva que no Formoso.

Figura 4: Distribuição espacial das classes de uso e cobertura da terra na bacia do rio Formoso em 1985, 1994, 2004, 2014 e 2024.



Fonte: MapBiomias - Toolkits, Coleção 10.1. Elaboração: Autores (2026).

Figura 5: Distribuição espacial das classes de uso e cobertura da terra na bacia do rio Miranda em 1985, 1994, 2004, 2014 e 2024.



Fonte: MapBiomias - Toolkits, Coleção 10.1. Elaboração: Autores (2026).

Na bacia do rio Formoso, a porção oeste manteve o maior bloco contínuo de formação florestal em todos os marcos cartográficos. As conversões se concentraram nas porções central, sul e sudoeste. Na do Miranda, a conversão para pastagem foi mais disseminada e ocorreu principalmente entre 1985 e 2004. Os remanescentes de 2024 aparecem mais estreitos e separados.

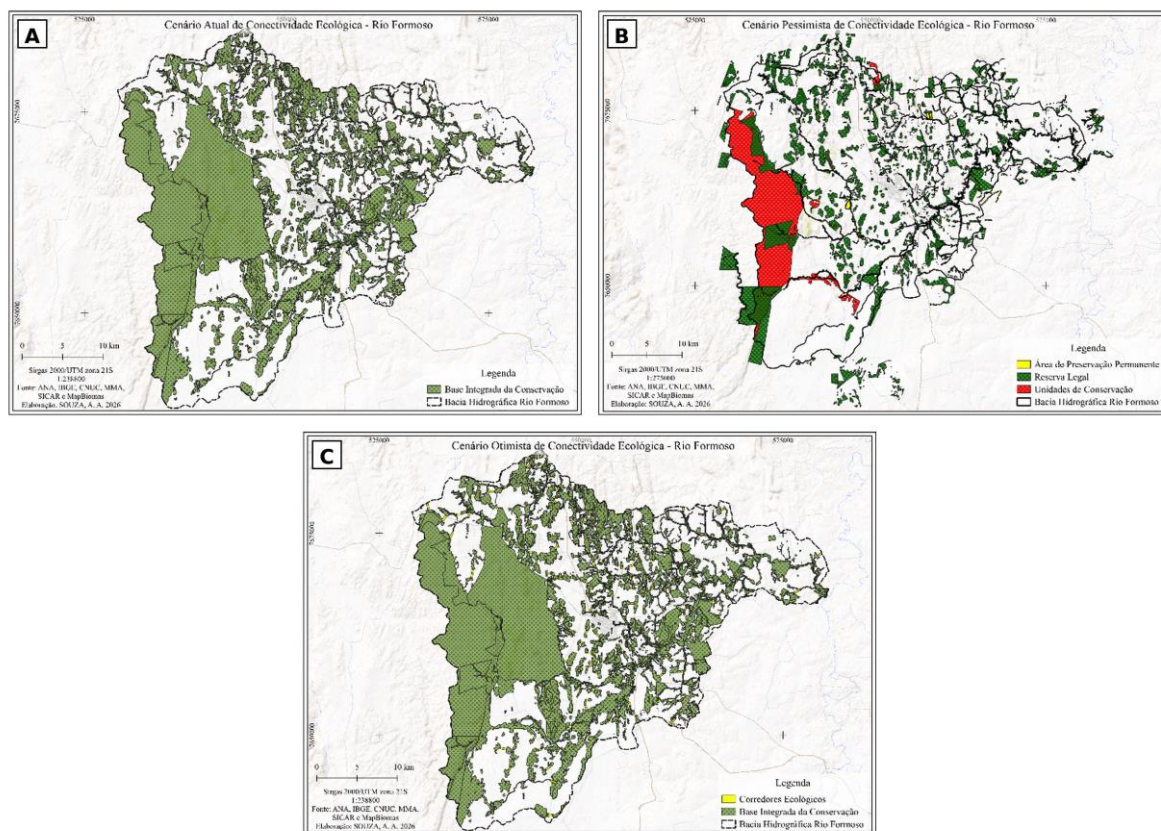
A extrapolação linear até 2064 indicou que, mantida a variação líquida observada, a formação florestal alcançaria 39.948,99 ha no Formoso e 11.410,68 ha no Miranda. A soja no Formoso alcançaria 43.501,95 ha, e a pastagem no Miranda, 103.365,50 ha. Essas estimativas não constituem previsões, mas dimensionam as consequências da continuidade das trajetórias observadas.

3.2 Base integrada e cenários de conectividade ecológica

A base integrada de 2024 revelou estruturas territoriais distintas. No Formoso, o cenário atual é organizado por um núcleo de grande extensão na porção oeste, associado ao Parque Nacional da Serra da Bodoquena. No Miranda, a estrutura é composta por elementos mais estreitos e dispersos, com menor participação de UC.

No cenário pessimista do Formoso (Figura 6), a manutenção exclusiva de APP, RL e UC preservou o núcleo ocidental, mas retirou parte expressiva das ramificações centrais e orientais. No Miranda, a redução foi mais intensa: a paisagem passou a ser representada sobretudo por faixas associadas à drenagem e RL dispersas.

Figura 6: Cenários de conectividade ecológica na bacia do rio Formoso: atual (A), pessimista (B) e otimista (C).



Elaboração: Autores (2026).

No cenário otimista do Formoso, os corredores se concentraram em lacunas curtas entre elementos próximos. O processamento selecionou 266 corredores, conectou 465 manchas e utilizou 2.499,37 ha do limite de 2.500 ha. A área inserida em conjuntos contíguos alcançou 69.928,58 ha, e o maior conjunto contínuo apresentou 12.569,94 ha.

Figura 7: Cenários de conectividade ecológica na bacia do rio Miranda: atual (A), pessimista (B) e otimista (C).



Elaboração: Autores (2026).

Na bacia do rio Miranda (Figura 7), os corredores do cenário otimista ocuparam lacunas de pequena extensão, principalmente nos setores central, norte e oeste. A ausência de um núcleo protegido comparável ao Formoso faz com que o ganho de continuidade dependa de maior número de elementos distribuídos pela bacia. A resposta dos cenários sustentou a hipótese proposta: a paisagem mais contínua do Formoso manteve um núcleo expressivo mesmo sob a composição pessimista, enquanto no Miranda a retirada de componentes produziu perda mais ampla de continuidade.

A espacialização dos cenários normativos evidenciou contrastes agudos na estrutura da paisagem remanescente. No Cenário Pessimista, a conversão de todos os remanescentes naturais situados fora de APP estritas, RL declaradas e UC de Proteção Integral resultaria em uma redução drástica adicional da cobertura florestal regional, isolando as Unidades de Conservação em verdadeiras "ilhas ecológicas" circundadas por monoculturas agrícolas e pastagens intensivas. Já no Cenário Otimista, a recomposição dos passivos de APP hídricas e Reservas Legais com base no SICAR adicionaria expressivas áreas de vegetação em regeneração, funcionando como malhas estruturais que ampliam a permeabilidade da matriz e estabilizam as margens fluviais.

No Exercício Tendencial Linear (2024–2064), mantidas as taxas médias anuais de conversão dos últimos 40 anos, a Bacia do Rio Formoso atingiria patamares críticos de redução florestal até 2064, com a agricultura tecnificada ocupando mais de 35% da bacia, enquanto na Bacia do Rio Miranda as pastagens dominariam mais de 55% da área total da paisagem.

3.3 Modelagem de Corredores Ecológicos Estruturais

O algoritmo do *LinkScape* processado no QGIS identificou com precisão as trajetórias ótimas para restabelecimento da conectividade física. Na Bacia Hidrográfica do Rio Formoso, a modelagem gerou 266 corredores estruturais prioritários, estabelecendo a interligação física entre 465 manchas (fragmentos centrais) de vegetação nativa.

A área total ocupada pelos corredores modelados alcançou 2.499,37 ha (respeitando estritamente o teto paramétrico de 2.500 ha estabelecido no método). A implementação dessa rede de corredores promove uma reconfiguração sistêmica da paisagem, integrando os fragmentos isolados e viabilizando a estruturação de 69.928,58 ha de vegetação nativa em conjuntos espacialmente contíguos. O maior conjunto estrutural contínuo resultante dessa articulação atinge expressivos 12.569,94 ha, interligando importantes zonas ciliares ao Parque Nacional da Serra da Bodoquena.

4. DISCUSSÃO

Os resultados evidenciam que as Bacias dos Rios Formoso e Miranda respondem a vetores socioeconômicos e forças motrizes territoriais heterogêneas, embora compartilhem o mesmo contexto macrorregional da Serra da Bodoquena. A trajetória da Bacia do Rio Formoso caracteriza-se pela intensificação agrícola de alto aporte tecnológico, onde a lavoura de soja expandiu 20.482,47 ha entre 1985 e 2024, ocupando áreas de relevo plano e solos de alta aptidão agrícola. Embora a literatura aponte que a expansão de grãos frequentemente substitua pastagens pré-existentes, ocorrendo concomitantemente com a supressão de novos remanescentes florestais (Riva, Koper e Fahrig, 2024), a análise do saldo temporal líquido demonstra uma perda florestal consolidada de 12.566,80 ha, exigindo investigações futuras com matrizes célula a célula para discriminar trajetórias de conversão direta versus indireta.

Por sua vez, a Bacia do Rio Miranda apresentou dominância contínua da pecuária de corte, refletida no incremento de 38.141,04 ha de pastagens cultivadas e na perda expressiva de 25.951,75 ha de formações florestais. Essa dinâmica atesta a conversão das matas estacionais e savanas da borda do planalto para sustentação da pecuária extensiva, ampliando a fragmentação da paisagem na zona de transição com a depressão pantaneira.

A confrontação dos dados obtidos com a produção científica regional evidencia convergências estruturais e nuances metodológicas essenciais. Os diagnósticos pioneiros de Oliveira *et al.* (2009) e Garzoni e Martins (2011) já alertavam para a pressão da atividade pecuária sobre as áreas cársticas de Bonito e a vulnerabilidade dos depósitos de tufas frente ao assoreamento. No entanto, o presente estudo demonstra que, nas últimas duas décadas, o perfil de ameaça no Rio Formoso foi substancialmente reconfigurado pela introdução da agricultura mecanizada de grãos, corroborando as observações de Fontes (2025) e Fontes, Ayach e Souza (2024) sobre o avanço da soja em áreas de recarga do carste.

Ao cotejar estes achados com os estudos de Ronquim *et al.* (2018), Fushimi, Lima e Capoane (2024) e Capoane (2024), que analisaram bacias adjacentes no Planalto da Bodoquena e bacia do Alto Paraguai, observam-se padrões análogos de redução da cobertura florestal em topos e encostas. Contudo, as magnitudes absolutas diferem em razão dos períodos amostrais, das resoluções espaciais utilizadas e dos limites fisiográficos adotados em cada recorte de pesquisa. Enquanto Umeda, Santos e Lastoria (2015) focaram a dinâmica de qualidade hídrica e turbidez pontual associada ao uso da terra, os dados aqui apresentados fornecem o substrato cartográfico de 40 anos que explica a origem espacial dos sedimentos mobilizados nas cabeceiras.

A perda sistemática de vegetação nativa na Bacia do Rio Miranda reverbera diretamente sobre a dinâmica hidrológica do bioma Pantanal, conforme demonstrado por Chiaravalloti *et al.* (2022). A remoção da vegetação arbórea nas bacias formadoras compromete os serviços de amortecimento de cheias, acelera o transporte de nutrientes e sedimentos para as planícies e desestrutura a conectividade biológica entre o planalto e a bacia de inundação pantaneira.

A modelagem dos cenários espaciais demonstra a centralidade do cumprimento do Código Florestal (Lei Federal nº 12.651/2012) e da Lei da Mata Atlântica (Lei Federal nº 11.428/2006) na retenção de passivos e na garantia da sustentabilidade territorial regional (Soares-Filho *et al.*, 2014; Climate Policy Initiative, 2025). O Cenário Pessimista ilustra a vulnerabilidade extrema de remanescentes naturais situados em propriedades privadas que não possuem status formal de proteção, revelando que a flexibilização de salvaguardas normativas acarretaria o colapso definitivo dos blocos florestais fora das UCs.

Em contrapartida, o Cenário Otimista ratifica que a recomposição obrigatória das Áreas de Preservação Permanente (APP) e a quitação dos déficits de Reserva Legal via SICAR são plenamente capazes de restabelecer índices sustentáveis de cobertura vegetal, agindo em sinergia com o Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC — Lei Federal nº 9.985/2000). Essa recomposição é vital para salvaguardar a excepcional heterogeneidade

vegetal documentada por Damasceno Junior *et al.* (2024) e proteger as cavernas e dolinas cartografadas por Sallun Filho e Karmann (2007) e Zavala *et al.* (2017).

A geração de 266 corredores estruturais prioritários cobrindo 2.499,37 ha na Bacia do Rio Formoso comprova a viabilidade técnica de restabelecer a conectividade física na paisagem com uma alocação espacialmente eficiente de recursos (Tambosi *et al.*, 2014; Salomão *et al.*, 2023). A articulação de 69.928,58 ha em redes contíguas de habitat promove a redução drástica do isolamento entre fragmentos, elemento indispensável para mitigar os efeitos deletérios da fragmentação reportados por Fahrig (2003) e Haddad *et al.* (2015). Enquanto na Bacia do Rio Miranda, foram identificados 138 corredores estruturais prioritários, refletindo a influência da predominância agropecuária na configuração da paisagem e na conectividade entre os remanescentes de vegetação nativa..

Ressalta-se, contudo, a clássica distinção estabelecida por Taylor *et al.* (1993) e Tischendorf e Fahrig (2000) entre conectividade estrutural e conectividade funcional. Conforme alertado por Beier e Noss (1998) e reafirmado por Montràs-Janer *et al.* (2024), a existência de uma conexão física contígua representa uma pré-condição necessária, mas não suficiente, para garantir a dispersão biológica efetiva de todas as espécies silvestres. Elementos da matriz antrópica, como cercas, estradas pavimentadas, tráfego de maquinário e defensivos químicos, podem impor barreiras comportamentais ou fisiológicas não detectadas em análises espaciais puramente estruturais (Manes *et al.*, 2025; Ward *et al.*, 2020).

Assim, a implementação dos corredores aqui mapeados deve ser encarada pelo poder público e órgãos ambientais como uma matriz prioritária de intervenção para zoneamento ambiental, pagamento por serviços ambientais e projetos de restauração florestal estratégica (Spanholi e Young, 2023).

As conclusões deste trabalho devem ser interpretadas à luz de suas limitações metodológicas intrínsecas: (a) a ausência de uma matriz de transição célula a célula impede a determinação estocástica exata das rotas de conversão direta entre cada classe em nível de pixel; (b) a base vetorial do SICAR é autodeclaratória, estando sujeita a sobreposições fundiárias e inconsistências cadastrais pendentes de validação definitiva pelos órgãos ambientais estaduais; (c) a parametrização do LinkScape assumiu uma matriz isotrópica simplificada, sem computar custos de dispersão diferenciados por espécies focais da fauna pantaneira ou do Cerrado; e (d) a projeção linear para 2064 constitui uma extrapolação exploratória, não preditiva, desprovida de variáveis macroeconômicas dinâmicas. Recomenda-se que pesquisas futuras integrem modelagens de resistência funcional da paisagem baseadas em telemetria animal e simulações celulares multiagentes.

5. CONCLUSÕES

O presente estudo forneceu uma avaliação abrangente e quantitativa da dinâmica espaço-temporal de uso e cobertura da terra nas Bacias Hidrográficas dos Rios Formoso e Miranda ao longo de 40 anos (1985–2024), estabelecendo cenários prospectivos e mapeando corredores ecológicos estruturais estratégicos para a Serra da Bodoquena.

A análise revelou padrões territoriais divergentes: enquanto a Bacia do Rio Formoso vivencia uma intensificação agrícola sem precedentes, marcada pelo avanço da soja (+20.482,47 ha) e perda florestal acumulada de 12.566,80 ha, a Bacia do Rio Miranda consolida uma matriz pecuária dominante (+38.141,04 ha de pastagens) com supressão de 25.951,75 ha de florestas. Os cenários espaciais enfatizam que a leniência na fiscalização ambiental (Cenário Pessimista) acelerará o isolamento dos remanescentes de vegetação nativa, ao passo que a aplicação rigorosa do Código Florestal e da Lei da Mata Atlântica (Cenário Otimista) é capaz de inverter a trajetória de fragmentação.

A modelagem com o LinkScape demonstrou que a alocação de 2.499,37 ha em 266 corredores estruturais prioritários viabiliza a conformação de quase 70.000 ha de blocos florestais integrados na Bacia do Rio Formoso. Esse zoneamento cartográfico configura um instrumento técnico indispensável para guiar investimentos em restauração ecológica, criação de RPPNs e ordenamento territorial nas províncias cársticas de Mato Grosso do Sul.

6. REFERÊNCIAS

- ANA — Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. **Base Hidrográfica Ottocodificada da Bacia do Rio Paraguai**. Brasília: ANA, 2020. Disponível em: <https://metadados.snirh.gov.br>. Acesso em: 10 jan. 2026.
- BEIER, P.; NOSS, R. F. *Do habitat corridors provide connectivity?* *Conservation Biology*, v. 12, n. 6, p. 1241-1252, 1998. DOI: <https://doi.org/10.1046/j.1523-1739.1998.98036.x>.
- BISHOP, C. A. *Remote sensing for landscape ecology: advancements in monitoring fragmented forests*. *Landscape Ecology*, v. 40, n. 2, p. 112-128, 2025.
- BRASIL. **Lei Federal nº 11.428, de 22 de dezembro de 2006. Dispõe sobre a utilização e proteção da vegetação nativa do Bioma Mata Atlântica, e dá outras providências**. Diário Oficial da União: Brasília, DF, 26 dez. 2006.
- BRASIL. **Lei Federal nº 12.651, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nºs 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nºs 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória nº 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências**. Diário Oficial da União: Brasília, DF, 28 maio 2012.
- BRASIL. **Lei Federal nº 9.985, de 18 de julho de 2000. Regulamenta o art. 225, § 1º, incisos I, II, III e VII da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências**. Diário Oficial da União: Brasília, DF, 19 jul. 2000.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Painel do Cadastro Nacional de Unidades de Conservação (CNUC)**. Brasília: MMA, 2018. Disponível em: <https://www.gov.br/mma>. Acesso em: 15 jan. 2026.

- CÂMARA, G.; SOUZA, R. C. M.; FREITAS, U. M.; GARRIDO, J. SPRING: ***Integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modelling***. *Computers & Graphics*, v. 20, n. 3, p. 395-403, 1996. DOI: [https://doi.org/10.1016/0097-8493\(96\)00008-8](https://doi.org/10.1016/0097-8493(96)00008-8).
- CAPOANE, V. **Dinâmica espaço-temporal da cobertura da terra na borda ocidental do Planalto da Bodoquena**. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, v. 25, n. 1, p. 45-63, 2024.
- CHIARAVALLLOTI, R. M. *et al.* **Hydrological disruption and habitat fragmentation in the Miranda River Basin**. *Journal of Environmental Management*, v. 310, p. 114780, 2022.
- CLIMATE POLICY INITIATIVE. **O papel do Código Florestal na preservação de mananciais cársticos no Centro-Oeste**. Rio de Janeiro: CPI/PUC-Rio, 2025.
- DAMASCENO JUNIOR, G. A. *et al.* **Flora e vegetação da Serra da Bodoquena: padrões florísticos e conservação**. *Rodriguésia*, v. 75, e00452023, 2024.
- FAHRIG, L. **Effects of habitat fragmentation on biodiversity**. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, v. 34, p. 487-515, 2003. DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.34.011802.132419>.
- FOLEY, J. A. *et al.* **Global consequences of land use**. *Science*, v. 309, n. 5734, p. 570-574, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1126/science.1111772>.
- FONTES, F. S. **Vulnerabilidade ambiental e expansão do agronegócio na Bacia Hidrográfica do Rio Formoso, Bonito/MS**. 2025. Tese (Doutorado em Geografia) — Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, 2025.
- FONTES, F. S.; AYACH, L. R.; SOUZA, C. C. **Dinâmica da paisagem e qualidade das águas cársticas no município de Bonito-MS**. *Geosul*, v. 39, n. 81, p. 112-135, 2024.
- FUSHIMI, M.; LIMA, R. C.; CAPOANE, V. **Transformações da cobertura da terra e impactos hidrogeomorfológicos na Serra da Bodoquena**. *Sociedade & Natureza*, v. 36, e68940, 2024.
- GARZONI, L. R.; MARTINS, P. C. **Turismo sustentável e conservação ambiental na Serra da Bodoquena: conflitos e potencialidades**. *Revista de Geografia (Recife)*, v. 28, n. 2, p. 88-104, 2011.
- GORELICK, N. *et al.* **Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone**. *Remote Sensing of Environment*, v. 202, p. 18-27, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.06.031>.
- HADDAD, N. M. *et al.* **Habitat fragmentation and its lasting impact on Earth's ecosystems**. *Science Advances*, v. 1, n. 2, e1500052, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1126/sciadv.1500052>.
- HERRERA, L. P. *et al.* **Linking spatial pattern and process in landscape ecology: graph-theoretic approaches for corridor design**. *Landscape and Urban Planning*, v. 165, p. 142-153, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2017.04.008>.
- IBGE — Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Malhas Municipais e Hidrografia Digital do Brasil**. Rio de Janeiro: IBGE, 2022. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br>. Acesso em: 12 jan. 2026.
- IMASUL — Instituto de Meio Ambiente de Mato Grosso do Sul. **Relatório de Gestão das Unidades de Conservação Estaduais**. Campo Grande: Imasul, 2024.
- JUREČKA, M. *et al.* **Land cover change trajectories and habitat fragmentation in agricultural frontiers**. *Applied Geography*, v. 162, p. 103150, 2024.
- LUO, Y. *et al.* **Graph-based ecological network construction and optimization in rapidly urbanizing and agricultural regions**. *Ecological Indicators*, v. 158, p. 111420, 2024.
- MANES, S. *et al.* **Spatial prioritization for ecological corridors in fragmented tropical landscapes**. *Biological Conservation*, v. 290, p. 110450, 2025.
- MAPBIOMAS. **Coleção 10.1 da Série Anual de Mapas de Uso e Cobertura da Terra do Brasil. 2026**. Disponível em: <https://plataforma.brasil.mapbiomas.org>. Acesso em: 10 fev. 2026.

- MARTENSEN, A. C. *et al.* **Associations of forest cover and landscape composition on bird communities in fragmented Atlantic Forest landscapes.** *Biotropica*, v. 44, n. 4, p. 554-564, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1744-7429.2011.00844.x>.
- MONTRÀS-JANER, T. *et al.* **Functional landscape connectivity in dynamic tropical environments: a critical review.** *Current Landscape Ecology Reports*, v. 9, n. 1, p. 12-25, 2024.
- OLIVEIRA, M. D. *et al.* **Uso da terra e degradação ambiental nos recursos hídricos da Serra da Bodoquena, MS.** *Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento / Embrapa Pantanal*, Corumbá, v. 89, p. 1-35, 2009.
- ORTIZ-RODRÍGUEZ, A. *et al.* **LinkScape plugin: Graph-based connectivity modeling for landscape management in QGIS.** *Environmental Modelling & Software*, v. 168, p. 105800, 2023.
- QGIS DEVELOPMENT TEAM. **QGIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project.** Versão 3.40.3 Bratislava. 2025. Disponível em: <https://www.qgis.org>. Acesso em: 15 jan. 2026.
- RIBEIRO, M. C. *et al.* **The Brazilian Atlantic Forest: How much is left, and how is the remaining forest distributed? Implications for conservation.** *Biological Conservation*, v. 142, n. 6, p. 1141-1153, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2009.02.021>.
- RIVA, F.; KOPER, N.; FAHRIG, L. **Habitat loss and agricultural intensification: separate and combined effects on biodiversity in agricultural landscapes.** *Global Change Biology*, v. 30, n. 1, e17120, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1111/gcb.17120>.
- RONQUIM, P. R. *et al.* **Dinâmica da agropecuária e transformações na cobertura da terra no Planalto da Bodoquena.** *Revista Geográfica Acadêmica*, v. 12, n. 2, p. 55-70, 2018.
- SALLUN FILHO, W.; KARMANN, I. **Geocronologia e evolução cárstica da Serra da Bodoquena, MS.** *Revista Brasileira de Geociências*, v. 37, n. 4, p. 712-724, 2007.
- SALOMÃO, C. S. *et al.* **Assessing structural connectivity in karst landscapes under agricultural expansion.** *Land*, v. 12, n. 5, p. 1012, 2023.
- SIQUEIRA, M. N. *et al.* **Graph theory applications in environmental planning and corridor design: A review.** *Journal for Nature Conservation*, v. 64, p. 126080, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jnc.2021.126080>.
- SOARES-FILHO, B. *et al.* **Cracking Brazil's Forest Code.** *Science*, v. 344, n. 6182, p. 363-364, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1126/science.1246663>.
- SOUZA JUNIOR, C. M. *et al.* **Reconstructing three decades of land use and land cover changes in Brazilian biomes with Landsat archive and Earth Engine.** *Remote Sensing*, v. 12, n. 17, p. 2735, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs12172735>.
- SPANHOLI, K. C.; YOUNG, C. E. F. **Valoração dos serviços ecossistêmicos cársticos e custos da turbidez nas águas de Bonito/MS.** *Desenvolvimento e Meio Ambiente*, v. 61, p. 210-232, 2023. DOI: <https://doi.org/10.5380/dma.v61i0.85412>.
- TAMBOSI, L. R. *et al.* **Funções ecológicas e conservação de Áreas de Preservação Permanente e Reserva Legal.** *Natureza & Conservação*, v. 12, n. 1, p. 1-10, 2014.
- TAYLOR, P. D. *et al.* **Connectivity is a vital element of landscape structure.** *Oikos*, v. 68, n. 3, p. 571-573, 1993. DOI: <https://doi.org/10.2307/3544927>.
- TISCHENDORF, L.; FAHRIG, L. **On the usage and measurement of landscape connectivity.** *Oikos*, v. 90, n. 1, p. 7-19, 2000. DOI: <https://doi.org/10.1034/j.1600-0706.2000.900102.x>.
- UMEDA, M. H.; SANTOS, M. L.; LASTORIA, G. **Avaliação da vulnerabilidade cárstica e riscos à qualidade das águas no município de Bonito/MS.** *Geociências (São Paulo)*, v. 34, n. 4, p. 785-798, 2015.

WARD, M. *et al.* ***Just ten percent of the global terrestrial protected area network is structurally connected via intact land.*** *Nature Communications*, v. 11, n. 1, p. 4563, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41467-020-18457-x>.

ZAVALA, V. Z. *et al.* ***Vulnerabilidade intrínseca de aquíferos cársticos na bacia do Rio Formoso, Bonito, MS.*** *Revista do Instituto Geológico*, v. 38, n. 1, p. 33-48, 2017.

NORMA EDITORIAL ADOTADA

O manuscrito desta dissertação foi estruturado em formato de artigo científico, tomando como referência as diretrizes editoriais da Revista de Geografia (Recife), vinculada à Universidade Federal de Pernambuco.

Diretrizes e informações da revista: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/revistageografia>