



Universidade de Brasília
Instituto de Geociências
Programa de Pós-Graduação em Geociências Aplicadas e Geodinâmica

Sensibilidade Ambiental de Empreendimentos Rodoviários: uma
avaliação com a abordagem de Serviços Ecossistêmicos

Tese de Doutorado

Nº 82

Alexandre Guimarães Bilich Neumann

Orientador: Prof. Dr. Henrique Llacer Roig

Brasília – DF, 30 de novembro de 2023



Universidade de Brasília
Instituto de Geociências
Programa de Pós-Graduação em Geociências Aplicadas e Geodinâmica

Sensibilidade Ambiental de Empreendimentos Rodoviários: uma avaliação com a abordagem de Serviços Ecossistêmicos

Alexandre Guimarães Bilich Neumann

Orientador: Prof. Dr. Henrique Llacer Roig

Tese apresentada junto ao curso de Pós-graduação em Geociências Aplicadas (Área de concentração Geoprocessamento e Análise Ambiental) do Instituto de Geociências da Universidade de Brasília para obtenção do título de doutor em Geociências.

Brasília – DF, 30 de novembro de 2023

Ficha Catalográfica

Ns Neumann, Alexandre Guimarães Bilich
 Sensibilidade Ambiental de Empreendimentos Rodoviários:
 uma avaliação com a abordagem de Serviços Ecossistêmicos /
 Alexandre Guimarães Bilich Neumann; orientador Henrique
 Llacer Roig. -- Brasília, 2023.
 285 p.

 Tese (Doutorado em Geociências Aplicadas) -- Universidade
 de Brasília, 2023.

 1. Serviços Ecossistêmicos. 2. Avaliação Ambiental. 3.
 Sensibilidade Ambiental. 4. Rodovias. 5. Planejamento
 Ambiental. I. Roig, Henrique Llacer, orient. II. Título.

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
Instituto de Geociências

Sensibilidade Ambiental de Empreendimentos Rodoviários: uma avaliação com a abordagem de Serviços Ecossistêmicos

Alexandre Guimarães Bilich Neumann

Tese Submetida ao Instituto de Geociências da Universidade de Brasília, como parte dos Pré-Requisitos necessários para obtenção do Título De Doutor em Geociências Aplicadas

Aprovada pela Comissão Examinadora:

Henrique Llacer Roig, Doutor, Professor Universitário
(Instituto de Geociências – Universidade de Brasília)
(Presidente e Orientador)

Amarilis Lucia Casteli Figueiredo Gallardo, Doutora, Professora Universitária
(Escola Politécnica – Universidade de São Paulo – USP)
(Examinador externo)

Lucília Maria Parron, Doutora, Pesquisadora
(Embrapa Florestas)
(Examinadora Externa)

Diego Pereira Lindoso, Doutor, Professor Universitário
(Centro de Desenvolvimento Sustentável – Universidade de Brasília – UnB)
(Examinador Interno)

Brasília/DF, 30 de novembro de 2023.

“o importante é não parar de questionar”

Albert Einstein

Agradecimentos

Agradeço primeiramente à Deus, o grande criador, por ter nos dado o dom da vida e ao Grande Mestre pela orientação na minha caminhada.

Em seguida ao meu Orientador, Henrique Llacer Roig, pela orientação, amizade e compreensão em toda a trajetória, um dos meus grandes incentivadores.

Não menos importante, à minha querida esposa Marina, por todo auxílio e companheirismo, nesses 18 anos de compromisso, e aos meus filhos Sara e André por me forçarem a ser melhor a cada dia.

Também, aos meus queridos familiares, e são muitos, tive a benção de pertencer a uma família grande, que me deram suporte e fizeram parte da minha vida, desde sempre.

Além disso, é importante expressar minha gratidão aos membros da Comissão Examinadora que gentilmente aceitaram o convite para colaborar com esta pesquisa, oferecendo contribuições de grande relevância.

Também, aos professores do Programa de Pós-graduação em Geociências Aplicadas e Geodinâmica (PPGGAG) pela transferência do conhecimento e pelo auxílio na trajetória, não ousou a falar nomes para evitar ser injusto.

Expresso também meu agradecimento aos colegas e colaboradores do PPGGAG pelos momentos divertidos e por toda troca de experiência.

Quero também ser grato aos meus amigos da vida e de fé, tenho certeza de que vocês sabem quem vocês são.

Agradeço imensamente aos colegas do DNIT, em especial, aos meus amigos, Luiz Guilherme, João Felipe, Maeda, Douglas, Julio, Desidério, Bruno, Thiagos (rsrsrs) e toda a turma da CRIAM – Jeú, Luiz Gustavo, André, Rafael Pantarolo, Rafael Noronha, Bruna, Cintia, Eduardo, Raquel, Marilene, Sheyla, Jociane, Ravella, Flávia, Rodrigo e Leonardo e também os amigos da CGMAB, CGDESP, CGPLAN, CGCIT, IPR, CGDR, DPP e Demais Diretorias.

Ademais destacamos, que o presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

E, também, contou com apoio da Fundação de Apoio à Pesquisa do Distrito Federal (FAP-DF) para participação no ESP 10th World Conference in Hannover, Germany, 21-25 Outubro de 2019.

Resumo

Sensibilidade Ambiental de Empreendimentos Rodoviários: uma avaliação com a abordagem de Serviços Ecossistêmicos

A abordagem de Serviços Ecossistêmicos (SE) vem sendo percebida no âmbito da avaliação de impacto ambiental de empreendimentos de forma gradual ao longo dos anos, destaca-se que a visão de SE prevê o meio ambiente como prestador de serviços para a humanidade, em uma de suas vertentes, com categorização em serviços do tipo Regulação, Provisão, Suporte e Cultural (MEA, 2005). No contexto apresentado, o objetivo geral do presente projeto é utilizar a abordagem de SE para avaliar ambientalmente empreendimentos rodoviários, no Brasil. Para tanto a pesquisa foi dividida em 03 (três) etapas, descritas como Identificação dos SE, Caracterização do Modelo Multicritério e Avaliação de Sensibilidade Ambiental. Para hierarquização das áreas mais sensíveis foi utilizada bases de dados geoespaciais disponibilizadas na internet gratuitamente, com auxílio do método de apoio à Decisão da Escola Francesa de Decisão, *Promethée* e ferramentas de Geoprocessamento. Os elementos analisados que se relacionam ao abastecimento de alimentos, ao fluxo da água e à preservação cultural e histórica das comunidades desempenharam importância mais significativa na decisão, sugerindo que garantir as necessidades humanas básicas e preservar sua história dentro do contexto social são altamente considerados mais importantes na decisão. Podemos concluir com os resultados obtidos que os Mapas de Sensibilidade, se demonstraram favoráveis para uma avaliação das áreas ambientalmente, oferecendo alguns benefícios, como: (1) a capacidade de planejar ações ambientais de forma personalizada, levando em consideração a sensibilidade ambiental de cada parte do projeto, auxiliando no processo de tomada de decisão; (2) a assistência na definição de traçados rodoviários, garantindo que a parte ambiental seja um dos fatores no planejamento das estradas; e (3) o fornecimento de informações para auxiliar as autoridades de licenciamento ambiental, promovendo uma comunicação mais estreita entre os agentes envolvidos. Assim sendo, a visão SE se demonstrou interessante para a avaliação de sensibilidade ambiental de áreas para implantação de empreendimentos rodoviários, podendo contribuir com o planejamento ambiental de ações, a definição de traçados rodoviários e com o licenciamento ambiental.

Palavras-chave: Serviços Ecossistêmicos, Avaliação Ambiental, Sensibilidade Ambiental, Rodovias, *Promethée* e Planejamento Ambiental.

Abstract

Environmental Sensitivity of Highway System: An Assessment Using the Ecosystem Services Approach

The approach of Ecosystem Services (ES) has been gradually incorporated into the scope of environmental impact assessment for projects over the years. It is noteworthy that the ES perspective envisions the environment as a provider of services to humanity, categorized into Regulation, Provision, Support, and Cultural services (MEA, 2005). Within this context, the overarching goal of the present project is to employ the ES approach to environmentally assess road projects. To accomplish this, the research has been broadly divided into three main stages: Identification of ES, Characterization of the Multicriteria Model, and Environmental Sensitivity Assessment. For the hierarchical classification of the most sensitive areas, freely available geospatial databases were utilized, aided by the decision support method of the French School of Decision, Prométhée and geoprocessing tools. The analyzed elements related to food supply, water flow, and the cultural and historical preservation of communities played a more significant role in the decision-making process. This suggests that ensuring basic human needs and preserving their history within the social context are highly regarded in the decision-making process. Based on the results obtained, it can be concluded that Sensitivity Maps have proven to be beneficial for a more efficient assessment of environmentally sensitive areas. They offer several advantages, including: (1) the ability to tailor environmental actions to the specific environmental sensitivity of each project area, aiding in decision-making; (2) aiding in the planning of road layouts with consideration for environmental factors; and (3) providing information to support environmental licensing authorities, fostering better communication among stakeholders. Therefore, the ES perspective proves to be valuable in assessing the environmental sensitivity of areas for the implementation of road projects. It can contribute to environmental planning, route definition, and environmental permitting.

Keywords: Ecosystem Services, Environmental Assessment, Environmental Sensitivity, Highways, *Prométhée*, and Environmental Planning.

Apresentação e Considerações Iniciais

A presente Tese de Doutorado tem por propósito avaliar a utilização da abordagem de Serviços Ecossistêmicos (SE) na análise de sensibilidade ambiental de empreendimentos Rodoviários, com uso de hierarquização de áreas, buscando prover subsídios científicos para a superação de uma dificuldade operacional e frequente enfrentada pelo Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT) na condução das diversas iniciativas ambientais dentro daquela Autarquia Federal, entre elas, a otimização das aplicações dos recursos destinado à área ambiental – não necessariamente implicando na redução de recursos destinados ao setor ambiental – e a elaboração de camada de informação ambiental para subsidiar estudos de traçados rodoviários e o licenciamento ambiental.

Destaca-se que a hierarquização de áreas se baseia em definições de priorização de áreas geográficas no processo de intervenção estruturante, utilizando para tanto a abordagem de SE, ferramentas de Sistema de Informação Geográfica (SIG) e Modelagem de Apoio à Decisão.

Nesse cenário, propõem-se estabelecer uma metodologia para elaboração desta análise de sensibilidade ambiental à luz dos SE frente a execução de empreendimentos rodoviários, com 04 linhas mestras de atuação:

1. Planejar ações ambientais de acordo com a sensibilidade ambiental de cada fração do empreendimento, trazendo essa informação para o processo decisório, possibilitando focar no tratamento e análise das áreas mais sensíveis em detrimento de áreas menos importante no contexto dos SE e da preservação ambiental;
2. Auxiliar na definição de traçados rodoviários, de tal modo que a área ambiental seja um dado de entrada para o desenho dos traçados;
3. Prover informações para subsidiar os órgãos licenciadores na condução do licenciamento ambiental, promovendo uma maior interlocução entre estes órgãos no processo de tomada de decisão; e
4. Incorporar a visão de SE já empregadas em outros países e segmentos econômicos, trazendo uma visão mais integradora para o processo de análise ambiental do DNIT.

Assim, esta pesquisa é fruto da necessidade da aplicação prática de um arcabouço científico na análise de sensibilidade ambiental de empreendimento rodoviários, uma vez que o estado da arte dos temas abordados nesta pesquisa científica identificou um número reduzido de estudos e publicações. Apontando uma janela de oportunidade do ponto de vista científico, apresentando contribuição significativa e inédita para seu este estudo com uma clara aplicação prática para o processo de gestão ambiental do DNIT.

O desafio de propor essa nova abordagem teve como premissa complementar uma iniciativa do Estado brasileiro, inicialmente conduzida pela Empresa de Planejamento e Logística S/A, de construir um Sistema de Informações Ambientais para Infraestrutura (SIAI – Infra S.A, 2020), que tinha por objetivo acelerar o processo de licenciamento, por meio de organização de diversas bases governamentais, conforme apresentado de forma esquemática na Figura Ap.1.

Essa iniciativa atualmente faz parte do Observatório Nacional de Transportes e Logística (ONTL), integrante dos serviços Geoportal da INFRA S.A que tem como um de seus objetivos apresentar dados e informações geográficas com foco na área de infraestrutura de transportes.

O Observatório, segundo Infra S.A (2023), tem como pauta desenvolver e aprimorar ferramentas tecnológicas para o planejamento de transporte e logística, tendo como premissa principal oferecer um sistema de informações de transportes e logística a serviço do próprio Governo Federal, das demais esferas de Governo, de instituições não governamentais e da própria sociedade.

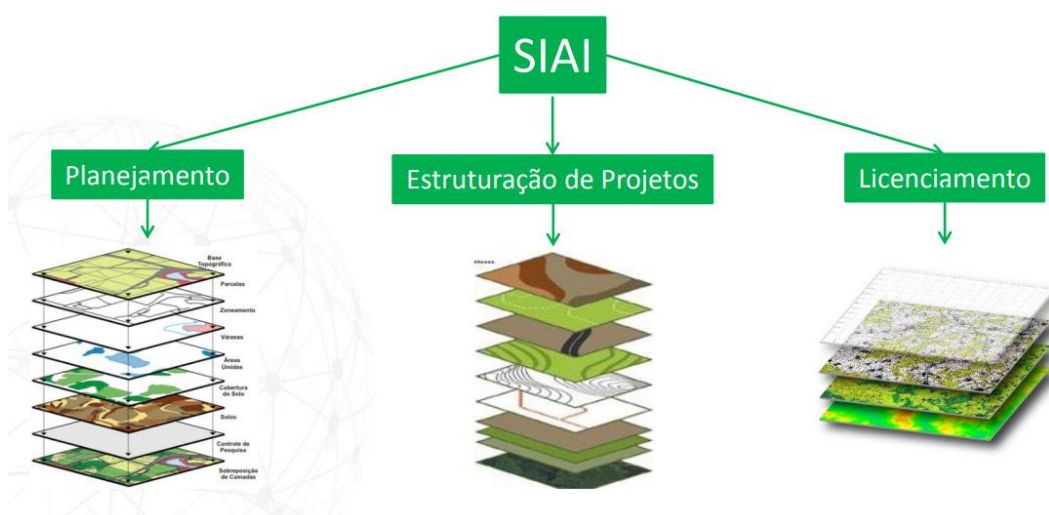


Figura Ap.1 - Sistema de Informações Ambientais para Infraestrutura
Fonte: Infra SA (2020)

Além disso, é uma das iniciativas do SIAI a elaboração de Mapas de Sensibilidade Ambiental com vistas a subsidiar Estratégias de Licenciamento, Estudos Complementares e Ações de Mitigação e Compensação, nos termos da Figura Ap.2.

Contudo o SIAI até o presente momento não alcançou o seu objetivo inicial e não apresentou resultados que possam ser observados, não tendo, portanto, como comparar os resultados obtidos nessa Tese com a iniciativa estatal.

Assim, utilizou-se como referência essa oportunidade e se estabeleceu como elemento de partida construir um Mapa de Sensibilidade Ambiental para subsidiar decisões em empreendimentos de infraestrutura, utilizando como linguagem os SE, e tendo como requisito utilizar bases de dados de fácil acesso, com disponibilidade gratuita e que gerasse praticidade nas análises.

SISTEMA DE INFORMAÇÕES AMBIENTAIS PARA INFRAESTRUTURA - SIAI

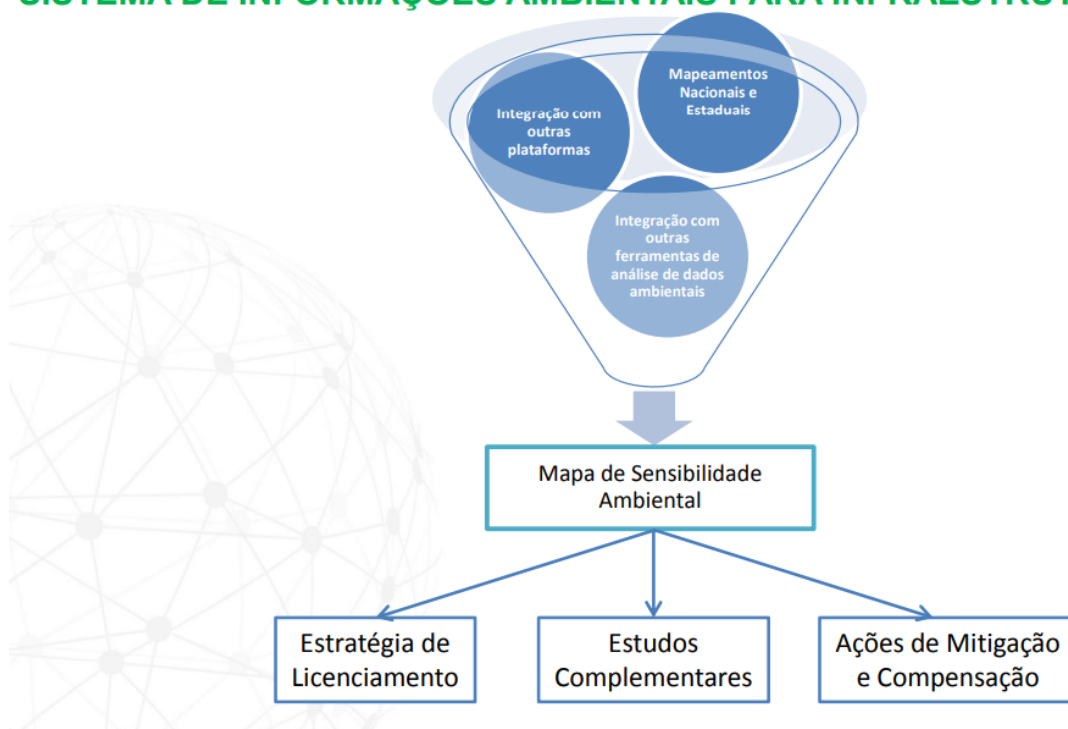


Figura Ap.2 - Objetivos do SIAI
Fonte: Infra SA (2020)

Ademais, com vistas a auxiliar essa iniciativa, propõe-se uma metodologia para elaborar informações de sensibilidade ambiental à luz dos SE frente a implantação de empreendimentos rodoviários.

A presente pesquisa contribui com essa iniciativa com o desenvolvimento de três eixos de

atuação, sendo todas essas inéditas frente a literatura científica consultada.

1. Do ponto de vista conceitual, com a inclusão da variável ambiental, sob a ótica dos SE, para planejamento ambiental de empreendimentos rodoviários, definição de traçado e no licenciamento ambiental;
2. Do ponto de vista de Geociências, utilizando o método de apoio à decisão *Promethée* como modelo para hierarquizar as áreas de sensibilidade ambiental;
3. Do ponto de vista da aplicação prática, temos as seguintes contribuições, a partir dos resultados obtidos:
 - a) Planejar ações ambientais de acordo com a sensibilidade ambiental de cada área, possibilitando priorizar o investimento de recursos em áreas mais sensíveis;
 - b) Auxiliar na definição de traçados rodoviários, de tal modo que área ambiental seja um dado de entrada para o desenho dos traçados; e
 - c) Prover informações para subsidiar os órgãos licenciadores na condução do licenciamento ambiental

Considerando as premissas descritas, como resultado deste Doutorado e alinhado aos requisitos do programa de pós-graduação este documento foge a lógica da estruturação usual, sendo composto por 7 capítulos, sendo três representados por artigos científicos.

Deste modo, os capítulos 1, 3, 6 e 7 apresenta a introdução, a metodologia integrada desenvolvida, as discussões e conclusões, respectivamente.

Como os resultados foram apresentados no formato de artigo científico, parte desta Tese foi redigida na língua inglesa, conforme pode ser observado nos Capítulos 2, 4 e 5.

Vale salientar também que Capítulos contém formatações e *templates* diferentes por utilizar o formato específico requerido por periódicos.

Na introdução são apresentados uma breve descrição sobre a pesquisa, seguidas pelas hipóteses, justificativas e objetivos geral e específicos.

O Capítulo 2 contém uma revisão da literatura e do estado-da-arte do tema Serviços Ecossistêmicos, onde foi realizada uma investigação bibliográfica sobre o tema de pesquisa com vistas a avaliar o histórico do tema e o atual estado-da-arte. Também é apresentado o referencial teórico referente ao método de apoio à Decisão.

Nesse mesmo Capítulo 2 é apresentado o Artigo: *“Evaluating Road Management through the Ecosystem Services Approach: A Systematic Literature Review with Emphasis on Brazil”*, foi submetido à revista *Environment, Development and Sustainability*, Springer, Qualis Capes A2 para Geociências.

No Capítulo 3 é apresentado os materiais e métodos necessários para execução da pesquisa, de forma integrativa abordando toda a metodologia proposta, para cada etapa deste estudo.

Já no Capítulo 4 é apresentado o Artigo: *“Is the Ecosystem Services approach incorporated into road development projects in Brazil?”*, foi submetido a revista *Environmental Management* da Springer, Qualis Capes A2 para Geociências.

No Capítulo 5 é apresentado o Artigo: *“Assessing Ecosystem Services of Roads in Brazil: Evaluating Environmental Sensitivity and Implications”*, foi submetido à revista *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, Elsevier, Qualis Capes A2 para Geociências.

No Capítulo 6 são apresentadas as Discussões, Percepções, Inferências e Continuidade da pesquisa, contendo as discussões dos resultados encontrados pela pesquisa.

No Capítulo 7 é apresentado as conclusões da pesquisa.

Adicionalmente, são apresentados cinco apêndices, o primeiro Apêndice I – Questionário, contendo o questionário que subsidiou o estabelecimento de pesos para a avaliação Multicritério, o Apêndice II – O procedimento operacional utilizado na pesquisa para construção dos mapas de sensibilidade ambiental, o Apêndice III – com o Código fonte – Modelo em Python e, por derradeiro, o Apêndice IV – os tempos de processamento necessários para gerar os mapas de sensibilidade ambiental.

Cumprir dizer que os Apêndices II, III e IV foram elaborados como subsídios para continuidade da pesquisa, bem como roteiro para aplicações práticas da metodologia proposta neste estudo.

Referências Bibliográficas

Infra SA (2020). Apresentação SIAI. <https://ontl.infrasa.gov.br/wp-content/uploads/2020/10/Sistema-de-Informacoes-Ambientais-para-Infraestrutura-SIAI.pdf>. Acessado em 10 de junho de 2023.

Infra SA (2023). Perguntas e Respostas. <https://ontl.infrasa.gov.br/perguntas-e-respostas/>. Acessado em 10 de junho de 2022.

Lista de Figuras

Apresentação

Figura Ap.1 - Sistema de Informações Ambientais para Infraestrutura	x
Figura Ap.2 - Objetivos do SIAI	xi

Capítulo 1

Figura 1.1 - Evolução de publicações com Serviços Ecosistêmicos	1
---	---

Capítulo 2

Figura 2.1 - Os serviços intermediários, serviços finais e benefícios	17
Figura 2.2 - Classificação e descrição dos serviços ecossistêmicos	22
Figura 2.3 - Sistema de Classificação CICES	25
Figura 2.4 - Modelo de Classificação Cascata do CICES	26
Figura 2.5 a 2.12 - constam em artigo submetido à revista	
Figura 2.13 - Tipo de funções de preferência usadas no método Promethée	68
Figura 2.14 - Relação de sobreclassificação entre alternativas	70
Figura 2.15 - Índice de preferência positivo	71
Figura 2.16 - Índice de preferência negativo	72

Capítulo 3

Figura 3.1 - Etapas da pesquisa	76
Figura 3.2 - Modelo Conceitual para Pesquisa da Bibliografia	80
Figura 3.3- Modelo Conceitual da Pesquisa	82
Figura 3.4 - Modelo Conceitual da Pesquisa - Identificação de Serviços Ecosistêmicos	84
Figura 3.5 - Processamento dos dados de entrada	94
Figura 3.6 - Processamento dos dados até a fase do algoritmo Promethée	95
Figura 3.7 - Funções de preferência utilizados na pesquisa	97
Figura 3.8 - Proposta Metodológica - Caracterização do Modelo Multicritério	97
Figura 3.9 - Gráfico com os pesos utilizados na pesquisa	99
Figura 3.10 - Etapas do Algoritmo Promethée II	100
Figura 3. 11 - Exemplo de áreas de sensibilidade ambiental calculadas com o modelo	101
Figura 3.12 - Proposta metodológica - Avaliação de Sensibilidade Ambiental	101
Figura 3.13 - Proposta Metodológica - Aplicação em Estudo de Caso	102
Figura 3.14 - Rodovias a serem aplicados a metodologia em estudo de caso	103
Figura 3.15 - BR-135/MG/BA – Situação do Licenciamento Ambiental	103
Figura 3.16 - Rodovia BR-135.	104
Figura 3.17 - Mapa temático para BR-135/BA.....	105
Figura 3.18 - Mapa temático ambiental da BR-242/MT	107
Figura 3.19 - Mapa temático para BR-319/AM.....	108
Figura 3.20 - Histogramas para avaliação e definição da escala de trabalho.....	110
Figura 3.21 - Sensibilidade ambiental e histogramas - Funções de Preferência	112
Figura 3.22 - Histogramas para avaliação entre as funções de preferência	113
Figura 3.23 - Sensibilidade ambiental, normalização dos dados e histogramas	114
Figura 3.24 - Fluxograma do Guia para reprodução da metodologia proposta	116

Capítulo 4

Figuras deste Capítulo - constam em artigo submetido à revista

Capítulo 5

Figuras deste Capítulo - constam em artigo submetido à revista

Capítulo 6

Não possui Figuras.

Capítulo 7

Não possui Figuras.

Apêndice I

Figura A.I.1 – Questionário aplicado para atribuição dos pesos para o modelo multicritério 217

Apêndice II

Figura A.II.1 - Procedimento operacional para geração dos mapas 241

Figura A.II.2 - Procedimento de geração de grades..... 246

Figura A.II.3 - Procedimento para Reclassificação por tabela 247

Figura A.II.4 - Procedimento para estatísticas zonais 248

Figura A.II.5 - Procedimento para Uniões 249

Figura A.II.6 - Procedimento para geração da tabela csv 249

Figura A.II.7 - Adicionando Nova Camada shapefile pelo csv 251

Apêndice III

Não possui Figuras.

Apêndice IV

Não possui Figuras.

Lista de Quadros e Tabelas

Capítulo 1

Não possui Quadros ou Tabelas

Capítulo 2

Quadro 2.1- Abordagem de SE e suas categorizações	22
Quadro 2.2 - Avaliação de vantagens e desvantagens entre os métodos de apoio à decisão	61

Capítulo 3

Quadro 3.1 - Detalhamento dos Serviços Ecossistêmicos da Categoria Regulação	86
Quadro 3.2 - Detalhamento dos Serviços Ecossistêmicos da Categoria Provisão	88
Quadro 3.3 - Detalhamento dos Serviços Ecossistêmicos da Categoria Suporte	89
Quadro 3.4 - Detalhamento dos Serviços Ecossistêmicos da Categoria Cultural	91
Quadro 3.5 - Origem dos dados utilizados nos indicadores dos Serviços Ecossistêmicos	92
Quadro 3.6 - Softwares utilizados na pesquisa	94
Quadro 3.7 - Pesos utilizados no Modelo Multicritério	98
Quadro 3.8 - Detalhamento das escalas das feições utilizadas para avaliação da escala da pesquisa	108

Capítulo 4

Quadros e Tabelas deste Capítulo - constam em artigo submetido à revista

Capítulo 5

Quadros e Tabelas deste Capítulo - constam em artigo submetido à revista

Capítulo 6

Não possui Quadros ou Tabelas

Capítulo 7

Não possui Quadros ou Tabelas

Apêndice I

Não possui Quadros ou Tabelas

Apêndice II

Quadro A.II .1 - Softwares utilizados	242
Quadro A.II .2 - Aquisição de dados	242
Quadro A.II .3 - Procedimento de conversão de Coordenadas	245
Quadro A.II .4 - Quadro utilizado para conversão de espaçamento de graus em metros	246
Quadro A.II .3 - Procedimento para reclassificação de raster	247

Apêndice III

Não possui Quadros ou Tabelas

Apêndice IV

Quadro A.IV.1 – Tempos de processamento dos dados para geração de malhas, estatísticas zonais e para hierarquização no algoritmo Promethée	256
--	-----

Lista de Abreviações

AHP – *Analytic Hierarchy Process*
AL – Alagoas
AM – Amazonas
ANM – Agência Nacional de Mineração
AP – Amapá
ArcGIS – Família de software de Sistema de Informação Geográfica desenvolvido pela ESRI®
Art. – Artigo
BA – Bahia
BR – Rodovias Federais
CAF-e-CAPEs – Periódicos Capes
CCANIE – Cadastro Nacional de Informações Espeleológicas
CDB – Convenção da Diversidade Biológica
CECAV – Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Cavernas
CNA – Centro Nacional de Arqueologia
Conama – Conselho Nacional do Meio Ambiente
csv – Formato de arquivo digital de planilhas
DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes / *Brazilian National Department of Transport Infrastructure*
DTM – *Digital Terrain Model*
EIA – Estudo de Impacto Ambiental
Embrapa – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
ES – *Ecosystem Services*
Float32 – *Single-precision floating-point format*
Funai – Fundação Nacional do Índio
Gaia – *Geometrical Analysis for interactive Assistance*
Gb – *Gibabyte*
GDAL – Biblioteca de Abstração de Dados Geoespaciais
GO – Goiás
h – hora
Ibama – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICMBio – Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade
Im. – *Impact*
Incrá – Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária
Infra SA – Empresa em processo de incorporação da Empresa de Planejamento e Logística S.A. (EPL) pela VALEC Engenharia, Construções e Ferrovias S.A.
IPBES – *Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services*
IPCC – *Intergovernmental Panel on Climate Change*
Iphan – Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional
ITTI – Instituto Tecnológico de Transportes e Infraestrutura
km – Quilômetros
LI – Licença de Instalação
LO – Licença de Operação
LP – Licença Prévia

MA – Maranhão
 Machbeth – *Multiple Criteria Decision Support System*
 Mapa – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
 MapBiomass – Projeto MapBiomass é uma iniciativa do Observatório do Clima, co-criada e desenvolvida por uma rede multi-institucional envolvendo universidades, ONGs e empresas de tecnologia com o propósito de mapear anualmente a cobertura e uso da terra do Brasil e monitorar as mudanças do território (<https://brasil.mapbiomas.org/perguntas-frequentes/>)
 Max – Maximização/Mínimo
 Mb – *Megabyte*
 MCDA – *Multicriteria Decision Aid*
 MEA – *Millennium Ecosystem Assessment*
 MG – Minas Gerais
 Min – Mínimo
 Min – Minuto
 Minfra – Ministério da Infraestrutura atual Ministério dos Transportes
 MMA – Ministério do Meio Ambiente
 MT – Mato Grosso
 MT – Ministério dos Transportes
 NASA – *National Aeronautics and Space Administration*
 NE – Nordeste
 ONGs – Organizações Não Governamentais
 ONTL – Observatório Nacional de Transportes e Logística
 PA – Pará
 PBA – Projeto/Plano Básico Ambiental
 PE – Pernambuco
 PI – Piauí
 PNMA – Política Nacional do Meio Ambiente
 PR – Paraná
 PRAD – Programa de Recuperação de Áreas Degradadas
 PRIM – Plano de Redução de Impactos
 Promethée – *Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations*
 PRONABIO – Programa da Diversidade Biológica
 QGIS – Multiplataforma de Sistema de Informação Geográfica livre com código-fonte aberto que permite a visualização, edição e análise de dados georreferenciados
 R\$ – Moeda Brasileira Real
 RAC – Responsabilidade Ambiental das Contratadas
 Rima – Relatório de Impacto Ambiental
 RN – Rio Grande do Norte
 RO – Rondônia
 RS – Rio Grande do Sul
 SE – Sergipe
 SE – Serviços Ecossistêmicos
 Seg ou s – Segundo
 SIAI – Sistema de Informações Ambientais para Infraestrutura
 SiBCS - Sistema Brasileiro de Classificação de Solos
 SIG – Sistemas de Informações Geográficas

SIGMINE – Sistema de Informação Geográfica da Mineração
Sisnama – Sistema Nacional de Meio Ambiente
SPSS – *Statistical Package for the Social Sciences*
SRTM – *Shuttle Radar Topography Mission*
TEEB – *The Economics of Ecosystems and Biodiversity*
TEMAC – Teoria do Enfoque Meta Analítico ou Theory of Meta-Analytic Approach
TI – Terra Indígena
TNC – *The Natural Capital Project*
TO – Tocantins
TWI – Topographic Wetness Index
UC – Unidade de Conservação
UFPR – Universidade Federal do Paraná
UK – *United Kingdom*
UnB – Universidade de Brasília
USA – *United State of America*
USD – Dólar americano
USGS – *United States Geological Survey*
VOSviewer – Ferramenta de software para construção e visualização de redes bibliométricas.
Permite a criação de redes de relações de citação, acoplamento bibliográfico,
cocitação ou coautoria
WWF – *World Wide Found*

Sumário

Capítulo 01 - Introdução	1
1.1. Hipótese e Justificativa	5
1.2. Objetivos	6
Referências Bibliográficas	7
Capítulo 02 - Referencial Teórico	11
2.1. Serviços Ecossistêmicos: breve revisão da literatura.....	12
2.1.1 Perspectiva conceitual de Serviços Ecossistêmicos	12
2.1.2 Classificação e divisão por Categorização de Serviços Ecossistêmicos	20
Referências Bibliográficas	27
2.2. Evaluating Road Management through the Ecosystem Services Approach: A Systematic Literature Review with Emphasis on Brazil	30
2.3. Métodos de Apoio à Decisão Multicritério	60
Referências Bibliográficas	75
Capítulo 03 - Materiais e Métodos.....	76
3.1. Pesquisa Bibliográfica (estado da arte).....	76
3.2. Proposta Metodológica.....	81
3.2.1. Identificação e Seleção dos Serviços Ecossistêmicos.....	83
3.2.1.1. Seleção e definição de indicadores	84
3.2.1.2. Aquisição de Dados	92
3.2.1.3. Construção da Base de Dados	92
3.2.2. Caracterização do Modelo Multicritério.....	96
3.2.3. Avaliação de Sensibilidade Ambiental	100
3.3. Estudo de Caso	102
3.3.1. Definição da Escala de Trabalho.....	108
3.3.2. Definição da Função de Preferência do <i>Promethée</i>	111
3.3.3. Definição da Função de Normalização dos dados.....	113
3.4. Guia do Protocolo Operacional para utilização da Metodologia Proposta.....	115
Referências Bibliográficas	120
Capítulo 04 - Is the Ecosystem Services approach incorporated into road development projects in Brazil?	123
Capítulo 05 - Assessing Ecosystem Services of Roads in Brazil: Evaluating Environmental Sensitivity and Implications	163
Capítulo 06 - Discussões, Percepções, Inferências e Continuidade da Pesquisa	201
6.1. Referente aos Resultados obtidos na Pesquisa	201
6.1.1. Pesquisas na Bibliografia.....	201
6.1.2. Questionários, avaliações de pesos e licenças ambientais	203
6.1.3. Resultados obtidos	205

6.2. Referente à Metodologia Proposta.....	208
6.2.1. Serviços Ecosistêmicos, Indicadores e Bases de Dados	208
6.2.2. Áreas de Recorte, Geração de Grades e Escalas de Trabalho	209
6.2.3. Modelagem Multicritério	209
6.2.4. Processamento Computacional	210
6.3. Aplicação Prática dos Resultados.....	211
6.4. Propostas para continuidade à Pesquisa	213
Referências Bibliográficas	214
Capítulo 07 - Conclusões da Pesquisa	216
Apêndice I - Questionário	217
Apêndice II - Procedimento Operacional utilizado nesta Tese de Doutorado.....	241
Apêndice III - Código fonte – Modelo Multicritério	252
Apêndice IV - Tempos de Processamento	256

Capítulo 01 - Introdução

A abordagem de Serviços Ecossistêmicos (SE) vem recebendo destaque nas pesquisas acadêmicas, vide Figura 1.1, fato esse que pode ser observado pelo número crescente de publicações que utilizam essa terminologia.

No período que compreende 1997 a 2022, publicações que possuíam a palavra “serviços ecossistêmicos” em qualquer parte do estudo, passaram de pouco mais de 1.500 publicações, no final dos anos 90, para mais que 20.000, no ano de 2022, somente, utilizando como referência a base de dados do Science Direct, Figura 1.1.

De forma exploratória, observou-se que as temáticas mudanças climáticas, biodiversidade, sustentabilidade, uso e cobertura do solo são frequentes em pesquisas que envolvem SE, tal observação se encontra detalhada no Capítulo 2, nos estudos bibliométricos da presente pesquisa.

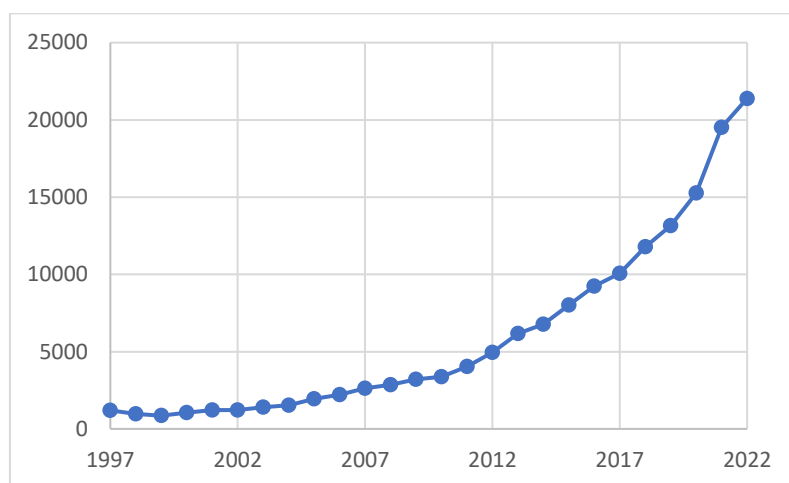


Figura 1.1 – Evolução de publicações com Serviços Ecossistêmicos
Fonte: Busca no site Science Direct, sciencedirect.com

No Brasil, apesar de SE ainda não ser um vocabulário usual, já é possível identificar algumas iniciativas no âmbito conceitual e teóricos em políticas públicas. Em pesquisas ao *site* de instituições como o Ministério do Meio Ambiente (MMA) foram encontrados alguns informativos veiculando informações a respeito de SE, bem como em algumas das instituições vinculadas a esse Ministério também produziram algum tipo de conteúdo com a temática SE, a exemplo do Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio) e do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (Ibama).

Também foi possível identificar em pesquisa não estruturada que é possível localizar

diversas iniciativas no âmbito da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), empresa vinculada ao Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Mapa).

No entanto, a aplicação prática e efetiva da abordagem de SE na análise de empreendimentos ainda está em estágio inicial, especialmente no contexto de avaliação de empreendimentos. Embora haja algumas contribuições da comunidade científica, exemplificadas por Longo e Rodrigues (2017); Vezzani (2015); Igari, Pavanelli, Oliveira & Sinisgalli (2021); Cunha (2017); Rammê (2017); Schossler (2017); Lima e Paula (2018); Pivoto, Raimundo, Lima e Alves (2022) e Araújo (2018).

Deve-se destacar que até aqui foi utilizada a terminologia empreendimento no seu sentido mais amplo, como sendo qualquer intervenção humana que cause alguma interferência de uso e cobertura do solo ou algum tipo de impacto no meio ambiente.

Contudo, a abordagem utilizada neste estudo daqui para frente está focada em um caso particular de empreendimento, o Rodoviário. Deste modo, define-se conceitualmente empreendimentos rodoviários como obras de implantação, pavimentação, restauração ou ampliação de capacidade dos equipamentos de infraestrutura de transportes que ligam duas regiões por meio de estradas de rodagem, sendo empreendimentos de grande dimensão e com característica de grandes extensões lineares.

Em empreendimentos rodoviários, foi identificado o desenvolvimento de algumas pesquisas, em âmbito nacional e internacional, sendo aplicado com o intuito de incorporar a abordagem de SE como uma variável na avaliação ambiental de rodovias a exemplo de Gallardo, Rosa e Sánchez (2022); Ligtermoet, Ramalho, Foellmer e Pauli (2022); Zhang, Li, Xu e Zhong (2023); Liu, Sun, Sun, Wang e Li (2022); Marche, Camargo, Rodriguez, Chaudron, Mayer e Bachmann (2022); Kütt, Lohmus, Rammi, Paal, Paal e Liira (2016); O'Sullivan, Holt, Warren e Evans (2017); Xu, Zhao, Fagerholm e Primdahl (2020); Jianying, Jixink e, Yanxu (2020) e Xu, Chen, Liu e Fan (2020); e Phillips, Bullock, Osborne e Gaston (2019); Rehhausen, Köppel, Scholles, Stemmer, Syrbe, Magel, Geissler e Wende (2018), Tardieu, Roussel, Thompson e Labarraque, Salles (2015); Sánchez e Sánchez (2008); Rosa e Sánchez (2016); Mandle, Griffin, Goldstein, Daunas, Camhi, Lemay, Rauer e Peterson (2015), Rosa e Sánchez (2015); Mandle, Bryant, Ruckelshaus, Geneletti, Kiesecker e Pfaff (2015); Wu, Lin, Chiang e Huang (2014); Karjalainen, Marttunen, Sarkki e Rytönen (2013); Partidario e Gomes, (2013); Satz, Gould, Chan, Guerry, Norton, Satterfield, Halpern, Levine, Woodside, Hannahs, Basurto e Klain (2013).

Contrariamente à observação do progresso em várias pesquisas sobre avaliações

ambientais de empreendimentos, nota-se a ausência de metodologias propositivas e integrativas consolidadas para a avaliação de empreendimentos rodoviários, com vistas a aplicação prática da abordagem de SE. Algumas pesquisas concentram-se apenas na avaliação dos SE ou em grupos de SE, enquanto outras se concentram na análise de perdas e ganhos de projetos já implementados. Portanto, a falta de uma metodologia abrangente que sirva como suporte ao processo de tomada de decisão e avaliação ambiental de empreendimentos de forma sistemática ainda é evidente.

Destaca-se que a execução de empreendimentos rodoviários está submetida ao licenciamento ambiental, que é um instrumento de gestão pública, que por meio da avaliação do impacto ambiental de um empreendimento qualquer, tem o intuito de assegurar a sustentabilidade dos ecossistemas, dos pontos de vista físico, biótico, social e cultural (Ibama, 2020).

O Ibama – órgão licenciador federal – em seu *site*, apresenta que a construção, instalação, ampliação e funcionamento de estabelecimentos e atividades utilizadores de recursos ambientais, efetiva ou potencialmente poluidores ou capazes, sob qualquer forma, de causar degradação ambiental dependerão de prévio licenciamento ambiental (Ibama, 2020).

Cumprir dizer, que o licenciamento ambiental brasileiro foi instituído somente a partir da década de 80 com a formulação da Política Nacional do Meio Ambiente (PNMA), nos termos da Lei nº 6.938/1981 (Brasil, 1981). Esta mesma lei estabeleceu a criação do Sistema Nacional do Meio Ambiente (Sisnama) e do Conselho Nacional do Meio Ambiente (Conama), sendo este último o que detém o poder de legislar sobre o tema.

Assim, antes de iniciar a execução de empreendimentos rodoviários, o empreendedor realiza o requerimento do licenciamento ambiental, tendo esse procedimento, por propósito avaliar a viabilidade ambiental do empreendimento, de tal modo, que a execução da intervenção de transportes, cause o menor impacto ambiental possível.

A obrigação de avaliar a viabilidade ambiental de um empreendimento veio com as resoluções do CONAMA, sendo que antes desses dispositivos legais, não havia licenciamento ambiental em empreendimentos rodoviários, portanto diversas Rodovias até a década de 80 foram implantadas, sem terem sido realizados estudos ambientais prévios.

Vale salientar que o licenciamento ambiental trouxe algumas inovações no processo de avaliação de empreendimentos rodoviários, a partir dessa exigência, veio junto obrigações a serem realizadas para se minimizar e mitigar impactos ao meio ambiente, tornando-se uma parte importante de todo o processo de avaliação de empreendimentos.

Nesse sentido, o desenvolvimento de ferramentas que possam contribuir com a avaliação ambiental de rodovias, com foco na tomada de decisão se tornaram importantes, tanto na fase de avaliação para o licenciamento ambiental, quanto na fase de execução de medidas mitigatórias, além das fases de definição de traçados rodoviários.

No Brasil, a execução de empreendimentos rodoviários acontece de diversas formas, entre elas, no âmbito estadual por meio de seus órgãos estaduais, por meio de concessões federais ou estaduais, por particulares e em âmbito nacional, por meio do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT), autarquia atualmente vinculada ao Ministério dos Transportes.

Utilizando como referência somente o DNIT, no âmbito federal em 2023, a Autarquia recebeu recurso na ordem de 18,8 Bilhões de Reais (em torno de \$3,6 bilhões de dólares), para investimentos em construção e manutenção de transportes. Correspondendo a quase 1% do orçamento de investimento estimado para todo o país, segundo consulta ao portal transparência do Governo (Brasil, 2022).

Portanto, levando em conta o montante de investimentos destinados aos transportes, verifica-se que todas as ações ambientais envolvidas, tem grande relevância no cenário da aplicação desses recursos financeiros, uma vez que, sem as devidas licenças ambientais não é possível iniciar nenhuma obra rodoviária.

Vale dizer que junto com a evolução da forma de se avaliar a viabilidade ambiental de um empreendimento, seu posterior licenciamento e todas as etapas necessárias para a liberação ambiental para execução de um determinado empreendimento, também se pode observar que o desenvolvimento de algumas formas de se avaliar o meio ambiente como parte da vida humana, dentre essas formas, podemos citar o desenvolvimento da visão do meio ambiente como prestador de serviço para o bem-estar humano (MEA, 2005), visão essa conhecida como SE.

Nesses termos, considerando a constante necessidade de implantação desse tipo de empreendimento, verifica-se que o desenvolvimento de uma visão que possa contribuir com a avaliação ambiental de empreendimento é de elevada importância.

Portanto, considerando que a visão de SE pode ser adequada no desenvolvimento das diversas iniciativas ambientais necessárias para a implantação de empreendimentos rodoviários, o propósito da presente pesquisa é inserir a abordagem de SE na avaliação ambiental de empreendimentos rodoviários.

1.1. Hipótese e Justificativa

A abordagem de Serviços Ecossistêmicos (SE) enxerga o meio ambiente como um provedor de serviços essenciais à humanidade (MEA, 2005). Sendo que, por um lado, se tem a entrega natural desses serviços pelo meio ambiente à sociedade. Por outro lado, surge a necessidade de desenvolver empreendimentos rodoviários que, inegavelmente, têm um impacto ambiental e influenciam nessa prestação de serviços.

Nesse contexto, uma metodologia capaz de avaliar essas perdas e ganhos à luz dos SE pode proporcionar uma abordagem sistemática para orientar as decisões dos gestores envolvidos em empreendimentos rodoviários.

Uma análise ambiental que considere a relação custo-benefício entre os SE recebidos do meio ambiente e a infraestrutura instalada (ou a ser instalada) deve ser minuciosamente equilibrada e considerada como um princípio norteador no processo de tomada de decisão. É fundamental ressaltar a importância de alcançar um equilíbrio entre a o impacto na disponibilidade de SE e o desenvolvimento da infraestrutura, dado que ambos desempenham papéis de extrema relevância.

Para fazer frente a essa avaliação, é preciso reconhecer que a contribuição dos SE ao longo de toda a extensão do empreendimento não é uniforme e varia com diferentes parâmetros ao longo de toda sua linearidade.

Atualmente, estão disponíveis ferramentas de geotecnologia e diversas bases de dados geoespaciais, as quais representam fontes valiosas para guiar as decisões. No entanto, a abundância de informações pode apresentar desafios aos gestores, demandando uma organização e sistematização cuidadosas desses dados para alcançar uma visão integrada dos diversos elementos a serem avaliados.

Dessa maneira, respaldada pela categorização proposta pela perspectiva de SE, que nos termos da proposta apresentada por MEA (2005), que classifica os serviços ecossistêmicos em quatro categorias: Regulação, Provisão, Suporte e Cultural, torna-se mais ordenada para os gestores as etapas do processo decisório, permitindo a aplicação de estratégias e ajustes específicos para cada situação.

Adicionalmente, essa categorização auxilia gestores a compreenderem os desafios que podem surgir durante a implementação de empreendimentos rodoviários. Logo, ao integrar a visão da SE com bases de dados geoespaciais e ferramentas de hierarquização, é possível

contribuir de maneira significativa para o processo de tomada de decisão relacionado às ações ambientais na implantação de empreendimentos rodoviários.

Nesses termos, utilizar a abordagem de SE, as bases de dados disponíveis gratuitamente na internet, as ferramentas de geoprocessamento, os métodos de hierarquização possibilitam a construção de mapas de sensibilidade ambiental, sendo que com essa análise é possível permitir a identificação de áreas prioritárias de intervenção com mais facilidade.

Ao adotar essa abordagem de avaliação, é possível obter uma visão mais abrangente e detalhada, permitindo que os gestores aloquem recursos e esforços de maneira mais eficiente e de acordo com as características de cada segmento rodoviário.

1.2. Objetivos

No contexto apresentado, o objetivo geral da presente pesquisa é aplicar a abordagem de Serviços Ecossistêmicos para subsidiar do ponto de vista ambiental a tomada de decisões no âmbito da execução de empreendimentos rodoviários.

Sendo objetivos específicos desta pesquisa:

- avaliar como vem sendo percebido o conceito de Serviços Ecossistêmicos no âmbito de instituições de infraestrutura de transportes;
- propor metodologia para avaliação de sensibilidade ambiental de empreendimentos rodoviários, com base na visão de serviços ecossistêmicos;
- avaliar em estudos de caso a metodologia proposta; e
- avaliar a abordagem de serviços ecossistêmicos como subsídio a avaliação ambiental de empreendimento rodoviários com base na sensibilidade ambiental de áreas.

Referências Bibliográficas

- Araújo IS (2018). Identificação e valoração de serviços ecossistêmicos no parque das dunas, natal – RN. Dissertation. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. <https://repositorio.ufrn.br/jspui/bitstream/123456789/25406/1/IsailmaDaSilvaAraujo DISSERT.pdf>. Acessado em 09 de dezembro de 2022.
- Brasil (1981). Lei nº 6.938. Diário Oficial da União. http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l6938.htm. Acessado em 09 de dezembro de 2022.
- Brasil (1988). Constituição da República Federativa do Brasil. Diário Oficial da União, Brasília, http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm. Acessado em 09 de dezembro de 2022.
- Brasil (2001). Lei nº 10.233. Diário Oficial da União. http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/leis_2001/L10233.htmcompilado.htm. Acessado em 09 de dezembro de 2022.
- Brasil (2022). Lei nº 14.535. Diário Oficial da União. http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2023-2026/2023/Lei/L14535.htm. Acessado em 09 de dezembro de 2022.
- CONAMA (1986). Resolução nº 1, de 23 de janeiro de 1986. Diário Oficial da União, <http://www.mma.gov.br/port/conama/processos/61AA3835/LivroConama.pdf>. Acessado em 09 de dezembro de 2022.
- Cunha PRA (2017). Percepção de serviços ecossistêmicos culturais da Área de Proteção Ambiental da Lagoa Verde, Rio Grande - RS: subsídios para Educação Ambiental. Dissertation. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. <http://repositorio.furg.br/handle/1/8654> Acessado em 09 de dezembro de 2022.
- Gallardo ALCF, Rosa JCS e Sánchez LE (2022). Addressing ecosystem services from plan to project to further tiering in impact assessment: Lessons from highway planning in São Paulo, Brazil. Environmental Impact Assessment Review. 92: 106694. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2021.106694>. Acessado em 09 de dezembro de 2022.
- IBAMA (2020). Sobre o Licenciamento Ambiental Federal. <http://www.ibama.gov.br/laf/sobre-o-licenciamento-ambiental-federal>. Acessado em 09 de dezembro de 2022.
- Igari AT, Pavanelli JMM, Oliveira CE, Sinisgalli PAA (2020). Mudanças institucionais e governança de serviços ecossistêmicos. Diálogos Socioambientais. <https://periodicos.ufabc.edu.br/index.php/dialogossocioambientais/article/view/295>. Acessado em 09 de dezembro de 2022.
- Jianying X, Jixink C, Yanxu L (2020). Partitioned responses of ecosystem services and their tradeoffs to human activities in the Belt and Road region. Journal of Cleaner Production. 276: 123205. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123205>. Accessed 09 december 2022
- Karjalainen TP, Marttunen M, Sarkki S e Rytönen AM (2013). Integrating ecosystem services into environmental impact assessment: An analytic–deliberative approach. Environmental Impact Assessment Review. 40: 54-64. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2012.12.001>. Accessed 09 december 2022

- Kütt L, Lohmus K, Rammi IJ, Paal T, Paal J, Liira J (2016). The quality of flower-based ecosystem services in field margins and road verges from human and insect pollinator perspectives. *Ecological Indicators*. 70: 409-419. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.06.009>. Accessed 09 december 2022
- Ligtermoet E, Ramalho CE, Foellmer J, Pauli N (2022). Greening urban road verges highlights diverse views of multiple stakeholders on ecosystem service provision, challenges and preferred form. *Urban Forestry & Urban Greening*. 74: 127925. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2022.127625>. Accessed 09 december 2022
- Lima JC, Paula DP (2018). Serviços Ecosistêmicos em Litorais Urbanos: o caso de Fortaleza, Ceará, Brasil. Unicamp. <https://ocs.ige.unicamp.br/ojs/sbgfa/article/view/2164>. Accessed 09 december 2022
- Liu Y, Liu S, Sun Y, Sun J, Wang F, Li M (2022). Effect of grazing exclusion on ecosystem services dynamics, trade-offs and synergies in Northern Tibet. *Ecological Engineering*. 179: 106638. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2022.106638>. Accessed 09 december 2022
- Longo MHC, Rodrigues RR (2017). Análise de serviços ecossistêmicos na Avaliação de Impacto Ambiental: proposta e aplicação em um empreendimento mineral. DeMA. <http://dx.doi.org/10.5380/dma.v43i0.54106>. Accessed 09 december 2022
- Mandle L, Bryant BP, Ruckelshaus M, Geneletti D, Kiesecker JM, Pfaff A (2015). Entry Points for Considering Ecosystem Services within Infrastructure Planning: How to Integrate Conservation with Development in Order to Aid Them Both. *Conservation Letters*. 9: 221-227. <https://doi.org/10.1111/conl.12201>. Accessed 09 december 2022
- Mandle L, Griffin R, Goldstein J, Daunas RA, Camhi A, Lemay M, Rauer E, Peterson V (2015). Natural Capital & Roads: Managing dependencies and impacts on ecosystem services for sustainable road investments. <https://publications.iadb.org/publications/english/viewer/Natural-Capital-and-Roads-Managing-Dependencies-and-Impacts-on-Ecosystem-Services-for-Sustainable-Road-Investments.pdf>. Accessed 09 december 2022
- Marche B, Camargo M, Rodriguez SCB, Chaudron C, Mayer F, Bachmann C (2022). Qualitative sustainability assessment of road verge management in France: An approach from causal diagrams to seize the importance of impact pathways. *Environmental Impact Assessment Review*. 97: 106911. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2022.106911>. Accessed 09 december 2022
- MEA (2005). Ecosystems and Human Well-Being: Synthesis. Island Press. <https://www.millenniumassessment.org/documents/document.356.aspx.pdf>. Accessed 09 december 2022
- O'Sullivan OS, Holt AR, Warren PH, Evans KL (2017). Optimising UK urban road verge contributions to biodiversity and ecosystem services with cost-effective management. *Journal of Environmental Management*. 191: 162-171. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.12.062>. Accessed 09 december 2022
- Partidario, MR e Gomes RC (2013). Ecosystem services inclusive strategic environmental assessment. *Environmental Impact Assessment Review*. 40: 36-46. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2013.01.001>. Accessed 09 december 2022
- Phillips BB, Bullock JM, Osborne JL, Gaston KJ (2019). Ecosystem service provision by road verges. *Journal of Applied Ecology*. 57: 488-501. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.13556>. Accessed 09 december 2022

- Pivoto AS, Raimundo S, Lima R, Alves AF (2022). Serviços Ecosistêmicos Culturais em Áreas Protegidas: uma revisão da literatura. CULTUR. <https://periodicos.uesc.br/index.php/cultur/article/view/3270>. Accessed 09 december 2022
- Rammê RS (2017). A proteção jurídica dos serviços ecossistêmicos: um dever fundamental ecológico. Thesis. <https://tede2.pucrs.br/tede2/handle/tede/7463>. Accessed 09 december 2022
- Rehhausen A, Köppel J, Scholles F, Stemmer B, Syrbe RU, Magel I, Geissler G, Wende W (2018). Quality of federal level strategic environmental assessment – A case study analysis for transport, transmission grid and maritime spatial planning in Germany. Environmental Impact Assessment Review. 73: 41-59. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2018.07.002>. Accessed 09 december 2022
- Rosa JCS e Sánchez LE (2015). Is the ecosystem service concept improving impact assessment? Evidence from recent international practice. Environmental Impact Assessment Review. 50: 134-142. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2014.09.006>. Accessed 09 december 2022
- Rosa JCS e Sánchez LE (2016). Advances and challenges of incorporating ecosystem services into impact assessment. Journal of Environmental Management. 180: 485-492. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.05.079>. Accessed 09 december 2022
- Satz D, Gould RK, Chan KMA, Guerry A, Norton B, Satterfield T, Halpern BS, Levine J, Woodside U, Hannahs N, Basurto X, Klain S (2013). The Challenges of Incorporating Cultural Ecosystem Services into Environmental Assessment. AMBIO. 42: 675-684. <https://doi.org/10.1007/s13280-013-0386-6>. Accessed 09 december 2022
- Schossler DS (2016). Identificação de Serviços Ecosistêmicos de Campos Naturais no Bioma Pampa e Valoração do estoque de carbono do solo utilizando a Metodologia TESSA. Dissertation, Universidade de Pelotas. <http://guaiaca.ufpel.edu.br:8080/handle/prefix/3215>. Accessed 09 december 2022
- Tardieu L, Roussel S, Thompson JD, Labarraque D, Salles JM (2015). Combining direct and indirect impacts to assess ecosystem service loss due to infrastructure construction. Journal of Environmental Management. 152: 145-157 <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2015.01.034>. Accessed 09 december 2022
- Vezzani FM (2015). Solos e os serviços ecossistêmicos. Revista Brasileira de Geografia Física V. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v8.0.p673-684>. Accessed 09 december 2022
- Wu CF, Lin YP, Chiang LC, Huang T (2014). Assessing highway's impacts on landscape patterns and ecosystem services: A case study in Puli Township, Taiwan. Landscape and Urban Planning. 128: 60-71. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2014.04.020>. Accessed 09 december 2022
- Xu H, Zhao G, Fagerholm N, Primdahl J, Plieninger T (2020a). Participatory mapping of cultural ecosystem services for landscape corridor planning: A case study of the Silk Roads corridor in Zhangye, China. Journal of Environmental Management. 264: 110458. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110458>. Accessed 09 december 2022
- Xu J, Chen J, Liu Y, Fan F (2020b). Identification of the geographical factors influencing the relationships between ecosystem services in the Belt and Road region from 2010 to 2030. Journal of Cleaner Production. 275: 124153. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124153>. Accessed 09 december 2022

Zhang R, Li P, Xu L, Zhong S (2023). Reconciling ecological footprint and ecosystem services in natural capital accounting: Applying a novel framework to the Silk Road Economic Belt in China. *Journal of Environmental Management*. 330: 117115. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.117115>. Accessed 07 march 2023

Capítulo 02 - Referencial Teórico

Para a elaboração deste estudo, foi essencial a avaliação de dois principais tópicos no âmbito do referencial teórico: os Serviços Ecossistêmicos (SE) e as metodologias de hierarquização no suporte à decisão, também conhecidas como Métodos de Apoio à Decisão.

O capítulo atual se inicia com uma breve análise da literatura sobre Serviços Ecossistêmicos (item 2.1 deste Capítulo 02). Em seguida item 2.2, é apresentada uma perspectiva bibliométrica abordando os SE, a qual foi sistematizada sob a forma de um artigo científico de revisão, intitulado "*Evaluating Road Management through the Ecosystem Services Approach: A Systematic Literature Review with Emphasis on Brazil*". Apesar de ser um desdobramento da pesquisa, esse artigo foi incorporado como componente essencial do Referencial Teórico desta Tese de Doutorado, contribuindo para a organização estrutural dos capítulos subsequentes.

Destaca-se que a análise bibliométrica dos Serviços Ecossistêmicos possibilitou a identificação das principais abordagens seguidas nas pesquisas relacionadas a esses serviços, direcionando, assim, o enfoque deste estudo.

Referente aos Métodos de Apoio à Decisão no item 2.3, realizamos uma avaliação dos Métodos de Apoio à Decisão, com especial ênfase no método da família *Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations (PROMETHÉE)*, aplicado de maneira específica nesta tese.

2.1. Serviços Ecossistêmicos: breve revisão da literatura

Para aprimorar a avaliação desta seção da tese, ela foi dividida em duas partes. A primeira abrange a apresentação da visão conceitual de Serviços Ecossistêmicos (SE), explorando as principais definições disponíveis. A segunda parte consiste em uma avaliação das Categorizações e Classificações dos SE.

É relevante destacar que, nesta pesquisa, optou-se por utilizar as definições e a categorização propostas pelo MEA (2005). Essa escolha foi motivada pelo fato de que, como evidenciado no item 2.2 deste estudo, tal classificação foi a mais utilizada em pesquisas, portanto a sua utilização favorece a comparação entre resultados de outras pesquisas.

Em que pese a opção mencionada apresenta-se a seguir um levantamento das classificações mais comuns e usuais encontradas na bibliografia.

2.1.1 Perspectiva conceitual de Serviços Ecossistêmicos

Dentre as definições mais encontradas em pesquisas relacionadas a SE se destaca a apresentada por MEA (2005), o qual apresentou SE como sendo os benefícios que as pessoas obtêm dos ecossistemas, que são complexos em estrutura e função, e variáveis em tamanho, dinâmica e tempo. O item 2.2 faz uma discussão mais detalhada sobre a relevância desta pesquisa.

Apesar da relevância de MEA (2005), é importante ressaltar que, conforme Nahlik et al. (2012) apresentaram, esse conceito é um pouco mais antigo. Os autores mencionam que já era possível identificar essa conceitualização desde a década de setenta, embora a terminologia tenha sido efetivamente consolidada somente durante a década de noventa, principalmente em decorrência da pesquisa conduzida por Constanza et. al (1997), que também tem uma avaliação de importância conduzida apresentada no item 2.2 desta tese.

Por outro lado, verifica-se que antigos pensadores já delineavam as primeiras noções sobre a natureza e seus serviços, como, o economista francês Jean Baptiste Say e sua percepção sobre o vento e o sol. Ele atestou que apesar do sol e o vento trabalharem para os homens, ninguém havia declarado posse de ambos, nem decretado que esses serviços deveriam ser pagos (Santos, 2014).

Contudo, o conceito de SE começou a tomar forma apenas na década de 70, com o botânico Westman (1977), o pesquisador destacou que os benefícios oriundos dos ecossistemas

poderiam ser enumerados com a finalidade de aumentar o interesse público para a conservação da biodiversidade e para que as decisões fossem tomadas com base em informações mais robustas, nessa pesquisa os benefícios foram definidos como “serviços da natureza”.

Vale dizer que Schumacher (1973) foi provavelmente um dos primeiros a enfatizar o valor social dos serviços da natureza, em seguida Westman (1977) discutiu como fazer a sua avaliação e quantificação. E, o artigo de Ehrlich & Mooney (1983) pelo que consta em algumas pesquisas, provavelmente o primeiro a apresentar o termo "*ecosystem service*" em seu título, discutindo o impacto da perda de biodiversidade nos serviços prestados à humanidade pelos ecossistemas.

King (1966) e Helliwell (1969) também já apresentavam algumas ideias que embasaram a conceituação de SE no final da década de sessenta. No entanto, a ideia dos serviços prestados à humanidade pelos ecossistemas foi desenvolvida nesta época, derivada de teorias ecológicas e econômicas e apoiada no fato de que os ecossistemas naturais fornecem vários serviços que têm valor ecológico, social, cultural e econômico, tais como alimentos, água, sequestro de carbono, controle de enchentes, regulação do clima, controle de erosão, beleza estética e recreação, surgiu um pouco mais tarde (Costanza et al., 1997; Daily, 1997; de Groot et al., 2002; MEA, 2005; Barnaud et al., 2011; Tancoigne et al., 2014; Rodríguez-Loinaz et al, 2015).

No ano de 1997, dois trabalhos importantes foram publicados. Um deles, Costanza *et al.* (1997) definiram serviços ecossistêmicos como sendo “os benefícios que as populações humanas obtêm, direta ou indiretamente, das funções de ecossistemas”. Os autores sugeriram uma lista de serviços de ecossistemas, ampliando as discussões apresentadas por Westman (1977) e incluindo, por exemplo, os serviços de polinização e o controle biológico. O outro trabalho, Daily (1997) definiu serviços ecossistêmicos como "as condições e processos através dos quais os ecossistemas naturais, e as espécies que os compõem, sustentam e satisfazem a vida humana." De acordo com o autor, esses serviços seriam os responsáveis por manter a biodiversidade e produzir bens, tais como, alimentos, madeira, combustíveis e muitos dos produtos farmacêuticos e industriais, bem como seus precursores.

O artigo "*The value of the world's ecosystem services and natural capital*" publicado por Costanza *et al.* (1997), se destacou como um dos mais referenciados, conforme poderá ser observado no item 2.2 desta Tese.

Outra referência relevante, como também como pode ser observado no item 2.2 desta tese, é a publicação do *Millennium Ecosystem Assessment*, MEA (2005), sob o título de "*Ecosystems and Human Well-Being: Synthesis*", essa publicação além de sua relevância do ponto

de vista da conceituação de SE, é reconhecida com seu importante papel de difusão da visão de SE, além da visão acadêmica, tendo sua importância em razão da Convenção da Diversidade Biológica (CBD) e também pela apresentação da visão de SE ao setor empresarial (WRI, 2012, CEBDS, 2013).

Cumprir dizer que, a MEA foi um programa encomendado pelo então Secretário Geral das Nações Unidas, Kofi Anan, e composto por várias organizações de 77 países, no qual se dedicou a discutir as consequências da mudança do meio ambiente no bem estar humano.

Ainda, segundo MEA (2005), de acordo com essa síntese, as mudanças do uso da terra foram os fatores que causaram maior impacto nos SE, no qual, em que pese, muitos indivíduos terem se beneficiado da conversão de sistemas naturais para sistemas antrópicos, esse ganho, segundo a visão da publicação, foi feito à custa de perdas massivas de biodiversidade, degradação de serviços de ecossistema e até no aumento da pobreza, em alguns casos. De acordo com os autores, mesmo em situações em que fosse difícil quantificar esses custos, eles deveriam ser considerados, especialmente quando as mudanças nos ecossistemas fossem muito acentuadas ou irreversíveis.

Por seus objetivos, o MEA (2005) inovou nas suas considerações sobre a biodiversidade, porque trabalhou com as ciências naturais e sociais, e focalizou não somente o status da biodiversidade, mas também seus produtos e funções, especialmente os serviços dos ecossistemas (Larigauderie & Mooney, 2010).

Paralelamente, em 2005, o governo francês promoveu uma importante conferência internacional, intitulada “*Biodiversity: Science and Governance*”, para tratar dos resultados do MEA e das medidas a serem tomadas em seguida. Na abertura, o então presidente da França, Jacques René Chirac, mencionou que o *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) tinha demonstrado a importância das mudanças globais para o mundo, e que era necessário um sistema semelhante para a biodiversidade. Além das declarações geradas, a conferência produziu um documento que foi denominado de “Declaração de Paris sobre a Biodiversidade”. Seguiu-se a ela uma grande consulta pública chamada de International Mechanism of Scientific Expertise on Biodiversity (IMoSEB), visando dar continuidade ao trabalho do MEA (Larigauderie & Mooney, 2010).

Em dezembro de 2010, o ano internacional da biodiversidade, os resultados dos esforços consolidados do MEA e do IMoSEB resultaram na aprovação do Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services (IPBES), pela Organização das Nações Unidas

(ONU) (Larigauderie e Mooney, 2010). O estabelecimento do IPBES forneceu um vínculo importante para a política internacional, propondo uma relação entre organizações científicas, entidades ambientais e instituições que custeiam a pesquisa. Esse elo é um fator crítico para direcionar tanto a competência científica quanto a relevância da pesquisa, visando à capacitação e fortalecimento do uso da ciência no estabelecimento de políticas públicas.

Continuando, segundo Nahlik et al. (2012) existem duas filosofias distintas na definição dos SE: ou (1) são equiparados aos benefícios proporcionados pelo ecossistema, ou (2) são associados aos atributos do ecossistema que levam aos benefícios. De uma forma ou de outra, é importante destacar que o termo não é considerado um sinônimo de biodiversidade, e que a biodiversidade em si, não é um serviço ecossistêmico. Esses conceitos estão relacionados, já que muitos serviços são dependentes direta ou indiretamente das estruturas e processos gerados pelos organismos vivos e pelas suas interações entre si, e com fatores abióticos, mas são dois conceitos distintos (Haines-Young e Potschin, 2010).

MEA (2005), por exemplo, definiu os serviços ecossistêmicos como os benefícios que o homem obtém dos ecossistemas e Constanza et al. (1997) como os benefícios decorrentes, direta ou indiretamente, das funções ecossistêmicas.

Na conceituação apresentada por Constanza et al. (1997) as funções seriam as características biofísicas dos ecossistemas essenciais para o seu próprio funcionamento, e os serviços seriam o produto de duas ou mais funções do ecossistema, com a possibilidade de uma única função do ecossistema contribuir para dois ou mais serviços ecossistêmicos.

Por outro lado, Boyd & Banzhaf (2007) apresentam uma definição um pouco diferente, entranhado no conceito de bens e serviços ecossistêmicos finais. Para os autores, os serviços ecossistêmicos não são os benefícios, que o homem obtém dos ecossistemas em si, mas os componentes da natureza diretamente apreciados, consumidos ou utilizados em função do bem-estar humano. Isso significa que os serviços são os produtos finais, não serviços prestados.

Apresenta-se que nessa definição apresentada, enfatiza a última instância de natureza biofísica utilizada pelos indivíduos para adquirir um benefício, em outras palavras, destaca os processos indiretos, funções do ecossistema e os benefícios propriamente ditos não são considerados SE.

Para essa conceituação, pode se exemplificar, a pesca recreativa, que apesar de, geralmente, ser reconhecida como um serviço ecossistêmico, para Boyd & Banzhaf (2007) não é classificada como tal, se tratando de um benefício (e não um serviço) resultante de múltiplas

entradas, tanto provenientes dos ecossistemas, quanto de outros fatores (exemplo: a habilidade de pescar, qualidade do equipamento).

Assim sendo, seus componentes finais, ligados diretamente aos ecossistemas, como o corpo d' água limpo, os peixes alvo da pescaria e os recursos naturais visualmente disponíveis nas proximidades, seriam os SE pertinentes, pois são utilizados, consumidos e diretamente apreciados. Outros processos indiretos, por exemplo, fatores necessários para que os peixes estejam presentes no corpo d'água, não são contabilizados por não serem os produtos finais do ecossistema.

Já Fischer et al. (2009) propõem uma expansão do conceito defendido por de Boyd e Banzhaf (2007), para tanto, os autores incluíram os processos e funções indiretas. Nesse espeque, Fischer et al. (2009) definiram SE como os aspectos dos ecossistemas utilizados, direta ou indiretamente, em prol bem-estar humano.

A diferença que se torna importante nesta situação, é que os serviços devem ser fenômenos ecológicos, mas não precisam ser diretamente utilizados. Definindo dessa forma, os SE incluem tanto a organização ou estrutura do ecossistema como, também, processos e funções, não significando que essas expressões sejam sinônimas.

Cumprir destacar que os autores - Fischer et al. (2009) - destacaram que a estrutura e as funções dos ecossistemas são estudadas há bastante tempo, sem qualquer referência aos serviços prestados aos seres humanos. Pressupõe-se, então, que não há serviços sem beneficiários. Portanto, só há serviço se existir uma relação com a sociedade, mesmo que indiretamente. Caso não ocorra essa relação, ocorrerão somente processos ecológicos;

Utilizando a definição trazida por Fischer et al. (2009) é admitida uma divisão dos SE em: serviços intermediários, que sustentam outros serviços e influenciam indiretamente o bem-estar humano; serviços finais, que fornecem benefícios diretamente à sociedade; e os benefícios. Um exemplo elucidativo do uso dessa classificação seria uma simplificação da produção agrícola. A polinização e a ciclagem de nutrientes seriam os serviços intermediários, as culturas propriamente ditas, o serviço final e o produto das culturas, o benefício, Figura 2.1.

Contudo, apesar das diferentes definições dos serviços ecossistêmicos, de forma geral, o conceito é uma tentativa de entendimento da contribuição dos ecossistemas para o bem-estar da sociedade (Fisher et al., 2009).

Por esse motivo, a definição apresentada por MEA (2005) se tornou uma das mais comuns nas publicações que envolvem SE, definindo SE como os benefícios que as pessoas obtêm dos

ecossistemas, que são complexos em estrutura e função, e variáveis em tamanho, dinâmica e tempo.

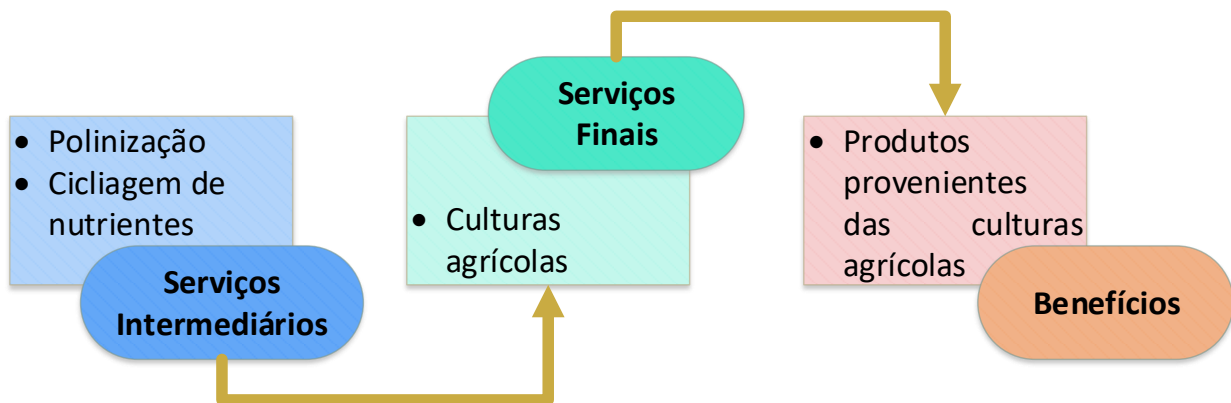


Figura 2.1 - Os serviços intermediários, serviços finais e benefícios

Fonte: Adaptado de FISHER et al., 2009

Andrade e Romeiro (2009) corroboram com tal definição e apresentam que SE são os benefícios diretos e indiretos que o homem obtém a partir do funcionamento dos ecossistemas, numa complexa rede de processos ecológicos os quais envolvem os vários componentes do meio ambiente. Sendo que os Ecossistemas poderiam ser brevemente definidos como uma complexa interação entre plantas, animais, microorganismos e ambiente, podendo ser ocupado ou não por pessoas (EPA, 2009).

Adicionalmente, segundo Veiga Neto (2008) que apresentou que Daily et al. (1997) foi um dos primeiros autores a abordar o conceito de SE como “os serviços prestados pelos ecossistemas naturais e as espécies que os compõem, na sustentação e preenchimento das condições para a permanência da vida humana na Terra”. Apresentando que a definição de Daily et. al (1997) é bastante similar a definição apresentada por MEA (2005), em que os serviços ecossistêmicos são “os benefícios que o ser humano obtém dos ecossistemas”, e vem sendo utilizada na literatura em geral, com pequenas variações (Nicholson et al., 2009).

Vários autores conceituaram os serviços ecossistêmicos, sendo que sinteticamente, podem ser apresentados, conforme destacam os tópicos a seguir.

- Constanza & Daily (1992) apresentaram que SE resultam das funções ecossistêmicas que, direta ou indiretamente, contribuem para o bem-estar social. Destacaram que existe um estoque limitado de capital natural capaz de sustentar

um fluxo limitado de SE, no artigo é feita uma análise sobre o crescimento econômico *versus* a sustentabilidade ambiental;

- Daily (1997) definiu que os serviços ecossistêmicos são condições e processos por meio dos quais os ecossistemas naturais e as espécies que os compõem sustentam a vida humana.
- Constanza et al. (1997) definiram os serviços ecossistêmicos como os benefícios que as populações humanas derivam, direta ou indiretamente, das funções dos ecossistemas.
- de Groot et al. (2002) definiram que SE são processos naturais que garantem a sobrevivência das espécies no planeta e têm a capacidade de prover bens e serviços que satisfazem necessidades humanas;
- Luck et al. (2003) apresentaram que SE pode ser visto como uma unidade prestadora de serviço;
- Daily e Farley (2004) definiram SE como sendo produtos de funções ecológicas ou processos que direta ou indiretamente contribuem para o bem-estar humano, ou têm potencial para fazê-lo no futuro, ou, como os benefícios da natureza para famílias, comunidades e economias. Esses autores apresentaram os processos ecológicos e os recursos expressos em termos de bens e serviços que eles fornecem;
- Wilkinson & Thompson (2006) definiu SE como sendo serviços para uso humano e outros organismos provenientes de ecossistemas, citando exemplos, tais como: oxigênio, alimento, água limpa etc;
- Boyd & Banzhaf (2006) apresentaram uma visão de que SE não são os benefícios, mas sim os componentes da natureza, diretamente aproveitados, consumidos ou usufruídos para o bem estar humano, destacando que recreação não deve ser considerado um SE;
- Collins e Larry (2007) definiram SE como recursos naturais que sustentam a saúde e o bem-estar humano;
- Fisher et al. (2008) definiram que SE não têm que obrigatoriamente ser utilizado pelo homem e que SE são os processos ecológicos ou funções que podem afetar o bem-estar humano;

- Fisher et al. (2009) destacaram que SE são os aspectos dos ecossistemas utilizados, ativa ou passivamente, para produzir bem estar humano;
- Andrade e Romeiro (2009) consideraram os serviços ecossistêmicos como fluxos de materiais, energia e informações derivados dos ecossistemas naturais e cultivados que, combinados com os demais tipos de capital (humano, manufaturado e social) produzem o bem-estar humano;
- Haines-Young e Potschin (2010) destacaram em contradição com a definição do MEA (2005) que SE são contribuições oferecidas ao bem-estar humano, mas não como prestação de serviço;
- Muradian et al. (2010) definiria SE como serviços providos por ecossistemas manejados ativamente;
- TEEB Foundations (2010) definiu SE como sendo as contribuições diretas ou indiretas dos ecossistemas para o bem-estar humano;
- Burkhard et al. (2012) caracterizaram os serviços ecossistêmicos como contribuições das estruturas e funções dos ecossistemas, que em combinação com outros fatores de produção, proporcionam o bem-estar humano;
- Farley (2012) definiu que SE são aspectos do ecossistema consumido e/ou utilizado para produzir bem estar humano;
- *World Wide Found* (WWF) (2014) definiu serviços ecossistêmicos como "benefícios prestados pela natureza e sistemas produtivos aos seres vivos" e serviços ambientais como "as atividades humanas de conservação e de recuperação dos ambientes naturais e por consequência dos serviços ecossistêmicos"

Essas são as definições mais usuais verificadas em pesquisas na literatura internacional, na América Latina e especificamente no Brasil, o termo Serviços Ambientais tem sido comumente utilizado pela sociedade em geral. Nos sistemas de compensações ambientais, por exemplo, é dito Pagamento por Serviços Ambientais e não Pagamento por Serviços Ecossistêmicos, pelo fato de se considerar os serviços ambientais como aqueles advindos de boas práticas agroambientais (Palhares e Gebler, 2014).

No Brasil, o termo “serviços ecossistêmicos” é muitas vezes utilizado como sinônimo do termo “serviços ambientais”. Não existe, ainda, na literatura um consenso sobre a adoção ou não

da diferenciação desses termos. Alguns trabalhos não fazem essa distinção. Embora reconheçam a diferença, adotam o termo serviços ambientais como um termo geral, englobando as duas definições (MMA, 2011).

Por outro lado, no Projeto de Lei sobre a Política Nacional de Pagamentos por Serviços Ambientais (PSA, PL 792/2007), essa diferenciação entre os dois termos ocorre. Os serviços ecossistêmicos são definidos como benefícios relevantes para a sociedade, gerados pelos ecossistemas e os serviços ambientais são aqueles que podem favorecer a manutenção, a recuperação ou o melhoramento desses benefícios. Um exemplo seria a recuperação e manutenção da mata ciliar (serviço ambiental) que auxilia na manutenção da provisão de água (serviço ecossistêmico). Assim, a principal diferença entre serviços ecossistêmicos e serviços ambientais é que, o primeiro conceito reflete os benefícios diretos e indiretos providos pelo funcionamento dos ecossistemas sem interferência humana, já o segundo se refere aos benefícios associados a ações de manejo do homem em sistemas naturais ou agroecossistemas.

Adicionalmente, do ponto de vista conceitual, temos algumas divergências quanto ao foco dado para observar o SE, conforme, descreveu Nahlik et al. (2012) existem duas filosofias distintas na definição dos SE: ou (1) são equiparados aos benefícios proporcionados pelo ecossistema, ou (2) são associados aos atributos do ecossistema que levam aos benefícios.

No Distrito Federal a nomenclatura “serviços ecossistêmicos” aparece na legislação que instituiu o ZEE-DF, que descreve os SE como sendo os bens e serviços fornecidos a partir dos ecossistemas naturais que beneficiam e mantêm o bem-estar humano (CLDF, 2019).

Assim, percebe-se que ainda se tem um campo de aprofundamento para explorar em termos de conceituação de SE, mas que de um modo geral a conceituação apresentada por MEA (2005) e Constanza et. al (1997) se tornaram as mais utilizadas em pesquisas.

2.1.2 Classificação e divisão por Categorização de Serviços Ecossistêmicos

Os SE englobam uma gama diversificada de benefícios que os seres humanos recebem dos ecossistemas, desempenham um papel central na sustentabilidade e qualidade de vida global. Para entender essa complexidade, várias abordagens de classificação foram desenvolvidas, cada uma proporcionando insights únicos sobre a relação entre ecossistemas e comunidades humanas.

MEA (2005) foi um marco seminal, resultado de uma colaboração internacional que avaliou os serviços ecossistêmicos em escala global. A MEA destacou a interdependência crítica entre os

ecossistemas e a prosperidade humana, evidenciando como os serviços de provisão, como alimentos e água, são fundamentais, assim como os serviços de regulação, incluindo controle de pragas e regulação climática. Seu impacto foi significativo, influenciando políticas e direcionando a atenção global para a necessidade premente de conservação.

Outras valiosas contribuições para a categorização e classificação dos SE tem origem no TEEB (2010) e da Classificação Compreensiva de Sistemas de Ecossistemas (CICES), (Potschin & Haines-Young, 2013; Haines-Young & Potschin, 2018). A TEEB estabelece quatro categorias, com algumas variações nos nomes de determinados serviços: serviços de provisão, serviços de regulação, serviços de habitat e serviços culturais e amenidades. Diferentemente da MEA, essa classificação não inclui o serviço de suporte, optando por destacar a importância dos ecossistemas ao fornecer habitat às espécies por meio do serviço de habitat.

A CICES tem como objetivo classificar as contribuições dos ecossistemas para o bem-estar humano, destacando os processos desenvolvidos por seres vivos. A versão mais recente (CICES 5.1) enfoca o ecossistema biótico, mas explicitamente inclui partes relacionadas ao sistema abiótico que contribuem para o bem-estar humano (Oliveira, 2022).

A Plataforma Intergovernamental de Políticas Científicas sobre Biodiversidade e Serviços Ecossistêmicos (IPBES) e seu derivado brasileiro a Plataforma Brasileira de Biodiversidade e Serviços Ecossistêmicos (BPDES) é uma continuação desse esforço. Ela fornece avaliações científicas, oferecendo informações que fundamentam decisões políticas em relação à biodiversidade e serviços ecossistêmicos em diferentes níveis de governança. A IPBES e BPDES destaca as interconexões entre biodiversidade, serviços ecossistêmicos e bem-estar humano, salientando a urgência de abordagens sustentáveis.

Em linhas gerais as classificações se diferenciam pela forma como tratam os serviços de regulação e suporte, sendo que nesse sentido se destacam as classificações propostas por MEA (2005) e CICES (2018). Assim, nesta tese serão abordados de forma um pouco mais abrangentes apenas essas duas formas de categorização de SE. Essa opção se justifica por em suma as abordagens posteriores ao MEA (2005) e CICES (2018) serem desdobramentos da proposta inicial, Quadro 2.1.

Quadro 2.1- Abordagem de SE e suas categorizações

Abordagem	Categorização
MEA (2005)	• Provisão • Regulação • Culturais • Suporte
TEEB (2010)	• Provisão • Regulação • Culturais • Habitat
CICES (2017)	• Provisão • Regulação e Manutenção • Culturais
BPBES (2019) / IPBES (2012)	• Regulação • Provisão (materiais) • Culturais (não materiais)

Fonte: Adaptado de Oliveira (2022)

Na abordagem proposta por MEA (2005) a classificação dos SE são tipicamente divididas em quatro categorias: serviços de regulação (ex. controle climático); serviços de provisão (ex. fornecimento de água, madeira, minérios e comida); serviços de suporte (ex. fotossíntese, ciclo de nutrientes e etc.) e serviços culturais (ex. recreacional, espiritual ou histórico) (Chelsea et al, 2015), Figura 2.2.

Serviços Ecossistêmicos		
Função	Definição	Exemplos
Regulação	Benefícios que as pessoas obtêm devido a regulação de processo naturais dos ecossistemas	Regulação climática, regulação de doenças, regulação biológica, regulação e purificação da água, regulação de erosão, regulação de danos naturais
Provisão	Produtos tangíveis obtidos dos ecossistemas que os seres humanos utilizam para a nutrição, processamento e geração de energia	Alimentos, água potável, madeira para combustível, bioquímicos, recursos minerais, recursos genéticos
Suporte	São os serviços necessários para a produção dos outros serviços ecossistêmicos	Formação de solo, produção de oxigênio, ciclagem de nutrientes, produção primária
Culturais	Benefícios intangíveis que as pessoas recebem dos ecossistemas em forma de experiências espirituais, educacionais e inspiração	Ecoturismo, recreação, valores espirituais e religiosos, valor estético, inspiração educacional, senso de localização, herança cultural

Figura 2.2 - Classificação e descrição dos serviços ecossistêmicos

Fonte: Adaptado de MEA (2003), Andrade e Romeiro (2009) e Kandziara et al. (2012).

Destaca-se que é por meio das funções ecossistêmicas que se dá a geração dos chamados SE. Uma função ecossistêmica passa a ser considerada um serviço ecossistêmico quando ela apresenta possibilidade/potencial de ser utilizada para fins humanos (Hueting et al., 1998). Funções ecossistêmicas podem ser definidas como as constantes interações existentes entre os elementos estruturais de um ecossistema, incluindo transferência de energia, ciclagem de nutrientes, regulação de gás, regulação climática e do ciclo da água (Daily e Farley, 2004).

Assim como os SE as funções ecossistêmicas também são agrupadas em quatro categorias primárias, são elas: funções de regulação; funções de suporte; funções de provisão; e funções do tipo Culturais (de Groot et al., 2002). As duas primeiras classes proporcionam suporte e manutenção dos processos e componentes naturais, contribuindo para a provisão das demais funções.

A proposta de classificação de SE pelo MEA (2005) foi uma iniciativa significativa, embora alguns autores expressem discordância em relação a determinados aspectos. Wallace (2007) e Boyd e Banzhaf (2007) argumentam que o MEA apresenta ambiguidades nas definições de funções ecossistêmicas e serviços ecossistêmicos. Esses autores observam que a categoria de serviço de suporte acaba por se sobrepor ao conceito de funções ecossistêmicas proposto por Costanza et al. (1997), uma vez que o estudo inclui funções ecossistêmicas, como a ciclagem de nutrientes, na seção destinada aos serviços de suporte. Essa ambiguidade, de acordo com esses autores, compromete as tomadas de decisão relacionadas aos ecossistemas, especialmente aquelas que envolvem percepções de valores associados aos SE.

A Figura 2.2 apresenta em síntese as funções ecossistêmicas e os SE relacionados, sendo que os mesmos podem ser descritos de modo mais detalhado, da seguinte forma.

- **Serviços de provisão** compreendem os produtos obtidos dos ecossistemas e que são oferecidos diretamente à sociedade, como alimentos e fibras naturais, água, madeira para combustível, material genético, entre outros.
- **Serviços de regulação** englobam os benefícios obtidos pela sociedade a partir da regulação natural dos processos ecossistêmicos, tais como a manutenção da qualidade do ar e o controle da poluição, por meio da regulação da composição dos gases atmosféricos; a regulação do clima; a regulação dos fluxos de água (ciclo hidrológico) e o controle das enchentes, evitando inundações e contribuindo para a recarga dos aquíferos; o controle da erosão; a purificação da água; a redução da incidência de

pragas e doenças pelo controle biológico, a regulação de danos naturais e a polinização de plantas agrícolas e silvestres.

- **Serviços culturais** são os benefícios não materiais obtidos dos ecossistemas, que contribuem para o bem-estar da sociedade, como enriquecimento espiritual e cultural, desenvolvimento cognitivo, reflexão sobre os processos naturais, oportunidades de lazer, ecoturismo e recreação.
- **Serviços de suporte** propiciam as condições necessárias para que os demais serviços possam ser disponibilizados à sociedade. Os benefícios ocorrem, em sua maioria, de maneira indireta, e se manifestam em longo prazo como a formação e a manutenção da fertilidade do solo, a produção de oxigênio, a ciclagem de nutrientes e a produção primária, que estão na base do crescimento e da produção. Nos demais serviços, os benefícios são diretos e, normalmente, ocorrem em prazos menores. Por exemplo, a sociedade não utiliza diretamente o serviço de formação do solo, embora alterações neste afetem indiretamente o bem-estar, porque alteram o fluxo do serviço de provisão.

Em termos de classificação de SE, MEA (2005) apresentou um método que foi depois reavaliado por de Groot (2002) e a Common International Classification of Ecosystem Services (CICES, Haines-Young & Potschin, 2018) apresentam as três categorias de serviços ecossistêmicos:

- Regulação e Manutenção, sendo composta por todas as formas de controle e modificação dos ecossistemas que afetam o bem-estar humano; são funções relacionadas à capacidade dos ecossistemas regularem processos ecológicos essenciais de suporte à vida, através de ciclos biogeoquímicos e outros processos da biosfera;
- Provisão que se refere a toda saída nutricional, material e energética dos ecossistemas; alimentos e fibras, madeira para combustível e outros materiais que servem como fonte de energia, recursos genéticos, produtos bioquímicos, medicinais e farmacêuticos, recursos ornamentais e água;
- Cultural que compõe todas as saídas não materiais dos ecossistemas com caráter simbólico, cultural ou intelectual que afetam o estado físico e mental das pessoas.

A "Classificação Internacional Comum de Serviços Ecosistêmicos" (CICES), conforme abordado por Haines-Young e Potschin (2013, 2018), foi desenvolvida para estabelecer um marco conceitual e uma estrutura classificatória consensual e atualizada para os SE. A iniciativa buscou superar a diversidade de modelos de organização de SE, visando facilitar a compreensão e a aplicação eficaz por gestores. Embora vinculada ao Sistema de Contabilidade Ambiental e Econômica (SEEA) liderado pela Divisão de Estatística das Nações Unidas (UNSD), a CICES foi amplamente adotada globalmente para pesquisa, indicadores e avaliação de SE, sendo reconhecida como marco tanto no Brasil quanto internacionalmente, apesar de algumas controvérsias sobre sua aplicabilidade.

A CICES adota uma abordagem hierárquica na classificação de serviços ecossistêmicos, categorizando-os em diferentes níveis, Seção (Provisão, Regulação e Manutenção e Cultural), Divisão, Grupo, Classe e Tipo de Classe. A versão V.5.1, publicada em 2018, detalha essa estrutura hierárquica (Haines-Young & Potschin, 2018).



Figura 2.3 - Sistema de Classificação CICES

Fonte: Ferraz et al., 2019 adaptada de Haines-Young & Potschin, 2018.

A estrutura conceitual da CICES baseia-se em um modelo em cascata, buscando classificar os serviços ecossistêmicos finais como contribuições diretas para o uso e bem-estar humano. Este modelo conecta de maneira lógica as estruturas e processos do ecossistema aos serviços que afetam diretamente o bem-estar humano, utilizando uma "cadeia de produção", Figura 2.3 (Araújo, 2022).

O modelo em cascata adota uma abordagem antropocêntrica, onde "valor", "benefício" e "SE final" estão relacionados ao beneficiário. No entanto, é essencial compreender que a valoração econômica do SE não é necessária, suficiente ou primordial para uma avaliação adequada das políticas públicas, como indicado por (Oliveira, 2022). O modelo também simplifica a complexidade do comportamento dos ecossistemas, não considerando compensações (*tradeoffs*) ou sinergias entre os SE, além de não abordar a possibilidade de um único ecossistema fornecer diferentes SE em momentos distintos.

Referências Bibliográficas

- Andrade, D. C.; Romeiro, A. R. Serviços ecossistêmicos e sua importância para o sistema econômico e o bem-estar humano. **Texto para Discussão**. IE/UNICAMP, Brasília, n. 155, 2009. ASSEL & CLDF. A força do entorno elaborado pela Assessoria Legislativa (ASEEL) da Câmara Legislativa do Distrito Federal (CLDF), 1999.
- Araujo, A. C. P. S. Serviços ecossistêmicos e o bem-estar humano da população local de Armação dos Búzios (RJ): uma abordagem integrada da qualidade ambiental e saúde humana para a gestão costeira (2022). Rio de Janeiro – RJ. **Tese de Doutorado**. Fundação Oswaldo Cruz, Escola Nacional de Saúde Pública Sérgio Arouca. 246f.
- Barnaud, C., Antona, M., Marzin, J., 2011. Vers une mise en débat des incertitudes associées à la notion de service écosystémique. *Vertigo – la revue électronique en sciences de l'environnement* **11**.
- Boyd, J. Banzhaf, S. (2006). What Are Ecosystem Services? The Need for Standardized Environmental Accounting Units. **Ecological Economics**. 63. 616-626. 10.1016/j.ecolecon.2007.01.002.
- Brasileiro, L. A. M. A mesma pressão, diferentes reações: serviços ecossistêmicos realizados por morcegos sob risco no Brasil. 2019. [111] f., il. **Dissertação (Mestrado em Ecologia)**—Universidade de Brasília, Brasília, 2019.
- Burkhard, B., Kroll, F., Nedkov, S., Müller, F. (2012). Mapping ecosystem service supply, demand and budgets. **Ecological Indicators**. 21. 10.1016/j.ecolind.2011.06.019.
- Chelsea B., Shannon R., Madeleine M., Building scenarios for ecosystem services tools: Developing a methodology for efficient engagement with expert stakeholders, **Futures**, Volume 81, 2016, Pages 68-80, ISSN 0016-3287, <https://doi.org/10.1016/j.futures.2015.10.014>. (Acesso em: 08/08/2020).
- CICES (Common International Classification of Ecosystem Services). (2018). Version 5.1. European Environment Agency.
- CLDF. LEI Nº 6.269, de 29 de janeiro de 2019. (2019). Câmara Legislativa Do Distrito Federal <https://www.zee.df.gov.br/lei-distrital-6-269-2019/>
- Collins, S. Larry, E.. (2008). Caring for Our Natural Assets An Ecosystem Services Perspective. **USDA**. Disponível em : https://www.fs.fed.us/ecosystemservices/pdf/collins_larry.pdf.
- Costanza, R. & Daly, H. E. Natural capital and sustainable development. *Conserv. Biol.* 6, 37– 46, 1992.
- Costanza, R.; d'Arge, R.; de Groot, R.S.; Farber, S.; Grasso, M.; Hannon, B.; Limburg, K.; Naeem, S.; O'Neill, R.V.; Paruelo, J.; Raskin, R.G.; Sutton, P.; van den Belt, M. 1997. The value of the world's ecosystem services and natural capital. **Nature**, 387: 253-260.
- Costanza, R., de Groot, R., Braat, L., Kubiszewski, I., Fioramonti, L., Sutton, P., ... & Grasso, M. (2017). Twenty years of ecosystem services: How far have we come and how far do we still need to go? *Ecosystem Services*, 28, 1-16.
- Daily, G.C., 1997. *Nature's Services: Societal Dependence on Natural Ecosystems*. Washington, **Island Press**, 412p.

- Daily, H. E., Farley, J. Ecological Economics: Principles and Applications. Ed. **Island Press**, ed. 2, p. 484. Washington, DC, 2004.
- de Groot, R. S., Wilson, A. M., Boumans, R. M. A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services. **Ecological Economics**, v. 41, p. 393-408, 2002.
- de Groot, R.; van der Perk, J.; Chiesura, A.; van Vliet, A. Importance and threat as determining factors for criticality of natural capital. **Ecological Economics** v. 44, p.187–204, 2003
- Ehrlich, P. R.; Mooney, H.A. 1983. Extinction, Substitution, and Ecosystem Services. **BioScience**, 33: 248-254.
- Farley, J. Ecosystem services: The economics debate. **Ecosystem Services**, v.1, p.40-9, 2012.
- Fisher, B., Turner, K., Zylstra, M., Brouwer, R., de Groot, R., Farber, S., Ferraro, P., Green, R., Hadley, D., Harlow, J., Jefferiss, P., Kirkby, C., Morling, P., Mowatt, S., Naidoo, R., Paavola, J., Strassburg, B., Yu, D. and Balmford, A. (2008), Ecosystem Services and Economic Theory: Integration for Policy-Relevant Research. **Ecological Applications**, 18: 2050-2067. doi:10.1890/07-1537.1
- Fisher, B.; Turner, R.K.; Morling, P. Defining and classifying ecosystem services for decision making. **Ecological Economics**, v.8, p. 643-653, 2009.
- Haines-Young, R., & Potschin, M. (2010). The links between biodiversity, ecosystem services and human well-being. In R. P. Singh, A. J. Raghubanshi, & R. S. Singh (Eds.), **Environmental Change and Sustainability** (pp. 159-180). Springer. doi:10.1017/CBO9780511750458.007.
- Helliwell, D.R., 1969: Valuation of wildlife resources. **Regional Studies** 3, 41–49.
- Hueting, Roefie, et al. "The concept of environmental function and its valuation." **Ecological economics** 25.1 (1998): 31-36.
- Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services (IPBES). (2019). Summary for Policymakers of the Global Assessment Report on Biodiversity and Ecosystem Services.
- King, R. T., 1966: Wildlife and man. **NY Conservationist** 20 (6), 8–11.
- Larigauderie, A.; Mooney, H. A. 2010. The Intergovernmental science-policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services: moving a step closer to an IPCC-like mechanism for biodiversity. **Current Opinion in Environmental Sustainability**, 2: 9-14.
- Luck, G., Daily, G., Ehrlich, P. (2003). Population diversity and ecosystem services. **Trends in Ecology & Evolution**. 18. 331-336. 10.1016/S0169-5347(03)00100-9.
- Millennium Ecosystem Assessment. 2005. Ecosystems and Human Well-Being: Synthesis. Washington, **Island Press**, 137p.
- MMA (2020). Serviços Ecológicos. Disponível em <<https://www.gov.br/mma/pt-br/assuntos/servicosambientais/ecossistemas-1/conservacao-1/servicos-ecossistemas/servicos-ecossistemas-1>> Acesso em novembro de 2021.
- Muradian, R.; Corbera, E.; Pascual U.; Kosoy N.; May, P. H. Reconciling theory and practice: an alternative conceptual framework for understanding payments for environmental services. **Ecological Economics**, Amsterdam, v. 69, n. 6, p. 1202-1208, 2010.

- Nahlik, A. M., Kentula, M. E., Siobhan Fennessy, M., Landers, H. H. Where is the consensus? A proposed foundation for moving ecosystem service concepts into practice, **Ecological Economics**, Volume 77, 2012, Pages 27-35, ISSN 0921-8009, <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2012.01.001>. (Acesso em: 08/08/2020).
- Oliveira, J. L.S. Serviços ecossistêmicos em áreas verdes urbanas no semiárido paraibano. João Pessoa, 2022. UFPB.CCEN. Tese de Doutorado.133f.
- Palhares, Julio Cesar Pascale; GEBLER, Luciano. Gestão ambiental na agropecuária. **Brasília, DF: Embrapa**, v. 2, p. 413-456, 2014.
- Potschin-Young, M., Haines-Young, R., Görg, C., Heink, U., Jax, K., & Schleyer, C. (2018). Understanding the role of conceptual frameworks: Reading the ecosystem service cascade. **Ecosystem Services**, 29, 428-440.
- Potschin, Marion, and Roy Haines-Young. "Landscapes, sustainability and the place-based analysis of ecosystem services." **Landscape Ecology** 28 (2013): 1053-1065.
- Rodríguez-Loinaz, G., Amezaga, I., Onaindia, M., 2012. Does forest fragmentation affect the same way all growth-forms? **J. Environ. Manage.** 94, 125–131. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2011.06.024>.
- Santos, R. F. D. O contexto histórico da definição conceitual de Serviços Ecossistêmicos. Ciclo de Conferências - 2014: **Serviços Ecossistêmicos – conceitos e valores**. São Paulo, 2014.
- Schumacher, E.F. 1973. Small is Beautiful: Economics as if People Mattered. London, **Blond and Briggs**, 288p.
- Tancoigne, E., Barbier, M., Cointet, J-P., Richard, G., 2014. The place of agricultural sciences in the literature on ecosystem services. **Ecosystem Services**. 10, 35-48.
- TEEB Foundations. P. Kumar (Ed.), The Economics of Ecosystems and Biodiversity: Ecological and Economic Foundations, **Earthscan**, London, Washington, 2010.
- Wallace, Jennifer. *The Cambridge introduction to tragedy*. **Cambridge University Press**, 2007.
- Westman WE. 1977. How much are nature's services worth? **Science**, 197: 960-963.
- Wilkinson, J., Thompson, J., 2006. Status Report on Compensatory Mitigation in the United States. **Environmental Law Institute**, Washington, DC.

2.2. Evaluating Road Management through the Ecosystem Services Approach: A Systematic Literature Review with Emphasis on Brazil

Artigo submetido à revista: Environment, Development and Sustainability, Springer.

<https://link.springer.com/journal/10668>

Classificação Qualis A2 para Geociências

2.3. Métodos de Apoio à Decisão Multicritério

O processo de tomada de decisão permeia de modo direto ou indireto qualquer ação, seja individual ou coletiva, como por exemplo algum tipo de organização, seja esta pública ou privada.

Sendo que as decisões são tomadas quando se escolhe fazer ou não fazer algo. Essas decisões relatam os objetivos das organizações, sejam planos de crescimento, implementação de estratégias, desenvolvimento político, dentre outros fatores que podem ser considerados. (Roy, 1986).

Cumprir dizer também que a sociedade tenta resolver os problemas complexos de tomada de decisão desde tempos mais remotos, apoiando-se em abstrações e raciocínios dedutivos, com o objetivo de orientar e validar as suas escolhas (Gomes *et al.*, 2004).

Esta necessidade crescente de aprimoramento do processo de tomada de decisão levou ao desenvolvimento de várias linhas de pesquisa e proposição conceitual para este processo. Entre estas, podemos destacar as metodologias Multicritério de Apoio à Decisão (*Multicriteria Decision Aid – MCDA*) que objetivam auxiliar analistas e decisores em situações nas quais há a necessidade de identificação de prioridades sob a ótica de múltiplos critérios, o que ocorre normalmente quando coexistem interesses em conflito (Gomes, 1999).

Em um problema multicritério é necessário, em primeiro lugar, estabelecer qual o objetivo da análise. Podendo ser definidas quatro problemáticas básicas que orientam os multicritérios: correta descrição do problema, hierarquização, escolha e alocação em classes. Para cada uma destas problemáticas são definidas as alternativas, os critérios, o método a ser usado e quem atua como decisor – aquele que emite juízos de valor sobre as alternativas e os critérios (Marins & Cozendey, 2005). Na presente pesquisa, a problemática enfrentada trata da hierarquização de áreas.

É importante salientar, que existem vários métodos desenvolvidos para a abordagem e tratamento de problemas com múltiplos critérios. No entanto, é possível identificar que se destacam dois grupos representativos de escolas citadas na literatura (Almeida & Costa, 2003):

- Escola americana: destaca-se a Teoria da Utilidade Multiatributo – *Multiple Attribute Utility Theory* (MAUT) – (Fishburn, 1970), *Analytic Hierarchy Process* (AHP) – (Saaty, 1980) e *Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique* (MACHBETH) – (Bana e Costa et al. 2003);

- Escola europeia ou francesa: destacam-se os métodos de sobreclassificação, em especial os da família *Elimination and Choice Translating algorithm (ELECTRE)* (Vincke, 1992; Yu, 1992) e família *Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations (PROMETHÉE)* (Brans e Vincke, 1985).

Existem outros métodos como, por exemplo a Matriz de Decisão, Redes Neurais e Algoritmos Genéticos, entre outros. Para facilitar a compreensão da peculiaridade dos métodos avaliados, foi elaborado o Quadro 2.2 que apresenta uma avaliação de vantagens e desvantagens referentes a alguns dos principais métodos de apoio à decisão.

Quadro 2.2 - Avaliação de vantagens e desvantagens entre os métodos de apoio à decisão

Método	Vantagens	Desvantagens
Matriz de Decisão	Método simples, de fácil aplicação e compreensão.	Método pouco robusto do ponto de vista matemático e apresenta dificuldades de conversão de escalas de dados diferentes, tem-se que utilizar parametrização de informações para cada uso específico
PROMETHÉE II	Método matemático, com boa robustez. Apresenta grande flexibilidade matemática para ser utilizado. Apresenta, também, uma parametrização e uniformização de escalas, dentro do próprio modelo.	Muitas informações para serem parametrizadas, tais como: função matemática de preferência, entre outros.
PLANO GAIA	Método matemático, com boa robustez. Apresenta grande flexibilidade matemática para ser utilizado. Apresenta, também, uma parametrização e uniformização de escalas, dentro do próprio modelo. Modelo gráfico para visualização do problema decisório. Elevado conhecimento sobre o modelo.	Muitas informações para serem parametrizadas, tais como: função matemática de preferência, entre outros.
Outros métodos da Escola Francesa de decisão, tais como o ELECTRE TRI, e outros da família PROMETHÉE	Método matemático, com boa robustez. Apresenta grande flexibilidade matemática para ser utilizado. Apresenta, também, uma parametrização e uniformização de escalas, dentro do próprio modelo.	Muitas informações para serem parametrizadas, tais como: função matemática de preferência, entre outros.
Métodos da Escola Americana de Decisão	Método matemático, com robustez moderada.	Método com elevado grau de subjetividade por ter que ser avaliada a relação de preferência par-a-par entre as alternativas, fato esse que eleva o grau de subjetividade.

Portanto, considerando o apanhado da literatura, resumido no Quadro 2.2, foi escolhido a utilização do modelo *Promethée II* nesta pesquisa, em razão de sua robustez matemática, pela grande flexibilidade matemática para ser utilizado no modelo e pelo próprio modelo apresentar parametrização e uniformização de escalas (Neumann, 2008). Deste modo, entre todos os métodos identificados só iremos abordar a Família *Promethée II*, uma vez que o estudo específico dos métodos de apoio à Decisão não é foco principal da presente pesquisa.

Entende-se que o *Promethée II* é uma alternativa interessante para atender a caracterização do modelo multicritério para hierarquizar as diversas alternativas com as informações que caracterizam a decisão, com o objetivo de priorizar áreas e consequentemente obter mapas de sensibilidade ambiental.

Almeida & Costa (2003) em sua pesquisa relatam que a família *Promethée* ao longo do tempo vem recebendo novas implementações que caracterizam diversos tipos de abordagem e aplicações práticas:

- *Promethée I* – que estabelece uma relação de hierarquização parcial entre as alternativas;
- *Promethée II* – que classifica as alternativas estabelecendo uma ordem completa entre as alternativas;
- *Promethée III* – que obtém uma ordem por intervalos por trabalhar com limites variáveis;
- *Promethée IV* baseia-se no *Promethée II*, mas eleva a possibilidade de se trabalhar com um número infinito de alternativas;
- *Promethée V* – também se baseia no *Promethée II*, sendo apropriado para o caso em que se deseja selecionar um subconjunto de alternativas em razões de restrições que sejam apresentadas pelo decisor;
- *Promethée VI* – auxilia o decisor na determinação dos pesos que serão atribuídos aos critérios, segundo suas preferências. Este método permite analisar o grau de complexidade do problema a ser decidido, em razão da possibilidade de verificação do maior ou menor grau de influência dos pesos dos critérios nos resultados finais.

Em que pese essas implementações nos métodos da família *Promethée*, identificou-se que o *Promethée II* se alinha melhor a problemática da pesquisa, uma vez que se optou por utilizar

pesos fixos, que descarta as opções dos métodos *Promethée* III e *Promethée* VI e que o número de alternativa é finito, portanto, não se adequando a proposta do *Promethée* IV.

O *Promethée* II é um método matricial que hierarquiza elementos estando, dessa forma, mais alinhado com a proposta da pesquisa e com a linguagem dos Sistemas de Informação Geográfica (SIG).

Segundo Brans et al. (1986) o *Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations* (*Promethée* - Brans e Vincke, 1985) é um método baseado na construção de uma relação de hierarquização de valores, destacando-se por envolver conceitos e variáveis com alguma interpretação física e/ou econômica.

Entende-se por hierarquização como uma ordenação de alternativas, baseada em um método de superação de alternativas em comparações par-a-par, com o intuito de selecionar ou ordenar um subconjunto de um conjunto finito de alternativas (Almeida e Costa, 2003)

Nas análises multicritério, existem 03 variáveis principais, os critérios que são os parâmetros a serem considerados para fins de análise de hierarquização, as alternativas a serem priorizadas e os pesos que podem ser considerados como os graus de importância dos critérios dentro da decisão.

Essas variáveis são importantes independentemente do método de apoio à decisão a ser utilizado e a caracterização de um método de apoio a decisão, passa necessariamente pela definição dessas variáveis.

Para facilitar a compreensão desses conceitos, apresenta-se que na presente pesquisa, os critérios são os Serviços Ecossistêmicos (SE) a serem analisados, as alternativas informações geoespaciais obtidas pelos mapas de referência de cada SE a ser avaliado e os pesos é a importância relativa atribuída a cada SE, por meio de questionários. Tais informações estão detalhados no Capítulo 3 e foram apresentadas neste momento apenas para apresentar um caso prático para exemplificar o conceito utilizado.

Assim, as alternativas consideradas de maior importância na sobreclassificação serão também as áreas de maior relevância ambiental na área de estudo.

Com o objetivo de demonstrar o método *Promethée*, apresenta-se breve detalhamento do método, destaca-se que foram utilizados como referência o desenvolvimento matemático apresentado por Ceolim (2005), sendo complementada por artigos e publicações dos desenvolvedores do método – Brans e Vincke (1985), do método *Promethée*, e a dissertação de mestrado apresentada por Neumann (2008).

Assim, o propósito do *Promethée* é fornecer, após sua configuração ou caracterização, uma ordem de preferência entre alternativas, sendo que para isso são necessárias algumas informações adicionais entre os critérios e informações entre critérios, tais como os pesos e as funções de preferência.

As informações entre critérios são estabelecidas por uma estrutura de pesos w_i , onde esses pesos são positivos e o maior peso (dado um critério particular) representa a maior importância deste sobre os demais.

Nas informações intracritérios, observa-se diferenças entre valores de mesmo critério para diferentes alternativas. São escolhidas as funções de preferência para decidir qual alternativa é melhor, em comparações par-a-par.

Cumprir apresentar que as funções de preferência representam o comportamento ou atitude do decisor frente às diferenças provenientes da comparação par-a-par entre alternativas para um critério. (Almeida e Costa, 2003)

Apresentou Vincke (1992) que o método de decisão multicritério *Promethée* visa estabelecer uma relação de hierarquização de valores mediante a avaliação das alternativas $f_1, f_2, \dots, f_k$, por meio de k critérios.

Segundo Brans & Mareschal (1999) um problema de decisão multicritério, consiste na aplicação da Equação (2.1), sendo essa uma função do tipo maximização de outras funções, que retorna a hierarquização de alternativas, utilizando funções de preferência.

$$Max\{F = [f_1(a), \dots, f_k(a)] \mid a \in A\} \quad (2.1)$$

Considerando para tal que os valores de A e F são apresentadas na Equação (2.2).

$$\begin{aligned} A &= \{a_1, a_2, \dots, a_n\} \\ F &= \{f_j(.), j = 1, 2, \dots, k\} \end{aligned} \quad (2.2)$$

Onde:

Max é uma função do tipo maximização de outras funções

A é conjunto de alternativas

a_n são os elementos do conjunto de alternativas de 1 a n alternativas possíveis

F é conjunto de critérios

f_j são as avaliações das alternativas em cada critério

As avaliações das alternativas pela ótica dos critérios podem ser representadas numa matriz G dada pela Equação (2.3).

Existe a opção de ser atribuída relação de maximizar ou minimizar para os critérios e não existe objeção em alternar essas relações dentro de uma mesma matriz G . A expectativa do decisor é obter uma solução que otimiza todos os critérios, mas isso dificilmente ocorre, pois geralmente não existe uma solução ótima para todos os critérios. (Almeida e Costa, 2003)

A ordenação das alternativas pode ser realizada com as relações de dominância e não dominância. Na relação de dominância uma alternativa domina a outra, (aDb) se $f_j(a) \geq f_j(b); j = 1, 2, \dots, k$ – com pelo menos uma função estritamente maior.

O objetivo de uma análise com o método *Promethée* é estabelecer uma ordem de preferência entre as alternativas.

$$G = \begin{bmatrix} f_1(a_1) & f_2(a_1) & \cdots & f_j(a_1) & \cdots & f_k(a_1) \\ f_1(a_2) & f_2(a_2) & \cdots & f_j(a_2) & \cdots & f_k(a_2) \\ \vdots & \vdots & & \vdots & & \vdots \\ f_1(a_j) & f_2(a_j) & & f_j(a_j) & & f_k(a_j) \\ \vdots & \vdots & & \vdots & & \vdots \\ f_1(a_n) & f_2(a_n) & \cdots & f_j(a_n) & \cdots & f_k(a_n) \end{bmatrix} \quad (2.3)$$

Onde:

G é Matriz de avaliação das alternativas sob a ótica dos critérios

$f_j(b); j = 1, 2, \dots, k$ representa a avaliação de cada alternativa em cada critério

As informações da matriz G , Equação (2.3), são utilizadas para gerar uma matriz H , Equação (2.14), que incorpora outras informações adicionais, que refletem a preferência do decisor entre cada par de alternativas, frente a todos os critérios.

Assim, para esclarecer do que se trata essas informações adicionais, se faz necessário apresentar novos conceitos, tais como funções de preferência e índices de preferência.

- **Função de Preferência**

A função de preferência contribui na ordenação da alternativa, auxiliando o modelo multicritério, nas comparações par-a-par entre as alternativas. Sendo que, para cada alternativa $a \in A$, $f(a)$ é uma avaliação dessa alternativa.

Na aplicação de problemas multicritério da escola francesa a utilização dessas funções é indispensável. Quando o decisor compara duas alternativas a e b , o resultado dessa comparação é expresso em forma de preferência. A função de preferência associada ao critério j é obtida pela função composta, definida pela Equação (2.4).

$$\begin{aligned} P_j: A \times A &\rightarrow [0,1] \\ P_j(a,b) &= \phi(d(a,b)) \end{aligned} \quad (2.4)$$

Onde:

A é matriz de alternativas

P_j é função de preferência associada ao critério j

e,

$d: A \times A \rightarrow R$, d função desvio

$(a,b) \rightarrow d(a,b) = f_j(a) - f_j(b)$

$\phi: R \rightarrow [0,1]$

A função P_j representa a intensidade de preferência quando se compara uma alternativa a com uma alternativa b , em que:

- $P_j(a,b) = 0$, significa que elas são indiferentes, ou seja, não tem preferência de a em relação à b ;
- $P_j(a,b) \sim 0$, significa uma preferência fraca de a em relação à b ;
- $P_j(a,b) \sim 1$, significa uma preferência forte de a em relação à b ;
- $P_j(a,b) = 1$, significa preferência total de a em relação à b .

Em problemas que o intuito é maximizar o critério, usa-se $d(a, b)$ na definição da função de preferência P_j e para minimizar o critério usa-se $-d(a, b)$ na definição da função de preferência.

- **Critério Generalizado**

Um critério generalizado f_j é formulado para cada critério se associa, sendo que o par $\{f_j(.), P_j(., .)\}$ é chamado critério generalizado associado ao critério $f_j(.)$ par. Logo, a avaliação da preferência de uma alternativa a em relação a uma alternativa b , é feita por meio da diferença entre as medidas de f_j em relação as duas alternativas, $f_j(a)$ e $f_j(b)$.

As funções de preferências são selecionadas pelo decisor conforme cada situação específica, englobando suas particularidades e necessidades. Na literatura são encontrados seis tipos de funções de preferências utilizadas no método *Promethée* apresentadas na Figura 2.13.

As funções de preferências são usadas no método *Promethée* auxiliando o decisor na associação dos critérios generalizados.

Num problema de maximização conforme apresentou Ceolim (2005), pode se apresentar:

- Na função do tipo 1, quando $f(a)$ for igual a $f(b)$ não existe preferência entre a e b . Quando esses valores forem diferentes, a preferência é total para a alternativa de maior valor.
- Na função tipo 2, quando a diferença entre $f(a)$ e $f(b)$ for menor que a variável q , consideram-se as indiferenças entre as alternativas. Para diferenças maiores ou iguais a q , a preferência é total.
- Na função tipo 3, quando a diferença entre $f(a)$ e $f(b)$ for menor que o variável p e maior que zero, a função de preferência assume valores percentuais de preferência em relação às alternativas a e b ; se a diferença for menor que zero se considera uma região de indiferença. Para diferenças superiores a p a preferência é total de a sobre b .
- Para a função tipo 4, não existe preferência entre a e b quando a diferença entre $f(a)$ e $f(b)$ for menor ou igual a q . Para os valores maiores que q e menores ou

iguais a p a função de preferência assume o valor igual a $\frac{1}{2}$, para os valores maiores que p a preferência é total.

- Na função tipo 5 a intensidade de preferência aumenta linearmente entre os valores q e p. Para valores menores ou iguais a q considera-se uma região de indiferença, para valores maiores ou iguais a p a preferência é total

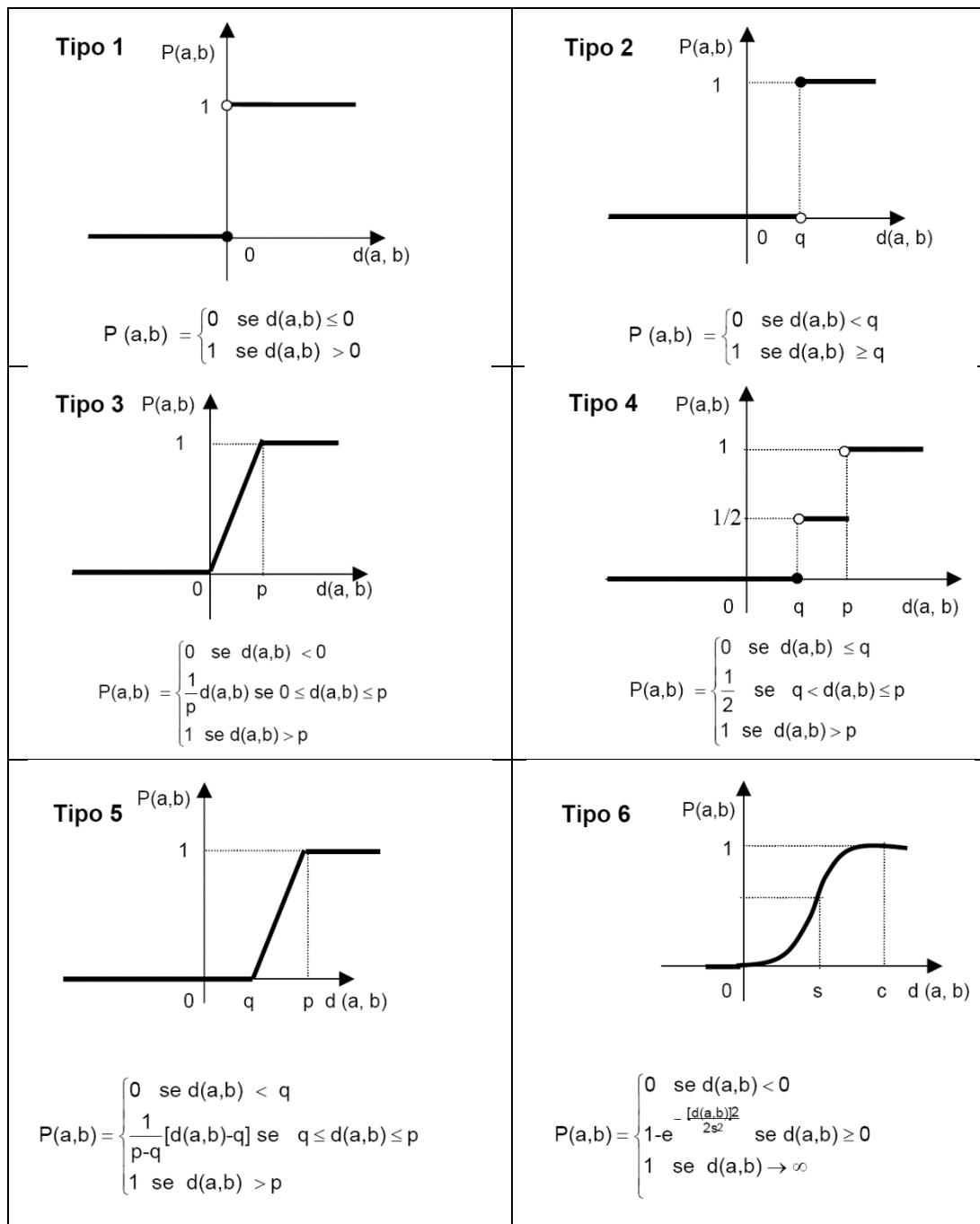


Figura 2.5 - Tipo de funções de preferência usadas no método Promethée
Fonte: Ceolim (2005)

- Na função tipo 6, a variável s corresponde ao desvio, da origem até o ponto de inflexão da curva. Se a diferença entre $f(a)$ e $f(b)$ for menor que zero, considera-se uma região de indiferença, caso contrário a função de preferência assume um valor relativo a função $P_j(a, b) < 1$ ou valor 1 quando $d(a, b) \rightarrow \infty$.

Cumpra-se que a atribuição dessas Funções de Preferência os valores das variáveis p , q e s são definidos pelo usuário ou decisor, com base em limites e restrições a serem observados para a manipulação matemática da função de preferência.

- **Índice de Preferência Multicritério**

O modelo *Promethée* foi desenvolvido utilizando como embasamento as comparações par-a-par de alternativas, tendo como primeira etapa para sua aplicação a definição do índice de preferência $\pi(a, b)$, sendo esse o somatório ponderado das preferências de cada critério, representado pela Equação (2.5).

$$\begin{aligned} \pi: A \times A &\rightarrow [0,1] \\ \pi(a, b) &= \sum_{j=1}^k w_j \cdot P_j(a, b) \end{aligned} \quad (2.5)$$

Onde:

$\pi(a, b)$ é o índice de preferência

a e b são alternativas em avaliação

$w_j > 0$ ($j = 1, \dots, k$) é chamado de peso associado ao critério j , sendo $\sum_{j=1}^k w_j = 1$

Estes valores podem ser representados numa matriz π ($n \times n$) chamada matriz de preferência

As propriedades para $\pi(a, b)$ são:

- $\pi(a, b) = 0$, significa que o índice de preferência de uma alternativa sobre ela mesma é zero.
- $0 < \pi(a, b) \leq 1, \forall a, b \in A$.

Quando:

$\pi(a, b) \sim 0$ significa uma preferência baixa da alternativa a em relação à alternativa b sob o ponto de vista de todos os critérios.

$\pi(a, b) \sim 1$ significa uma preferência alta da alternativa a em relação à alternativa b , sob o ponto de vista de todos os critérios.

A Figura 2.14 demonstra a relação de sobreclassificação entre alternativas, ou seja, são as avaliações $\pi(a, b)$ e $\pi(b, a)$ para todos os pares de alternativas $a, b \in A$.

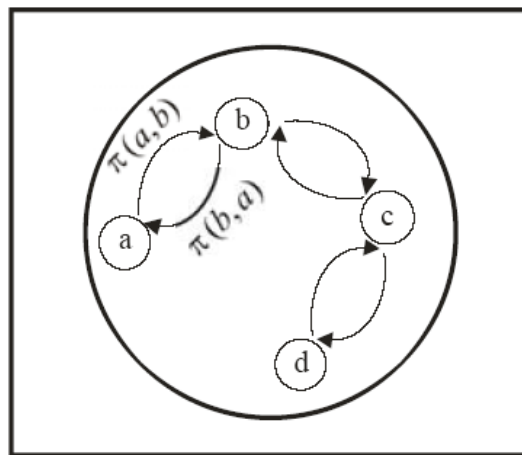


Figura 2.6 - Relação de sobreclassificação entre alternativas
Fonte: Brans & Mareschal (1999)

O índice de preferência permiti a avaliação de cada alternativa a , com $(n - 1)$ alternativas em A . Assim definem-se dois índices de importância, conforme pode ser observado nas Figuras 2.15 e 2.16, essas figuras demonstram de forma esquematizado a aplicação matemática das Equações (2.6) e (2.7).

$$\begin{aligned} \varphi^+ : A &\rightarrow [0,1] \\ a &\mapsto \frac{1}{n-1} \sum_{x \in A} \pi(a, x) \end{aligned} \quad (2.6)$$

Onde:

φ^+ é o índice de preferência positivo

A matriz de alternativas

a alternativa

$\pi(a, b)$ é o índice de preferência

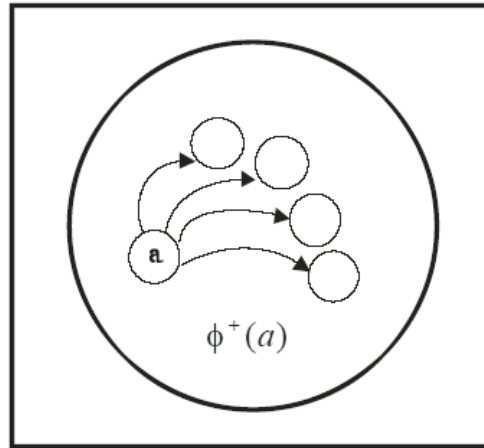


Figura 2.7 - Índice de preferência positivo
 Fonte: Brans & Mareschal(1999)

$\varphi^+(a)$ representa uma média da preferência da alternativa a em relação as demais alternativas, levando em consideração todos os critérios. Este valor é calculado pela média dos valores da linha associada à alternativa a na matriz de preferência π .

O índice de preferência negativo, Fig. 13, é dado pela Equação (7).

$$\begin{aligned} \varphi^-: A &\rightarrow [0,1] \\ a &\mapsto \frac{1}{n-1} \sum_{x \in A} \pi(x, a) \end{aligned} \quad (2.7)$$

Onde:

φ^- é o índice de preferência negativo

A matriz de alternativas

a alternativa

$\pi(a, b)$ é o índice de preferência

$\varphi^-(a)$ representa uma média da preferência de todas as alternativas em relação à alternativa a . Este valor é calculado pela média dos valores da coluna associada a alternativa a na matriz de preferência π .

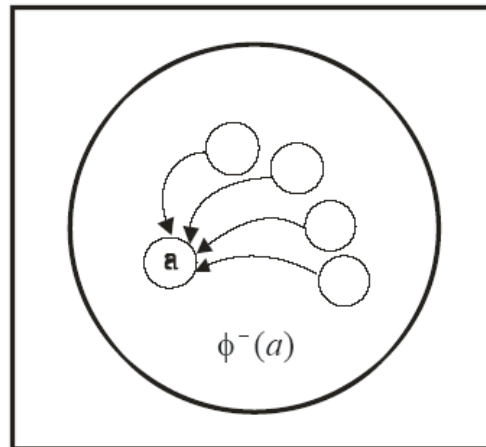


Figura 2.8 - Índice de preferência negativo
Fonte: Brans & Mareschal (1999)

Como pôde ser observado neste item os métodos multicritérios provenientes da escola francesa de decisão trabalham com relações matemáticas para o estabelecimento das relações de dominância entre as alternativas nas avaliações par-a-par, diferentemente dos métodos da escola americana que trabalham com as matrizes semânticas.

Essas relações matemáticas auxiliam ao apoio à decisão quando o caso a ser estudado tem como característica um conjunto de decisores ou quando o estudo é uma pesquisa de opinião, pois este método reduz a quantidade de itens a serem questionados aos grupos alvos da pesquisa.

Nesses termos, destaca-se que o *PROMETHÉE* possui algumas versões que vão ser melhor detalhadas nos itens a seguir.

- ***Promethée I***

Em situações em que existem duas alternativas a e b pode ser utilizado expressão preferência (P), quando prefere uma delas em relação a outra; indiferença (I), quando uma é indiferente; e incomparabilidade (J), quando o decisor tem dificuldade em compará-las, não expressando nem preferência nem indiferença.

Essas relações {P, I, J} formam uma estrutura de preferência no conjunto A . Para qualquer par (a, b) de A , uma e somente uma das propriedades é verdadeira: aPb , aIb , aJb .

Por meio dos índices de preferências positivo e negativo é possível a dedução de uma hierarquização das alternativas, ou seja, uma classificação parcial obtido com o auxílio da Equação (2.8).

$$\begin{aligned}
aPb, \text{ se } & \begin{cases} \varphi^+(a) > \varphi^+(b) & e & \varphi^-(a) < \varphi^-(b) & ou \\ \varphi^+(a) = \varphi^+(b) & e & \varphi^-(a) < \varphi^-(b) & ou \\ \varphi^+(a) > \varphi^+(b) & e & \varphi^-(a) = \varphi^-(b) \end{cases} \\
alb, \text{ se } & \varphi^+(a) = \varphi^+(b) \quad e \quad \varphi^-(a) = \varphi^-(b) \\
& alb, \text{ caso contrário}
\end{aligned} \tag{2.8}$$

Onde:

φ^+ é o índice de preferência positivo

φ^- é o índice de preferência negativo

A matriz de alternativas

a alternativa

$\pi(a, b)$ é o índice de preferência

Na aplicação desta versão do *PROMETHÉE* é possível não poder comparar alternativas, quando os Índices de Preferência são estatisticamente equivalentes. Esse foi um dos motivos que levou os pesquisadores a desenvolverem a versão II.

- **Promethée II**

No *PROMETHÉE* II obtém-se uma classificação total das alternativas, definido pela Equação (2.9).

$$\varphi(a) = \varphi^+(b) - \varphi^-(a) \tag{2.9}$$

Onde:

φ é o índice de preferência total

φ^+ é o índice de preferência positivo

φ^- é o índice de preferência negativo

A classificação total é dada pela Equação (2.10).

$$\begin{aligned}
aPb \text{ se } & \varphi(a) > \varphi(b) \\
alb \text{ se } & \varphi(a) = \varphi(b)
\end{aligned} \tag{2.10}$$

Onde:

φ é o índice de preferência total
a alternativa

As alternativas agora são comparáveis, uma vez que uma parte delas se perde por se considerar as diferenças entre $\varphi^+(a)$ e $\varphi^-(a)$.

Na presente pesquisa foi utilizado o *Promethée II*, com as Funções 1, 3 e 5, nos termos do Figura 2.10 (item, pag. 35), as referidas funções também são chamadas na literatura de Step, V-Shape e Linear, respectivamente.

Referências Bibliográficas

- Almeida, A.T.; Costa, A.P.C.S. Aplicações com métodos multicritério de apoio à decisão. Recife: Universidade Federal de Pernambuco, 2003.
- Bana e Costa, Carlos & De Corte, Jean-Marie & Vansnick, Jean-Claude. MACBETH. (Overview of MACBETH multicriteria decision analysis approach). International Journal of Information Technology and Decision Making. 11. 359-387, 2003.
- Brans, J.P.; Mareschal, B.; Multicriteria Decision-Aid: The PROMETHÉE-GAIA solution. Pesquisa Operacional, v.19, n.1, p.1-25, 1999.
- Brans, J.P. and Vincke, P. (1985) A Preference Ranking Organisation Method: (The PROMETHÉE Method for Multiple Criteria. Decision-Making). Management Science, 31, 647-656.
- Brans, J.P.; Vincke, Ph., Mareschal, B. How to selected and how to rank projects: The PROMETHÉE method. European Journal of Operational Research, v. 24, p.228-238, 1986.
- Ceolim, A. J. Aplicação de Metodologias Multicritério na Avaliação dos Cursos da UNESPAR/FECILCAM. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 2005. Dissertação de Mestrado.
- Fishburn, Peter C. Utility theory for decision making. New York: Wiley and Sons, 1970.
- Gomes, E.G. Integração entre Sistemas de Informação Geográfica e Métodos Multicritério no Apoio à Decisão Espacial. Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ, 1999. Dissertação de Mestrado.
- Gomes, L. F. M. A.; Araya, M. C. G.; Carignano, C. Tomada de decisões em cenários complexos. São Paulo: Pioneira, 2004.
- Marins, C. S.; COZENDEY, M. I. A metodologia de multicritério como ferramenta para tomada de decisões gerenciais: um estudo de caso. In: Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 25, Porto Alegre, 2005.
- Miloca, S. A., Aplicação da teoria de correlação canônica e método PROMETHÉE num problema de qualidade industrial do trigo. Curitiba, UFPR 2002.
- Neumann, A. G. Modelo Multicritério no Processo de Seleção de Subempreiteiros na Construção Civil, 158p., (ENC/FT/UnB, Mestre, Estruturas e Construção Civil, 2008). Dissertação de Mestrado – Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia.
- Roy, B. Main Sources of Determination, Uncertainty and Imprecision in Decision Models. Mathl. Comput. Modelling, v. 12, n10/11, p. 1245-1254, 1986.
- SAATY, T. L. The Analytic Hierarchy Process. N. York, USA: McGraw-Hill, 1980.
- Sobral, F. N. C. Programação em dois níveis: reformulação utilizando as condições KKT. São Paulo: Curso de pós-graduação do Instituto de Matemática e Estatística, 2008. Universidade de São Paulo. São Paulo. Dissertação de Mestrado.
- Vincke, P. Multicriteria Decision-Aid. John Wiley, 1992.
- Yu, W. ELECTRE TRI Aspects Méthodologiques et Guide d'Utilisation Document du LAMSADE, 74, Université de Paris Dauphine, Avril, 1992.

Capítulo 03 - Materiais e Métodos

O presente capítulo apresenta os materiais e métodos utilizados na presente Tese de Doutorado. Sendo dividido em 03 etapas, nos termos da Figura 3.1, a saber: Pesquisas Bibliográfica (estado da arte), item 3.1, Proposta Metodológica, item 3.2, Avaliação em Estudo de Caso, item 3.3 e Guia do Protocolo Operacional para utilização da Metodologia Proposta, item 3.4.

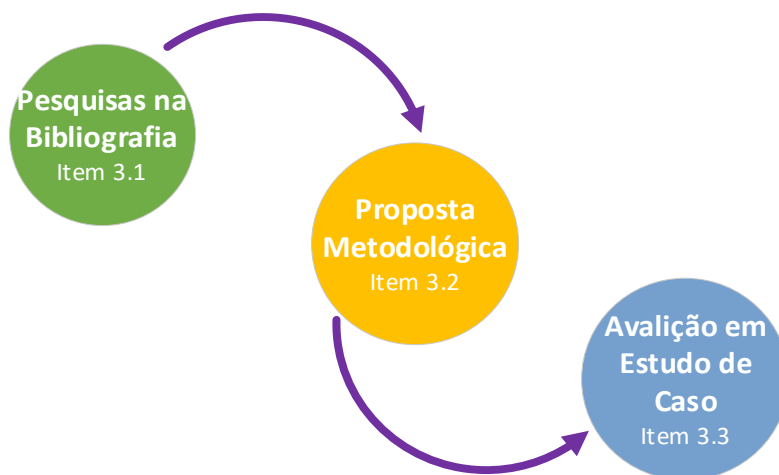


Figura 3.1 - Etapas da pesquisa
Fonte: o autor

3.1. Pesquisa Bibliográfica (estado da arte)

Inicialmente, foi realizada uma pesquisa da bibliografia disponível, sendo analisadas as principais produções científicas sobre o tema em estudo, com o intuito de avaliar o estado-da-arte, com foco na busca da inserção dos objetivos da pesquisa e dos principais caminhos referentes ao tema baseado em técnicas bibliométrica (Clivelente, 2019).

A bibliometria é o estudo dos aspectos quantitativos da produção, disseminação, socialização e evidenciação da informação registrada (Macias-Chapula, 1998).

A análise bibliométrica utiliza uma série de técnicas de pesquisa cujo foco é mensurar, de forma quantitativa, as publicações científicas de determinado tema (baseado em palavras chaves) ou mesmo de um autor ou Instituto de Ensino Superior (IES) publicados em periódicos acadêmicos com seleção arbitrada (Prichard, 1998; Souza, 2013), por meio de padrões e métodos matemáticos e estatísticos (Francisco, 2011), usando, com isso, seus resultados para preparar previsões, reflexões e apoiar a tomada de decisão quanto ao tema de estudo (Borba et al 2011).

Assim, a bibliometria emprega procedimentos metodológicos que desempenham um papel fundamental na pesquisa quantitativa, fornecendo uma base sólida para a análise de contextos específicos. Isso contribui significativamente para o aprofundamento das discussões em relação ao conteúdo analisado. Destaca-se que as abordagens bibliométricas são essenciais na condução de revisões da literatura (estado da arte), auxiliando na análise de dados, na verificação de hipóteses e no embasamento das investigações dos pesquisadores, propiciando determinar o caráter inovador, a identificação de lacunas científicas e a inserção da pesquisa no contexto científico e aplicado atual.

A análise bibliométrica também auxilia no exame do vínculo institucional dos autores, das redes de colaboração entre universidades, da localização geográfica das instituições e da classificação das referências utilizadas (Schmitz et al, 2013). É importante ressaltar que a comunicação por meio de periódicos acadêmicos é a principal maneira pela qual os pesquisadores compartilham os resultados de suas investigações (Urbizagastegui, 2016), portanto é o meio pelo qual avalia-se a inserção da pesquisa proposta. Em outras palavras, permitem avaliar inserção da pesquisa em relação aos novos padrões exigidos para as publicações, visando uma maior aceitação, visibilidade e reconhecimento das pesquisas desenvolvidas (Sales et al. 2022).

Observa-se um crescente interesse da comunidade acadêmica em compreender a estrutura intelectual das produções acadêmicas nacionais e internacional, permitindo assim, um melhor entendimento do quadro científico e posicionamento da pesquisa a ser realizada, podendo promover ao “grupo de pesquisa” a identificação de seu posicionamento no quadro científico. Isso se reflete na produção de inúmeros estudos abordando uma ampla gama de temas e técnicas de análise principalmente nos artigos de revisão - reviews (Graeml e Macadar, 2010).

Neste contexto, para construção do estado da arte e análise da inserção desta pesquisa foi utilizada a proposta apresentado por Mariano & Rocha (2017), no qual apresentam a proposta metodológica “Teoria do Enfoque Meta Analítico” (TEMAC). Trata-se de um método que começa com a preparação da pesquisa, seguido da apresentação e interrelação dos dados e detalhamento, sendo um modelo integrador e de validação por evidências.

Seguindo a proposta metodológica do TEMAC e pelas pesquisas realizadas utilizou-se as bases de dados do *Web of Science*, acessado por meio da plataforma CAF-e-CAPES – Periódicos Capes, dado que essa base é bem estruturada, contendo os principais periódicos e por ser a principal base empregada nos estudos bibliométricos.

Existem outras bases de dados como a SCOPUS e a Google acadêmico, por exemplo. A base

Scopus tem uma ampla sobreposição com a *Web of Science* e sua estrutura é nem sempre adequadas para este tipo de investigação. Já O Google acadêmico não tem nenhuma estruturação e apresenta muitos trabalhos e estudos que não são avaliados pelos pares ou de baixa “importância” e de interesse muito localizado.

Assim, definimos como argumento de pesquisa na base de dados do *Web of Science*, com o argumento de pesquisa “*Ecosystem Services*”, em seguida foram utilizados refinamentos por categorias, sendo essas Green & Sustainable Science & Technology, Environmental Studies; Environmental Sciences, Environmental Engineering, Ecology, Biodiversity Conservation”, em seguida foi realizados filtros por tipo de documento, com os argumentos “Article e Review Article”.

Por sequência, foi realizado também o filtro com argumento de pesquisa com publicações no período que compreende os anos de 2013-2022 e 2018-2022.

Para avaliação das pesquisas frente ao tema, a extração da base de dados no *Web of Science* se limita a 500 artigos científicos, assim sendo, para alcançar esse limite, aplicou-se ordenamento dos artigos com base no seu número de citações. Sendo selecionados para fins de análise de dados os 500 artigos mais citados.

Nesses termos, com essa base de dados, foram analisadas as principais citações e as co-citações, que pode ser definido como a frequência que dois documentos são citados juntos por outros documentos, essas informações foram muito importantes para subsidiar quais as principais bibliografias que tratam do tema, para fins de composição da Revisão da Literatura.

Outra análise importante, foi a de acoplamento das pesquisas ou “*coupling*” que ocorre quando duas produções científicas referenciam um terceiro trabalho em comum, essa análise, bem como a avaliação de quais as palavras mais recorrentes foram utilizadas para avaliar quais os principais grupos de pesquisa sobre Serviços Ecossistêmicos, os quais indicam os principais caminhos atuais de pesquisas e consequentemente o Estado-da-Arte.

Importante dizer que para análise de dados de “*coupling*” foi utilizado o intervalo temporal de 2018-2022, dado que os grupos de pesquisa podem se reorganizar ao longo do tempo, por tanto optou-se, com base na proposição do TEMAC, por utilizar o intervalo menor para fins de pesquisa de informação.

As etapas podem ser visualizadas pela Figura 17 que apresenta o fluxograma utilizado para fazer tais pesquisas.

Para elaboração e visualização dos mapas apresentados na Revisão da Literatura foi utilizado o *software* VOSviewer® (Van Eck et al. 2010).

Adicionalmente, foram realizadas pesquisas em outras bases de dados, tais como Scielo, Google Scholar e diversas bibliotecas virtuais das principais universidades, no entanto, para fins de avaliação meta analítica utilizou-se somente a base do *Web of Science*.

Nesses termos, com base nessas informações obtidas, foi realizada a pesquisa nas principais bibliografias disponíveis, que culminou na elaboração do artigo Evaluating Road Management through the Ecosystem Services Approach: A Systematic Literature Review with Emphasis on Brazil.

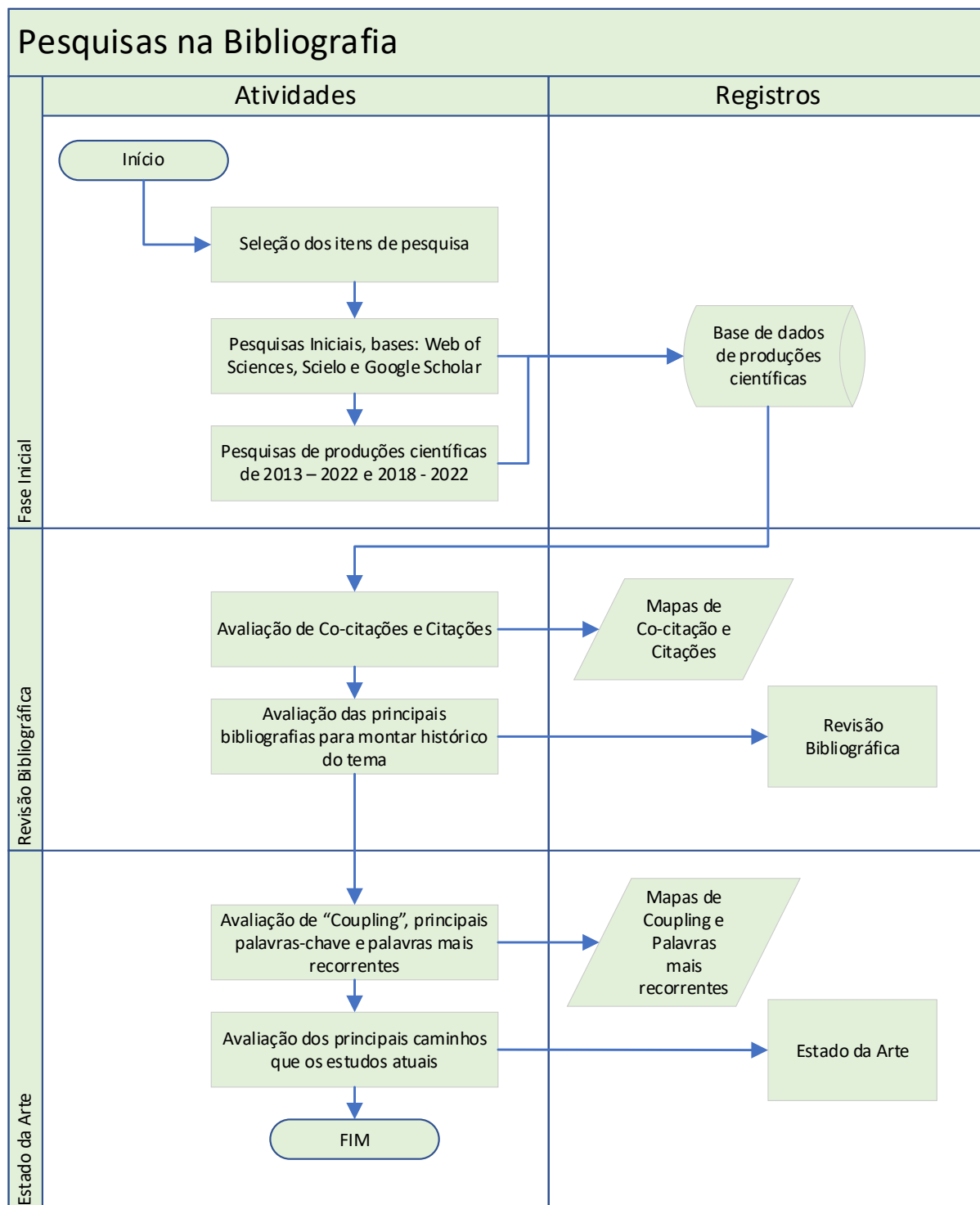


Figura 3.2 - Modelo Conceitual para Pesquisa da Bibliografia
 Fonte: o autor

3.2. Proposta Metodológica

Do ponto de vista prático, a presente pesquisa tem por propósito utilizar a abordagem de Serviços Ecossistêmicos (SE) para avaliar ambientalmente os empreendimentos rodoviários a partir da aplicação da análise Multicritério de Apoio à Decisão *Promethée II*, para tanto, foi utilizado a sequência de etapas apresentada na Figura 3.3.

A proposta metodológica do estudo foi dividida basicamente em 03 (três) etapas, descritas como Identificação dos Serviços Ecossistêmicos, Caracterização do Modelo Multicritério e Avaliação de Sensibilidade Ambiental.

A formulação matemática utilizada, bem como o Método *Promethée II*, está descrito no item 2.2 do Capítulo 2.

Na etapa de Identificação dos SE foi realizada seleção e definição de indicadores, aquisição de dados e construção da base de dados, relacionados a SE, sendo que foi nessa etapa que foram avaliados quais SE eram mais interessantes para se fazer uma avaliação e para elaboração dos mapas de sensibilidade ambiental de áreas.

Já na etapa de Caracterização do Modelo Multicritério foram selecionados todos os critérios, a elaboração dos questionários, com vistas a definição de pesos, definição de alternativas, caracterização do modelo e em seguida a avaliação da hierarquização de alternativas.

Na etapa de Avaliação de Sensibilidade Ambiental foi realizada a definição da função de sensibilidade (utilizando o modelo multicritério), o cálculo da sensibilidade e a geração dos Mapas de Sensibilidade Ambiental.

Vale apresentar novamente que com os Mapas de Sensibilidade Ambiental, temos 03 objetivos principais, já identificados no Capítulo 1 desta pesquisa, o primeiro é subsidiar os empreendedores na fase de planejamento ambiental do empreendimento, o segundo é auxiliar como dado de entrada na etapa de definição de proposta de traçados rodoviários e o terceiro é subsidiar os órgãos de licenciamento ambiental a indicar ações mais efetivas em áreas mais sensíveis aos empreendedores, tornar o processo mais eficiente.

Cumprir dizer que para alcançar o objeto proposto só é possível em razão do desenvolvimento aplicações (ferramentas de geotecnologias) e a facilidade de acesso a bases de dados atualmente disponíveis, principalmente oficiais.

Quanto as bases geoespaciais, tanto para a geração dos mapas de entrada no sistema, quanto para o estudo de caso, utilizou-se bases de dados gratuitas disponíveis em sítios

eletrônicos, não necessitando de autorizações especiais, o detalhamento da aquisição dos dados se encontra no Quadro A.III-02. Aquisição de dados, do Apêndice II.

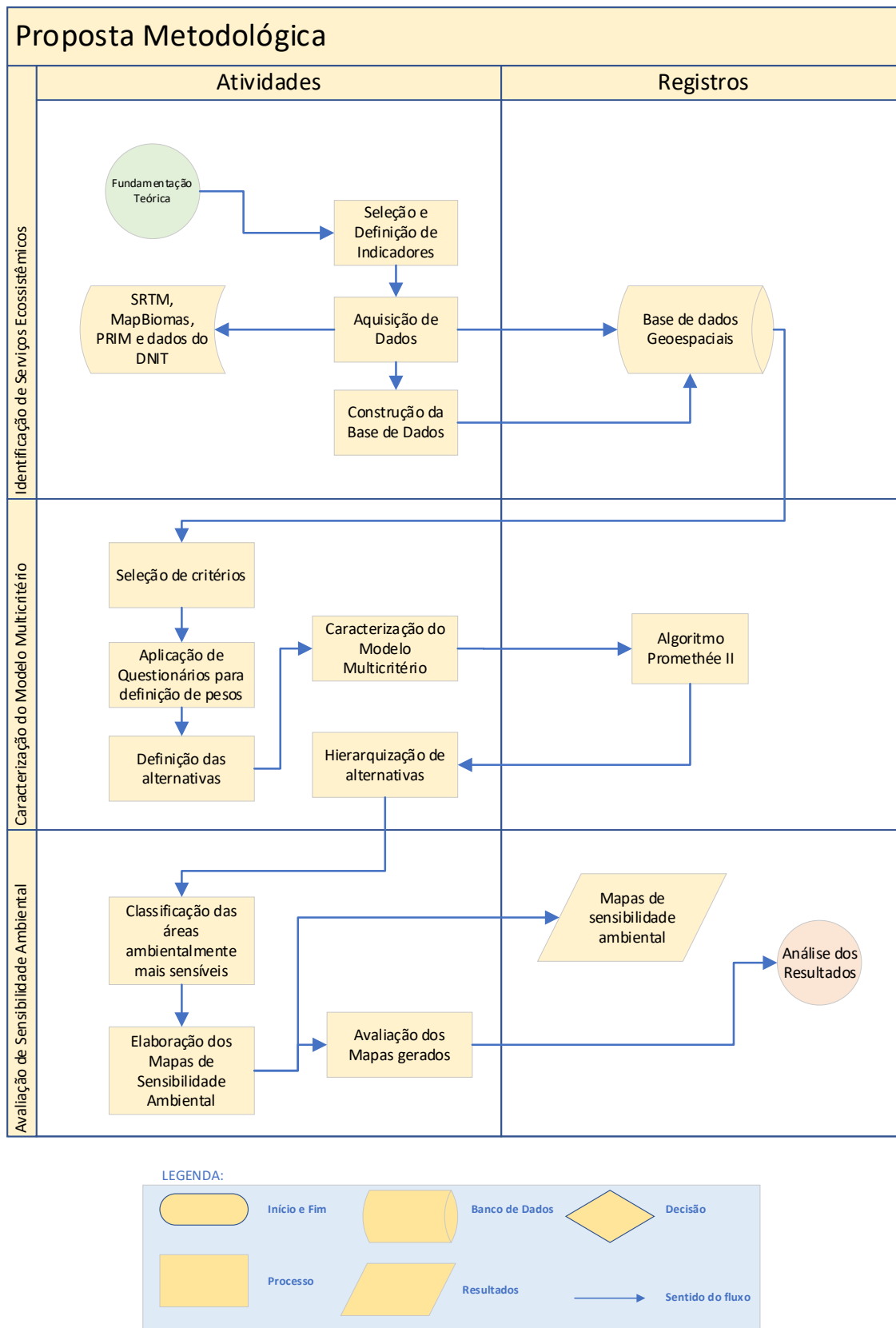


Figura 3.3- Modelo Conceitual da Pesquisa
Fonte: o autor

3.2.1. Identificação e Seleção dos Serviços Ecossistêmicos

A definição de Serviços Ecossistêmicos (SE) utilizada na presente pesquisa é a apresentada por MEA (2005) que descreve que SE são os benefícios que as pessoas obtêm dos ecossistemas, os quais são complexos em estrutura e função, e variáveis em tamanho, dinâmica e tempo (MEA, 2005).

Para a hierarquização e classificação dos SE que compuseram a pesquisa foi utilizada como ponto de partida a categorização proposta por MEA (2005), a saber: suporte, regulação, provisão e cultural, conforme detalhamento a seguir.

- **Serviços de regulação** englobam os benefícios obtidos pela sociedade a partir da regulação natural dos processos ecossistêmicos, tais como a manutenção da qualidade do ar e o controle da poluição, por meio da regulação da composição dos gases atmosféricos; a regulação do clima; a regulação dos fluxos de água (ciclo hidrológico) e o controle das enchentes, evitando inundações e contribuindo para a recarga dos aquíferos; o controle da erosão; a purificação da água; a redução da incidência de pragas e doenças pelo controle biológico, a regulação de danos naturais e a polinização de plantas agrícolas e silvestres.
- **Serviços de provisão** compreendem os produtos obtidos dos ecossistemas e que são oferecidos diretamente à sociedade, como alimentos e fibras naturais, água, madeira para combustível, material genético, entre outros.
- **Serviços de suporte** propiciam as condições necessárias para que os demais serviços possam ser disponibilizados à sociedade. Os benefícios ocorrem, em sua maioria, de maneira indireta, e se manifestam em longo prazo como a formação e a manutenção da fertilidade do solo, a produção de oxigênio, a ciclagem de nutrientes e a produção primária, que estão na base do crescimento e da produção. Nos demais serviços, os benefícios são diretos e, normalmente, ocorrem em prazos menores. Por exemplo, a sociedade não utiliza diretamente o serviço de formação do solo, embora alterações neste afetem indiretamente o bem-estar, porque alteram o fluxo do serviço de provisão.
- **Serviços culturais** são os benefícios não materiais obtidos dos ecossistemas, que contribuem para o bem-estar da sociedade, como enriquecimento espiritual e cultural,

desenvolvimento cognitivo, reflexão sobre os processos naturais, oportunidades de lazer, ecoturismo e recreação.

A figura 3.4 apresenta as etapas para identificação dos SE.

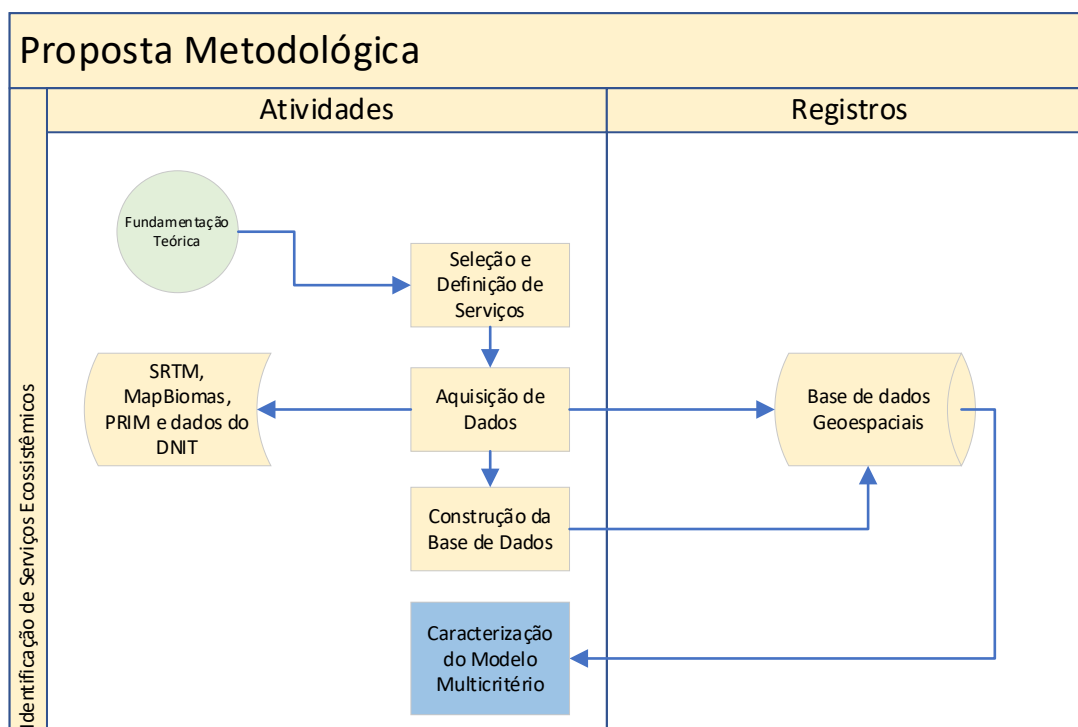


Figura 3.4 - Modelo Conceitual da Pesquisa - Identificação de Serviços Ecossistêmicos
Fonte: o autor

3.2.1.1. Seleção e definição de indicadores

A partir da proposta de MEA (2005) foram filtrados e selecionados os SE a serem implementados e seus respectivos indicadores. Todas as seleções foram baseadas nos possíveis impactos que o SE sofreria com a implantação de rodovias. Também foram utilizados como referências as propostas de Constanza et. al. (1997) e Longo & Rodrigues (2017), com adaptações e complementações.

Em que pese o artigo apresentado por Longo & Rodrigues (2017) seja referente a implantação de reservatórios, no entanto, foi identificada semelhança em termos de SE com os empreendimentos rodoviários.

Os SE apresentados pelos autores foram complementados, com base em avaliações de licenciamentos ambientais conduzidos pelo órgão ambiental federal – o Instituto Brasileiro de

Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (Ibama) – em relação a obras rodoviárias executadas pelo Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT).

Sendo escolhidos SE relevantes ao licenciamento ambiental e que geralmente demandam elevado impacto no andamento do procedimento de licenciamento, a exemplo de interferência em Comunidades Indígenas e Quilombolas. Para fins de avaliação de impacto no procedimento de licenciamento foi utilizada a experiência do autor na Coordenação-Geral de Meio Ambiente do DNIT.

Assim sendo, para serviços do tipo regulação, foram selecionados: regulação de condições de microclima; manutenção de fluxo hidrológico natural; capacidade natural de retenção de erosões; regulação de absorção de material pulverulento; regulação natural de ruído; manutenção da qualidade natural da água e manutenção de cavidades naturais.

Para os serviços do tipo provisão foram selecionados a disponibilidade de água para dessedentação e irrigação; provimento de recursos naturais de biodiversidade de fauna; provimento de materiais minerários e provimento de recursos naturais disponíveis na natureza.

Para a categoria dos serviços do tipo suporte, foram selecionados os serviços de suporte a condições de manutenção da biodiversidade; armazenamento de nutrientes; e suporte à instalação de infraestrutura e suporte de condições topográficas.

E, para os serviços do tipo cultural foram selecionados os do tipo: potencial de conforto visual (apreciação da natureza); compatibilidade com ecoturismo e recreação; guarda de material histórico e espiritual; Guarda condições históricas e tradicionais indígenas; Guarda condições históricas e tradicionais quilombolas e Guarda condições históricas e tradicionais de comunidades em geral.

O detalhamento dos SE pode ser verificado no Quadro 3.1 – Regulação, Quadro 3.2 – Provisão, Quadro 3.3 – Suporte e Quadro 3.4 – Cultural, onde também é apresentado, o Serviço Ecosistêmico, Indicadores, sua Descrição, Dado a ser Analisado, Conversão do dado utilizado, se for o caso – esse procedimento será mais bem detalhado no item 3.3.1.2 Construção da Base de Dados e no Apêndice II – Procedimento Operacional utilizando na pesquisa, os valores, Aquisição do Dado e sua Resolução ou Escala.

As colunas de dados do tipo “Valores” dos Quadros 3.1, 3.2, 3.3 e 3.4 foram construídos a partir de pesquisas com especialistas do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT).

Regulação

Os Serviços Ecosistêmicos da categoria de regulação estão apresentados no Quadro 3.1, sendo que para cada serviço, possui seu nome, nome resumido, o indicador relativo, sua descrição, o dado que está sendo analisado, como foi utilizado o dado, seu valor de referência, qual a origem do dado e a resolução ou escala.

Quadro 3.1 - Detalhamento dos Serviços Ecosistêmicos da Categoria Regulação

id	Serviço Ecosistêmico	Nome do SE resumido	Indicadores	Descrição	Dado a ser analisado	Conversão do dado utilizadas	Valores	Aquisição do Dado	Resolução ou Escala
1	Regulação de condições de Microclima	Microclima	Potencial de impacto na alteração de microclima	Influência do ecossistema no clima local por meio da alteração uso e cobertura do solo	Uso e ocupação do solo	Floresta Formação Nat. não florestal Agropecuária Área não Vegetada Corpos D' Água	10 10 5 1 10	Map Biomas	Pixel 30m
2	Manutenção de fluxo hidrológico natural	Fluxo hidrológico	Potencial de alteração no fluxo hidrológico natural	Influência da cobertura do solo na infiltração e liberação gradual da água e no estoque e retenção de água	Modelo Digital do Terreno	TWI	Índice	USGS	Pixel 30m
3	Capacidade natural de retenção de erosões	Erosões	Potencial de alteração na capacidade natural de retenção de erosões	Influência da cobertura do solo na estabilização da estrutura do solo	Indicador disponível	Muito Alta Alta Média Baixa Muito Baixa e demais	10 8 6 4 2	Mapa de Erodibilidade, Embrapa	1:250.000
4	Regulação de absorção de material pulverulento	Suspensão	Potencial de absorção natural de material pulverulento presente no ar "Material particulado em suspensão"	Influência da cobertura do solo de remover e/ou não suspender partículas de pó da atmosfera	Uso e ocupação do solo	Floresta Formação Nat. não florestal Agropecuária Área não Vegetada Corpos D' Água	10 7 5 1 2	Map Biomas	Pixel 30m

5	Regulação natural de ruído	Ruído	Potencial na capacidade de alteração na absorção natural de ruído	Influência da cobertura do solo em atenuar os níveis de ruído	Uso e ocupação do solo	Floresta Formação Nat. não florestal Agropecuária Área não Vegetada Corpos D' Água	10 5 5 2 1	MapBiomias	Pixel 30m
6	Manutenção da qualidade natural da água	Qualidade da Água	Potencial de interferência na manutenção da qualidade da água	Influência da cobertura do solo na manutenção da qualidade da água	Uso e ocupação do solo	Floresta Formação Nat. não florestal Agropecuária Área não Vegetada Corpos D' Água	10 10 5 0 0	MapBiomias	Pixel 30m
7	Manutenção de cavidades naturais	Cavidades	Potencial de interferência em Cavidades	Avaliação de potencial de interferência em cavidades naturais	Preditivo	Muito Alto Alto Médio Baixo Ocorrência Improvável	10 8 4 2 0	Potencial de Ocorrência de Cavidades, MMA	1:250.000

Provisão

Os Serviços Ecosistêmicos da categoria de provisão estão apresentados no Quadro 3.2, sendo que para cada serviço, possui seu nome, nome resumido, o indicador relativo, sua descrição, o dado que está sendo analisado, como foi utilizado o dado, seu valor de referência, qual a origem do dado e a resolução ou escala.

Quadro 3.2 - Detalhamento dos Serviços Ecosistêmicos da Categoria Provisão

Id	Serviço Ecosistêmico	Nome SE resumido	Indicadores	Descrição	Dado a ser analisado	Tipo	Valores	Aquisição do Dado	Resolução
1	Disponibilidade de água para dessedentação e irrigação	Provimento de água	Potencial de provisão de água para dessedentação e irrigação	Avaliação da Presença de reservatórios e estoques de água para consumo e irrigação, como potencial de provisão de água	Corpos D'Água e Massas D'Água	Dentro do fluxo de água Fora	10 0	Map Biomas	Pixel de 30m
2	Provimento de alimentos para consumo humano e animais	Produção agrícola	Potencial de provisão de alimentos cultivados	Avaliação do potencial de provisionamento de alimentos para consumo de humanos e animais	Mapa de Uso e Ocupação do Solo	Floresta Formação Natural não florestal Agropecuária Área não Vegetada Corpos D' Água	1 1 10 5 1	Map Biomas	Pixel de 30m
3	Provimento de recursos naturais de biodiversidade de fauna	Provimento de fauna	Potencial de interferência na sensibilidade da fauna silvestre	Avaliação da sensibilidade da biodiversidade	PRIM - Planos de Redução de Impactos a Biodiversidade	SenBioIn: índice de sensibilidade da biodiversidade	Índice	PRIM, Icmbio	1:250.000
4	Provimento de materiais minerais	Mineração	Potencial de interferência em processos minerais	Avaliação da presença com possibilidade de exploração de materiais minerais	Cadastro de Mineração Nacional	Concessão de Lavra Direiro de Requerer a Labra Lavra garimpeira Licenciamento Manifesto de Mina Registro de Extração Requerimento Outros	10 5 10 8 5 8 5 1	Processos Minerais Ativos e Inativos ANM	1:250.000
5	Provimento de recursos naturais disponíveis na natureza	Extrativismo	Potencial de provisão de matéria prima extrativista	Avaliação da presença com possibilidade de exploração de materiais prima, por meio de extrativismo	Mapa de Uso e Ocupação do Solo	Floresta Formação Natural não florestal Agropecuária Área não Vegetada Corpos D' Água	10 8 5 1 6	MapBiomas	Pixel de 30m

Suporte

Os Serviços Ecosistêmicos da categoria de suporte estão apresentados no Quadro 3.3, sendo que para cada serviço, possui seu nome, nome resumido, o indicador relativo, sua descrição, o dado que está sendo analisado, como foi utilizado o dado, seu valor de referência, qual a origem do dado e a resolução ou escala.

Quadro 3.3 - Detalhamento dos Serviços Ecosistêmicos da Categoria Suporte

Id	Serviço Ecosistêmico	Nome SE resumido	Indicadores	Descrição	Dado a ser analisado	Tipo	Valores	Obtenção do Dado	Resolução
1	Suporte a condições de manutenção da biodiversidade	Manutenção de Biodiversidade	Capacidade de manutenção da biodiversidade	Importância dos ecossistemas no fornecimento de abrigo, alimentação e habitats para espécies. Manutenção do balanço ecológico e processos evolutivos	Mapa de Uso e Ocupação	Floresta Formação Natural não florestal Agropecuária Área não Vegetada Corpos D' Água	10 10 5 2 10	MapBiomass	Pixel de 30m
2	Armazenamento de nutrientes	Armazenamento de nutrientes	Capacidade de armazenamento de nutrientes, por meio de corpos hídricos	Presença de nutrientes, energia e água no sistema e capacidade do sistema para armazená-los e para liberá-los quando necessário	Cordões D'Água e Massas D'Água	Massa D'água Buffer de 100m Cursos D'água Buffer de 50m Fora	10 8 7 5 0	MapBiomass	Pixel de 30m

3	Suporte a instalação de infraestrutura	Capacidade portante do solo	Capacidade portante do terreno	Avaliação da capacidade de suporte de carga dos terrenos	Mapa de Solos do Brasil	Afloramento de Rocha Dunas Chernosolo Latosolo Neosolo Cambisol Vertisol Nitosolo Espodosolo Luvisol Argisol Planosolo Organosolo Plintoso Gleissolo	1 8 2 2 5 2 5 2 4 4 3 7 10 10 10	Embrapa	1:5.000.000
4	Suporte de condições topográficas	Declividade	Alterações na conformação e declividade natural do terreno	Alterações nos processos naturais na com posição do solo	Declividade do Terreno	Declividade	Valor numérico	USGS	Pixel de 30m

Cultural

Os Serviços Ecosistêmicos da categoria de cultural estão apresentados no Quadro 3.4, sendo que para cada serviço, possui seu nome, nome resumido, o indicador relativo, sua descrição, o dado que está sendo analisado, como foi utilizado o dado, seu valor de referência, qual a origem do dado e a resolução ou escala.

Quadro 3.4 - Detalhamento dos Serviços Ecosistêmicos da Categoria Cultural

Id	Serviço Ecosistêmico	Nome SE Resumido	Indicadores	Descrição	Dado a ser analisado	Tipo	Valores	Obtenção do Dado	Resolução
1	Potencial de conforto visual	Conforto visual	Interferência no potencial estético da paisagem local	Qualidade estética da paisagem baseada em diversidade estrutural, tranquilidade, beleza cênica	Mapa de Uso e Ocupação	Floresta Formação Natural não florestal Agropecuária Área não Vegetada Corpos D' Água	10 10 8 2 8	MapBiomias	Pixel de 30m
2	Compatibilidade com ecoturismos e recreação	Potencial Recreação	Interferência em áreas de uso para fins de recreação	Características da paisagem atrativas para o turismo e atividades recreacionais	Mapa de Uso e Ocupação	Floresta Formação Natural não florestal Agropecuária Área não Vegetada Corpos D' Água	8 10 5 3 6	MapBiomias	Pixel de 30m
3	Guarda de material histórico e espiritual	Arqueologia	Interferência em atividades com valores históricos e arqueológicos	Características culturais e espirituais importantes da paisagem e de espécies	Dados Antropológicos do IPHAN	buffer 200m fora do local	10 0	Base de Dados do IPHAN	Tipo ponto
4	Guarda condições históricas e tradicionais indígenas	Indígenas	Interferência em atividades de comunidades tradicionais Indígenas	Características Antropológicas e de interesse de Comunidades Indígenas e Quilombolas	Terras Indigenas	Terra indígenas Buffer 40km Terras Indígenas não homologadas buffer 5km Fora	10 7 8 5 0	Base de Dados da FUNAI	Não informada
5	Guarda condições históricas e tradicionais quilombolas	Quilombolas	Interferência em atividades de comunidades tradicionais Quilombolas	Características Antropológicas e de interesse de Comunidades Indígenas e Quilombolas	Terras Quilombolas	Terras quilombolas buffer 5km Fora	10 8 0	Base de dados do Incra	Não informada
6	Guarda condições históricas e tradicionais de comunidades em geral	Comunidades	Interferência em áreas urbanas e aglomerados rurais	Características Antropológicas e de interesse de Comunidades em geral, bem como seus costumes e	Áreas Urbanas e Aglomerados	Urbana Intermediario Adjacente Intermediario Remoto Rural Adjacente Rural Remoto	10 8 6 4 2	Base Cartográfica contínua, IBGE	1:250.000

3.2.1.2. Aquisição de Dados

Para a presente pesquisa utilizou-se como premissa utilizar base de dados gratuitas e disponíveis na internet, o detalhamento de como foi realizada a Aquisição dos Dados pode ser visualizada no Apêndice II – Procedimento Operacional utilizado na pesquisa, Quadro ApII.02.

3.2.1.3. Construção da Base de Dados

Os indicadores para cada SE de cada categoria, pode ser visualizado nos Quadros 3.1 a 3.4, sendo que de forma simplificada os dados têm sua origem nas seguintes bases, conforme descrito no Quadro 3.5.

Quadro 3.5 - Origem dos dados utilizados nos indicadores dos Serviços Ecosistêmicos

ID	Tipo de Informação	Dado de Origem	Descrição
1	Uso e Ocupação do Solo	MapBiomias, (Matricial)	O mapa de uso e ocupação do solo serão utilizados os mapas do projeto MapBiomias é uma iniciativa do Observatório do Clima co-criada e desenvolvida por uma rede multi-institucional envolvendo universidades, ONGs e empresas de tecnologia com o propósito de mapear anualmente a cobertura e uso do solo do Brasil e monitorar as mudanças do território, o qual possui formato do tipo raster com resolução do 30m por pixel.
2	Topographic Wetness Index – Índice Topográfico de Umidade	TWI – (USGS/SAGA GIS), (Matricial)	Os índices TWI são derivados do Shuttle Radar Topography Mission (SRTM), que consiste num sistema de radar especialmente modificado que voou a bordo do Endeavour (ônibus espacial) durante os 11 dias da missão STS-99, em Fevereiro de 2000. Para adquirir os dados de altimetria estereoscópica, a SRTM contou com dois reflectores de antenas de radar. Um reflector antena estava separado do outro 60 m graças a um extensor que ampliava a envergadura do shuttle no espaço. A técnica utilizada conjuga software interferométrico com radares de abertura sintética (SAR). A resolução espacial é de 30 metros.
3	Erodibilidade de Solos	Embrapa (vetorial)	O Mapa da Erodibilidade dos Solos à Erosão Hídrica do Brasil, constitui um modelo espacial, em escala nacional, que expressa a capacidade do solo em resistir à erosão hídrica
4	Potencial de Ocorrências de Cavidades	MMA, (vetorial)	Mapa disponibilizado pelo Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Cavernas (CECAV) do ICMBio contendo potencial espeleológico estimado
5	Planos de Redução de Impactos sobre a Biodiversidade	PRIM, Icmbio, (vetorial)	Os mapas de sensibilidade de biodiversidade faunístico, serão utilizadas as bases do Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio), por meio do Plano de Redução de Impactos (PRIM) que é uma ferramenta de apoio à decisão e gestão ambiental, que têm como principal objetivo gerar cenários de compatibilização entre a conservação da biodiversidade e o desenvolvimento de atividades socioeconômicas, por meio da identificação de medidas objetivas de redução dos impactos potenciais e da busca de espaços geográficos onde se garanta a manutenção dos serviços ecossistêmicos e de populações viáveis de espécies, sem prejuízo da construção e operação

			de empreendimentos e atividades.
6	Processos Minerários Ativos e Inativos,	ANM, (vetorial)	Base de dados abertos fornecidos pela ANM, SIGMINE, contendo Área de Servidão, Arrendamentos, Áreas de Bloqueio, Processos minerários, Proteção de Fonte e Reservas Garimpeiras
7	Mapa de Classificação de Solos	Embrapa, (vetorial)	Plano de informação representa a distribuição geográfica dos solos do Brasil, de acordo com Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS, 2006), classificado até o terceiro nível categórico
8	Declividade	(USGS/QGIS), do tipo raster	Cálculado a partir da derivada do Shuttle Radar Topography Mission (SRTM), que consiste num sistema de radar especialmente modificado que voou a bordo do Endeavour (ônibus espacial) durante os 11 dias da missão STS-99, em Fevereiro de 2000. Para adquirir os dados de altimetria estereoscópica, a SRTM contou com dois reflectores de antenas de radar. Um reflector antena estava separado do outro 60 m graças a um extensor que ampliava a envergadura do shuttle no espaço. A técnica utilizada conjuga software interferométrico com radares de abertura sintética (SAR). A resolução espacial é de 30 metros.
9	Ocorrência de Sítios arqueológicos	Iphan, (vetorial)	Os Mapa de arqueologia serão obtidos junto ao sítio eletrônico do Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (IPHAN) o qual disponibiliza por meio do Centro Nacional de Arqueologia (CNA) as informações referentes aos registros dos sítios arqueológicos cadastrados com georreferenciamento Os Mapa de espeleologia serão gerados a partir dos dados disponibilizados pelo Cadastro Nacional de Informações Espeleológicas (CANIE) vinculado ao ICMBio. Por ser um dado do tipo ponto foi adotada a áreas de influência de 200m em formato de polígono circular e em seguida a rasterização e atribuição de fatores entre 0 e 10 de acordo com o grau de relevância.
10	Terras Indígenas	FUNAI, (vetorial)	Os Mapa de Terras Tradicionais Indígenas e Quilombolas serão gerados com base nos dados disponibilizados pela Fundação Nacional do Índio (FUNAI) e do Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA). Nas Comunidades Tradicionais serão utilizados buffer de 10km, já que a Portaria 060/2015 (MMA, 2015), portaria essa que disciplina a atuação dos intervenientes no processo de licenciamento ambiental em seu Anexo I traz as distâncias de 10 km (demais regiões) e 40 km (Amazônia legal) para essas terras. Apenas complementando e esclarecendo que as distâncias trazidas na Portaria 060/2015 (MMA, 2015) tratam da delimitação das áreas de estudo, onde presume-se, a priori, que possa haver impacto. Contudo, somente com os estudos é que se confirma se haverá impacto de fato e o tipo desses impactos em TI e Quilombos.
11	Comunidades tradicionais Quilombolas	Incra (vetorial)	Os Mapa de Terras Tradicionais Indígenas e Quilombolas serão gerados com base nos dados disponibilizados pela Fundação Nacional do Índio (FUNAI) e do Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA). Nas Comunidades Tradicionais serão utilizados buffer de 10km, já que a Portaria 060/2015 (MMA, 2015), portaria essa que disciplina a atuação dos intervenientes no processo de licenciamento ambiental em seu Anexo I traz as distâncias de 10 km (demais regiões) e 40 km (Amazônia legal) para essas terras. Apenas complementando e esclarecendo que as distâncias trazidas na Portaria 060/2015 (MMA, 2015) tratam da delimitação das áreas de estudo, onde presume-se, a priori, que possa haver impacto. Contudo, somente com os estudos é que se confirma se haverá impacto de fato e o tipo desses impactos em TI e Quilombos.

12	Áreas urbanas e aglomerados rurais	Base Cartográfica Contínua, IBGE, (vetorial)	Mapa de Classificação Rural e Urbana do IBGE
----	------------------------------------	--	--

Do ponto de vista de materiais foram utilizados como ferramentas as descritas no Quadro 3.6, conforme cada necessidade de aplicação.

Quadro 3.6 - Softwares utilizados na pesquisa

Software	Versão	Aplicação
ArcGIS Pro®	Advanced	Geração de imagem com informações geoespaciais
QGIS®	3.22.6 – Białowieża ®	Processamento de dados geoespaciais
Anaconda 3 – Spyder®	5.1.5	Avaliação hierárquica, com algoritmo em Python
Google Colaboratory	Pro	Avaliação hierárquica, com algoritmo em Python, para avaliações com maior demanda computacional
SPSS®	17.0	Avaliações estatísticas
Microsoft Visio®	2016	Elaboração dos Fluxogramas
Microsoft Word ®	365	Edição de texto
Microsoft Excel ®	365	Compilação, edição e organização de dados, elaboração de
VOS Viewer®	1.6.19	Gráficos da referência da bibliografia

Para os Quadros 3.1 a 3.4, foram utilizadas duas formas de processamento das bases de entrada, o primeiro quando os dados de entrada são do tipo vetorial e o segundo quando os dados de entrada são do tipo matricial.

- Dados Vetoriais

Para os dados vetoriais, foi utilizado o fluxo da Figura 3.5, sendo realizado buffers, nos termos do apresentado no Quadro 3.5, em seguida foi realizada a rasterização da base de dados e atribuído valores de acordo com o grau de relevância do ponto para a análise de sensibilidade ambiental, descritos nos Quadros de 3.1 a 3.4.

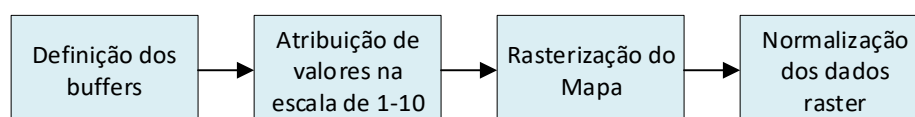


Figura 3.5 - Processamento dos dados de entrada
Fonte: o autor

- Dados do tipo Matricial

Foram utilizadas duas fontes de dados: MapBiomas para os dados de uso e ocupação do solo (MapBiomas, 2023) e NASA para os dados topográficos (modelo digital de elevação) proveniente da *Shuttle Radar Topography Mission* - SRTM (<https://www2.jpl.nasa.gov/srtm/>).

Para o MapBiomas foi realizada a reclassificação do dado matricial baseado nas classes descritas nos Quadros 3.1 a 3.4 – coluna valores. Já para os dados do SRTM foram gerados os Índices Topográfico de Umidade (TWI) e a Declividade (Radianos), por serem índices, esses foram utilizados sem nenhum tipo de conversão.

Independentemente do tipo do dado de entrada, a Figura 3.6, apresenta como foram processados os dados e as etapas até serem gerados os dados de entrada para o algoritmo do *Prométhée*.

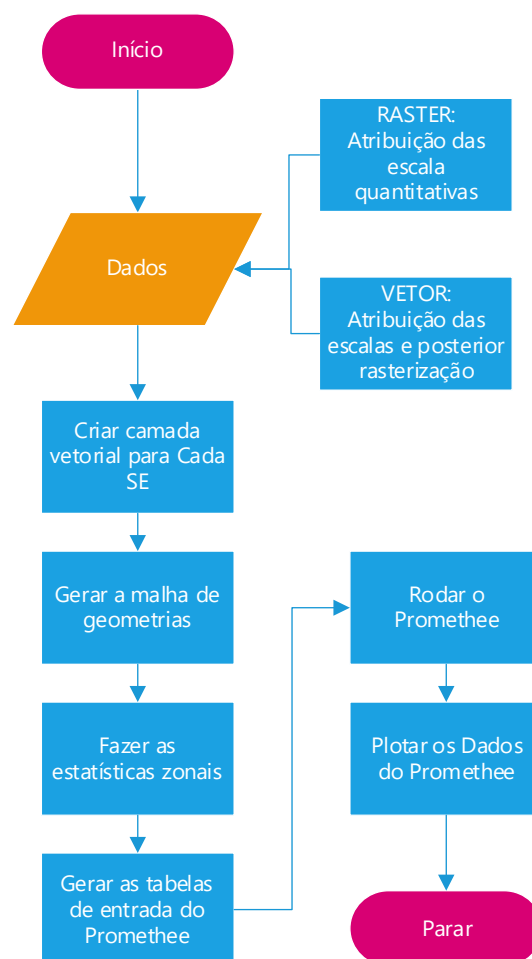


Figura 3.6 - Processamento dos dados até a fase do algoritmo Prométhée
Fonte: o autor

As estatísticas zonais foram geradas a partir de grades pré-estabelecidas, para esta pesquisa foram adotadas grades retangular com cada unidade, de 500mx500m, 1.000mx1.000m, 5.000mx5.000m, 10.000mx10.000m e 50.000mx50.000m; sendo utilizado para fins de estatística o comando do tipo média – nas estatísticas zonais.

Após geradas as estatísticas, foi gerado arquivo do tipo .csv com esses dados, que serviram de dados de entrada para a hierarquização das áreas mais sensíveis.

Inicialmente, foi realizada a hierarquização por categoria: Regulação, Provisão, Suporte e Cultural e em seguida, foi gerado uma hierarquização completa com todas as categorias.

3.2.2. Caracterização do Modelo Multicritério

Neste estudo foi utilizado o Promethée II como método multicritério para hierarquização das áreas mais sensíveis do ponto de vista ambiental. A formulação matemática para a utilização do método se encontra no item 2.2. desta pesquisa, bem como a motivação da escolha do método.

Brans & Mareschal (1999) demonstraram que o uso de decisão multicritério com o Promethée, consiste na aplicação da Equação (3.1), sendo essa uma função do tipo de maximização, que retorna a hierarquização de alternativas, utilizando as funções de preferência.

$$Max\{f_1(a), \dots, f_k(a) / a \in A\} \quad (3.1)$$

Onde:

Max é uma função do tipo maximização de outras funções

A é conjunto de alternativas

a_n são os elementos do conjunto de alternativas de 1 a n alternativas possíveis

F é conjunto de critérios

f_j são as avaliações das alternativas em cada critério

Para a hierarquização desta pesquisa, comparou-se par-a-par as alternativas, utilizando 03 das funções de preferência disponíveis no Promethée as quais são do tipo: Step, V-Shape e Linear, apresentadas na Fig 3.7.

Essas funções foram utilizadas por representarem melhor o comportamento deste tipo de avaliação. Não foi possível identificar quais indicadores poderiam ter comportamento físicos compatível com as demais funções apresentadas no item 2.2.

Não foram utilizadas funções de preferências diferentes entre os critérios. Nas avaliações realizadas foram utilizadas funções iguais para todos os critérios, sendo que o algoritmo foi configurado para rodar os três tipos de funções de forma independente e paralela.

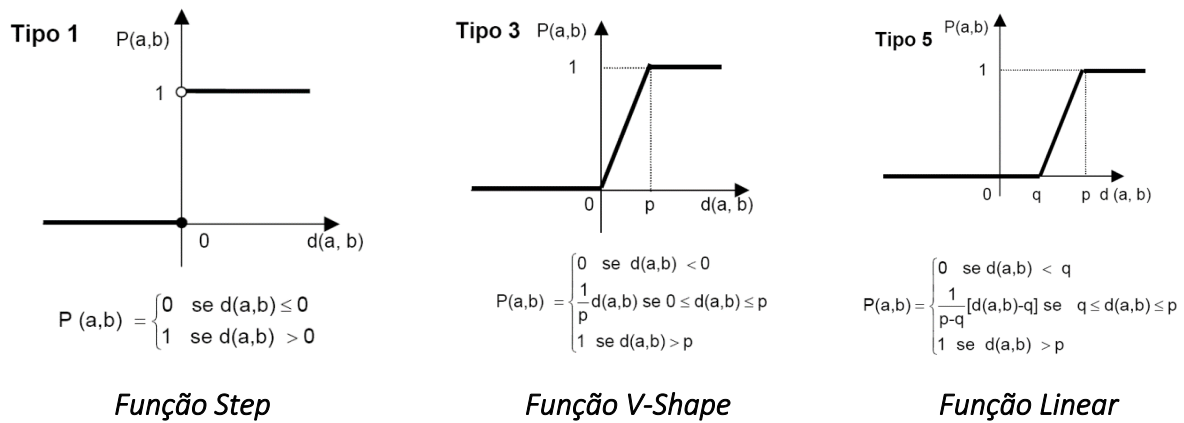


Figura 3.7 - Funções de preferência utilizados na pesquisa
Fonte: Ceolim (2005)

O próximo passo no processo de Modelagem Multicritério é a seleção, de no mínimo, seus critérios, pesos e alternativas, seguindo as etapas apresentadas na Figura 3.8, ou seja, baseado nas respostas dos questionários.

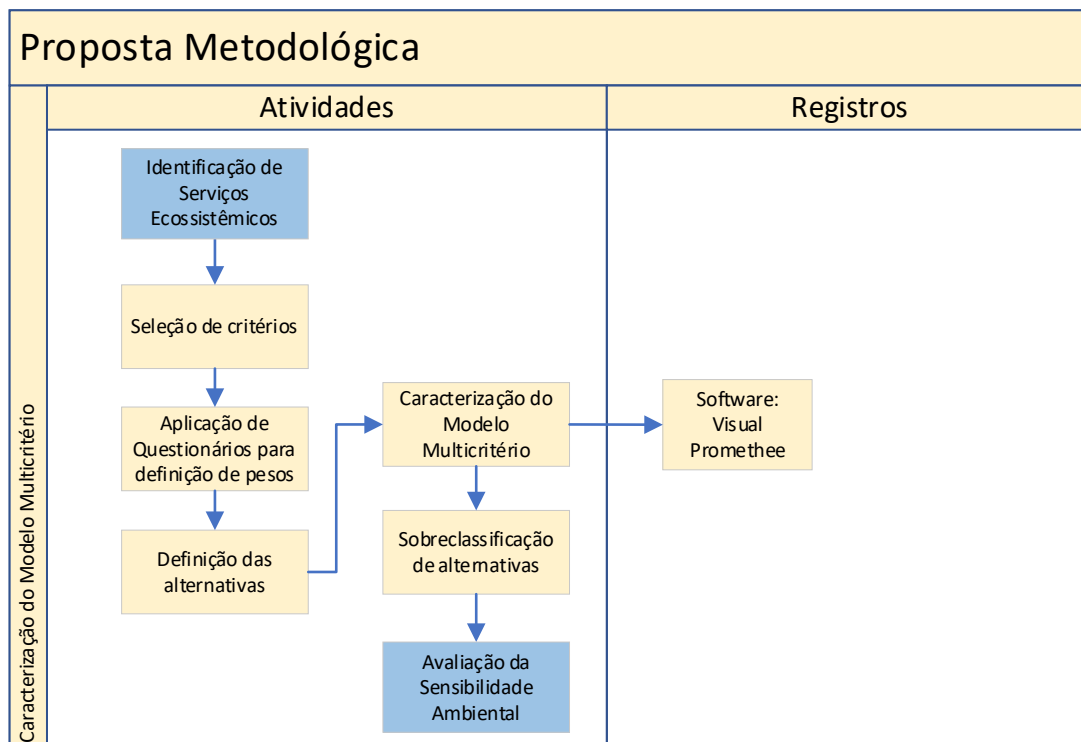


Figura 3.8 - Proposta Metodológica - Caracterização do Modelo Multicritério
Fonte: o autor

Vale dizer que na presente pesquisa, os critérios são os indicadores dos Serviços Ecossistêmicos (SE), apresentados nos Quadros 3.1 a 3.4, as alternativas são as informações geoespaciais obtidas pelos mapas de referência de cada SE e os pesos são a importância relativa atribuída a cada SE, calculada a partir de respostas de questionários.

Assim, os seus pesos aplicados foram obtidos com base em questionário que pode ser verificado no Apêndice I, aplicado com atores que atuam na área ambiental de empreendimentos rodoviária, em especial gestores e funcionários que fazem parte do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT) e Ministério dos Transportes (MT). O Questionário foi remetido (enviado) por via correio eletrônico para os e-mails institucionais dos entrevistados. Foi solicitado um tempo de resposta de 30 dias. A avaliação das respostas dos questionários, faz parte do artigo – *Is the Ecosystem Services approach incorporated into road development projects in Brazil?*, submetido a revista Environmental Management da Springer, parte integrante do Capítulo 04 desta Tese de Doutorado.

Foram recebidas 50 respostas de um total de 120 questionários enviados. Todas as respostas foram fornecidas por atores que atuam no DNIT. Assim, considerando o universo de 120 funcionários da área ambiental, temos uma amostra que representa aproximadamente 42% do universo.

Desses questionários, realizou-se a média dos valores atribuídos a cada indicador de SE e para cada Categoria, o Quadro 3.7 e a Figura 3.9 apresenta um resumo dos pesos calculados a partir dos questionários.

Quadro 3.7 - Pesos utilizados no Modelo Multicritério

Categoria dos Serviços Ecossistêmicos	Peso Aferido pelo questionário	Percentual	Serviço Ecossistêmico	Peso Aferido pelo questionário	Influência percentual na Categoria	Influência percentual geral na decisão
Regulação	8,60	26,108%	Microclima	7,440	13,542%	3,536%
			Fluxo hidrológico	8,640	15,726%	4,106%
			Erosão	8,640	15,726%	4,106%
			Suspensão	6,940	12,632%	3,298%
			Ruído	7,060	12,850%	3,355%
			Qualidade da água	8,600	15,653%	4,087%
			Caverna	7,620	13,870%	3,621%
Provisão	8,76	26,594%	Provisionamento de água	7,040	19,017%	5,057%
			Produção agrícola	7,560	20,421%	5,431%

			Provimento de fauna	8,460	22,853%	6,077%
			Mineração	6,740	18,206%	4,842%
			Extrativismo	7,220	19,503%	5,187%
Suporte	7,70	23,376%	Manutenção de biodiversidade	8,360	26,607%	6,220%
			Armazenamento de nutrientes	7,460	23,743%	5,550%
			Capacidade portante do solo	7,820	24,889%	5,818%
			Declividade	7,780	24,761%	5,788%
Cultural	7,88	23,922%	Conforto visual	7,060	15,047%	3,600%
			Potencial para recreação	6,880	14,663%	3,508%
			Arqueologia	8,420	17,945%	4,293%
			Indígenas	8,500	18,116%	4,334%
			Quilombolas	8,320	17,732%	4,242%
			Comunidades	7,740	16,496%	3,946%

As alternativas são cada uma das unidades das grades descritas no item 3.2.1 desta pesquisa, contendo as estatísticas zonais de cada indicador de cada SE.

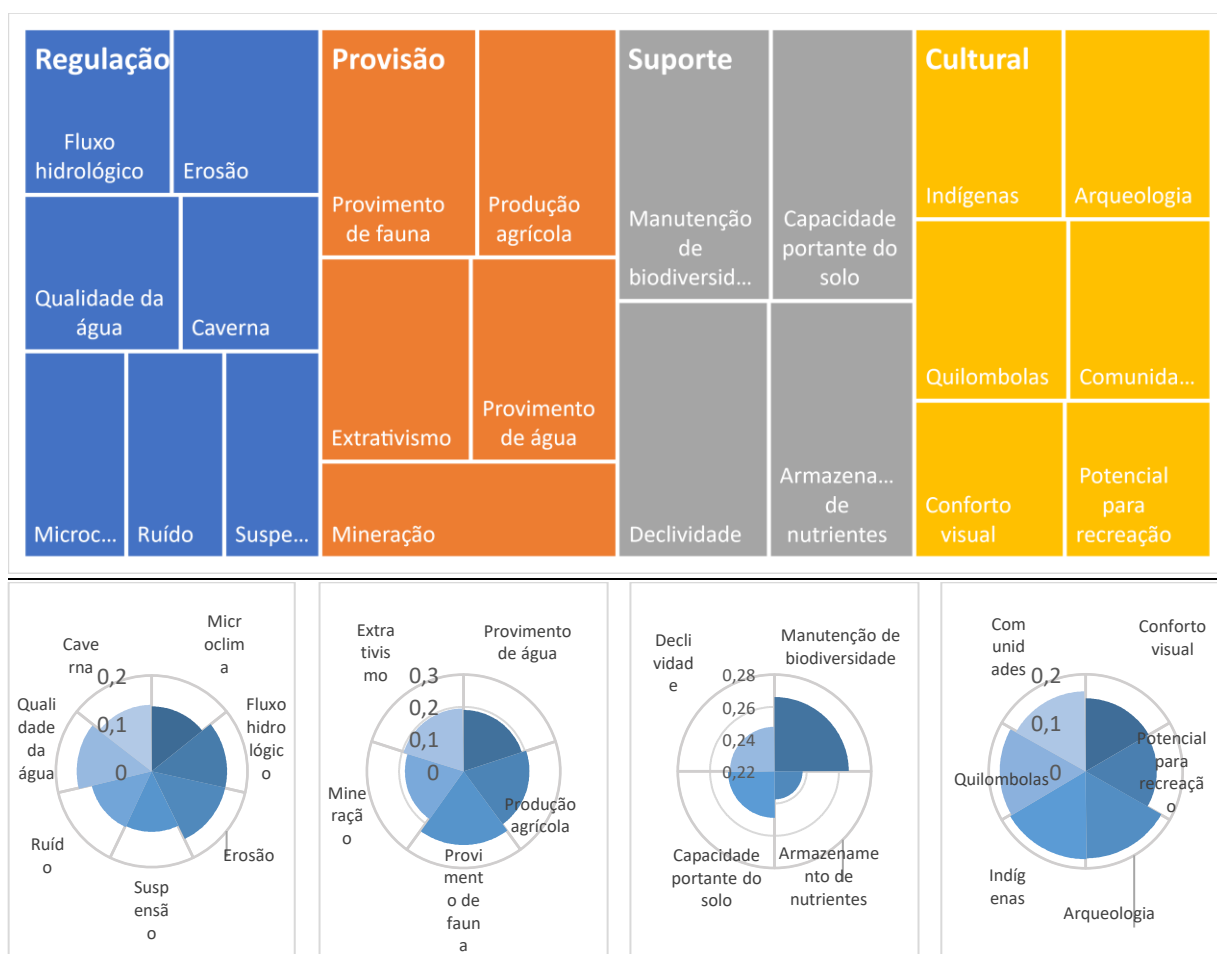


Figura 3.9 - Gráfico com os pesos utilizados na pesquisa
Fonte: autor

Assim, todas essas informações foram processadas em algoritmo desenvolvido em Python. As etapas do algoritmo estão apresentadas na Figura 3.10, fazendo parte das etapas necessárias para se aplicar o modelo Promethée.

Para processamento do algoritmo Python foi utilizado o ambiental Spyder 5.1.5® e o Google Colaboratory. No Apêndice III é apresentado o código fonte utilizado e no Apêndice IV os tempos de processamento, bem como o detalhamento de onde foi processada a informação.

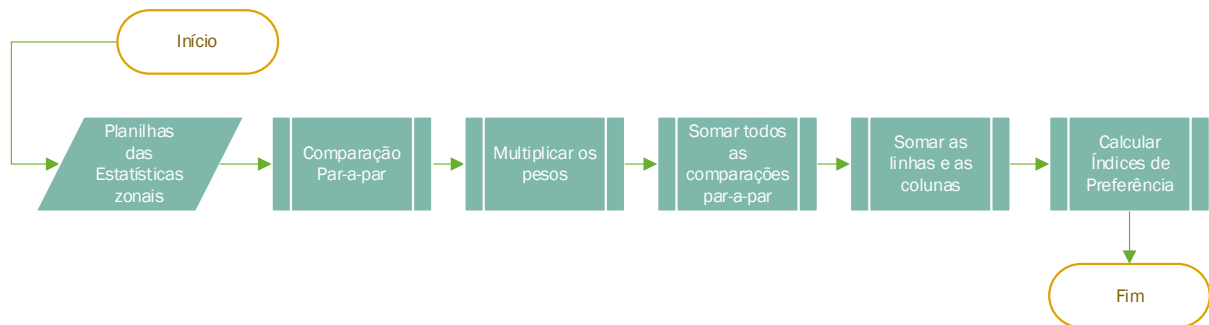


Figura 3.10 - Etapas do Algoritmo Promethée II
Fonte: o autor

3.2.3. Avaliação de Sensibilidade Ambiental

Com base nesse algoritmo, foram geradas as hierarquizações das alternativas “elemento de grade” o qual forneceram para as regiões de estudo, quais as áreas são mais ambientalmente sensíveis.

A Figura 3.11 apresenta um exemplo de como ficam os elementos de grade depois de hierarquizados. No exemplo apresentado, os elementos em azul são menos sensíveis e os mais avermelhados são os mais sensíveis, do ponto de vista numérico, os elementos que receberam índices de preferência mais próximos de 0 são menos sensíveis e mais próximos de 1 são mais sensíveis.

A Figura 3.12 apresenta as etapas necessárias para se realizar a Avaliação de Sensibilidade Ambiental.

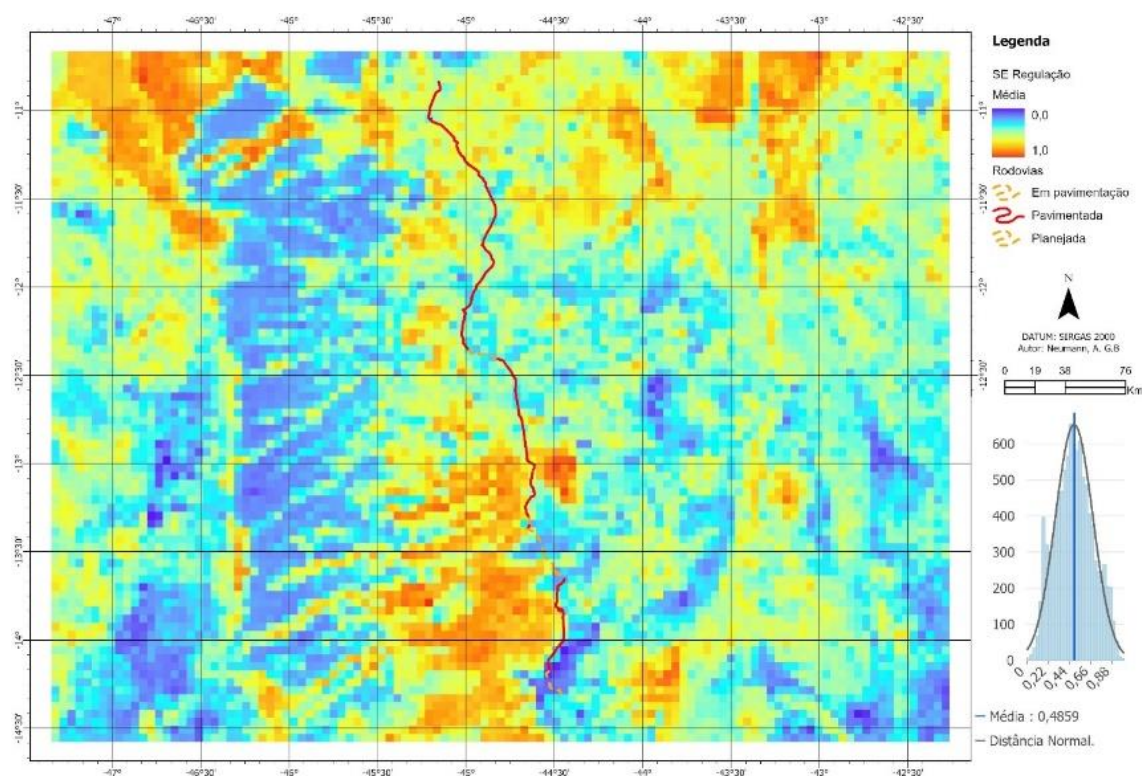


Figura 3. 11 - Exemplo de áreas de sensibilidade ambiental calculadas com o modelo
Fonte: o autor

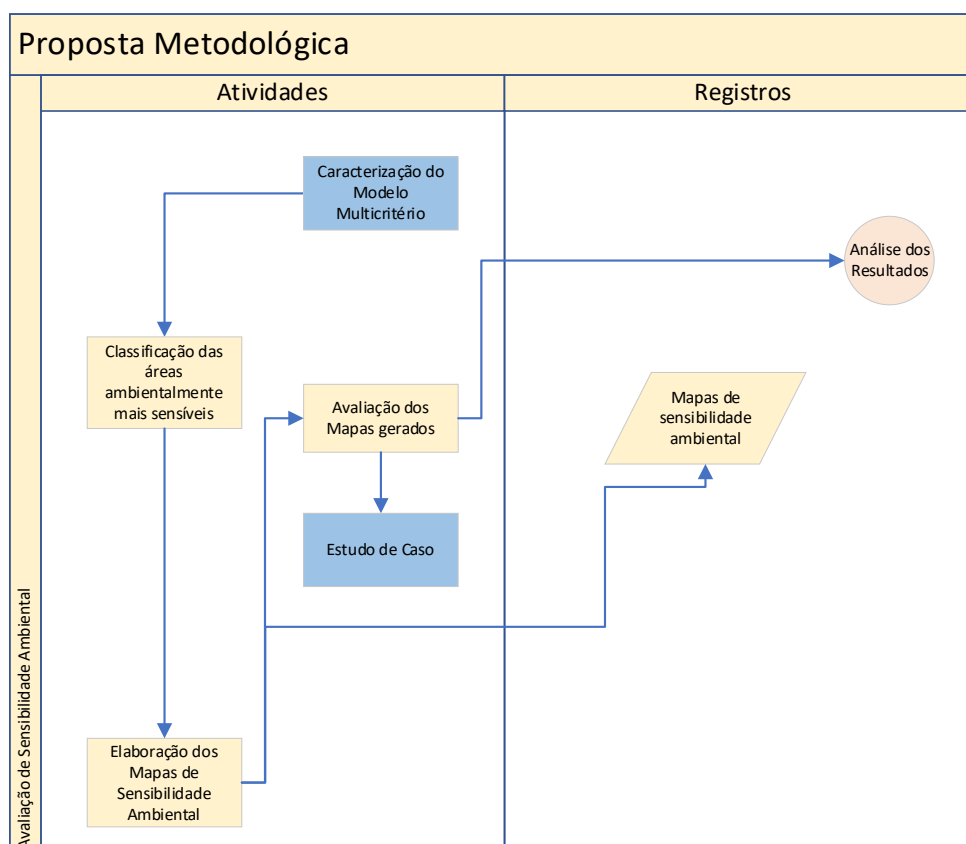


Figura 3.12 - Proposta metodológica - Avaliação de Sensibilidade Ambiental
Fonte: o autor

3.3. Estudo de Caso

Considerando a proposta metodológica descrita no item 3.2., foi estipulado a aplicação em Estudo de Caso, considerando para tanto os passos descritos na Figura 3.13.

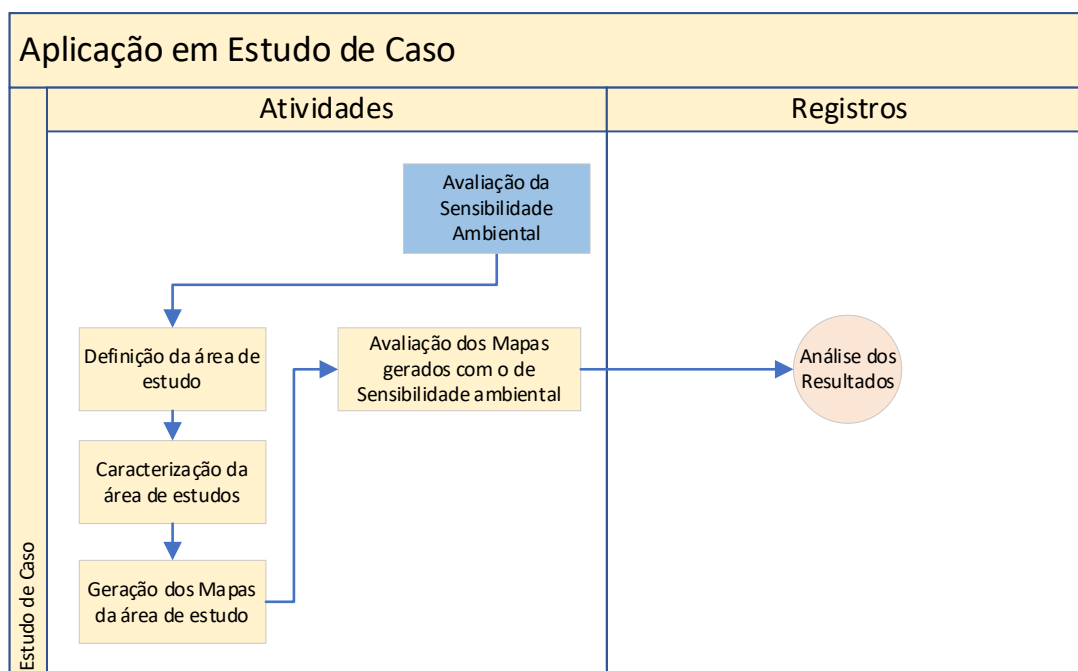


Figura 3.13 - Proposta Metodológica - Aplicação em Estudo de Caso

Fonte: o autor

Na presente pesquisa foram selecionadas 03 rodovias parcialmente implantadas para servirem de referência para aplicação da metodologia em Estudo de Caso, tais rodovias são consideradas de grande relevância para a malha rodoviária nacional.

Foram selecionadas as rodovias: BR-135/BA, BR-319/AM/RO e BR-242/MT, Figura 3.14, sendo essas rodovias importantes para integrações regionais do Brasil e responsável por grandes deslocamentos de pessoas e mercadorias.

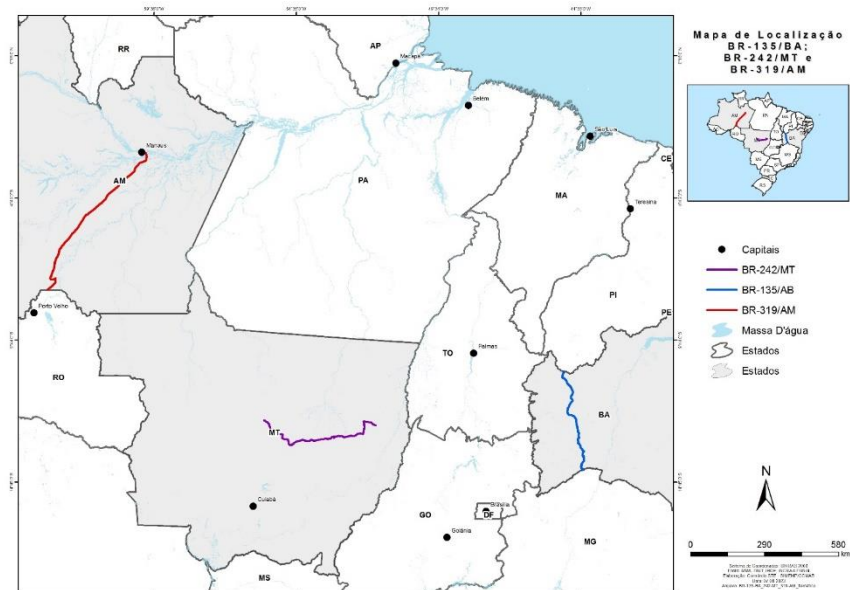


Figura 3.14 - Rodovias a serem aplicadas a metodologia em estudo de caso
Fonte: o autor

A BR-135/BA se encontra parcialmente implantada em razão de segmento impedido no licenciamento, onde se passa pela Caverna conhecida como Boca do Inferno, assim o órgão licenciador entendeu adequado não permitir a pavimentação da rodovia naquele segmento, destaca-se que a rodovia está inserida no Bioma Cerrado. Do ponto de vista de licenciamento ambiental a rodovia está em fase de licença de Instalação, limitado a restrição da licença ao segmento citado, conforme pode ser verificado na Figura 3.15.

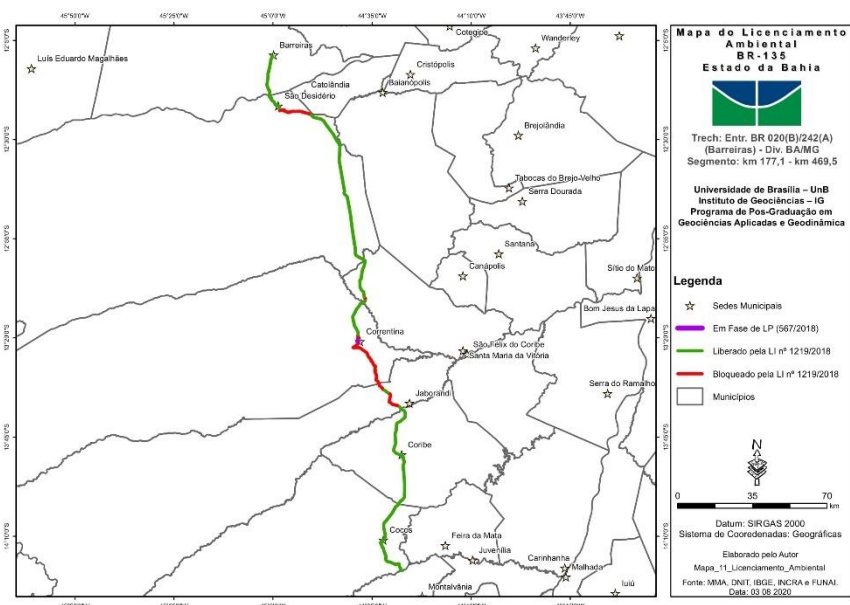


Figura 3.15 - BR-135/MG/BA – Situação do Licenciamento Ambiental
Fonte: o autor

A BR-242/MT está em fase de licenciamento prévio, que define a viabilidade ambiental do empreendimento, tendo como limitador, a necessidade de consulta a indígenas e diversos sítios arqueológicos ao longo da rodovia a ser implantada.

A BR-319/AM/RO já foi pavimentada na década de 70 pelo Exército Brasileiro, mas com o tempo a rodovia perdeu todo o seu pavimento. Atualmente, a rodovia se encontra em fase de elaboração de Plano Básico Ambiental (PBA) para subsidiar o licenciamento de instalação. A rodovia está integralmente inserida no Bioma Amazônico.

BR- 135/BA

A BR-135 é uma rodovia longitudinal pertencente ao Plano Rodoviário Federal de 1973, com extensão total de 2.446,00 km, iniciando em São Luiz/MA, passando pelos municípios de Peritoró, Pastos Bons, no Maranhão; Bertolândia, Bom Jesus, Corrente, no Piauí; Barreiras, São Desidério, Correntina, Coribe, Cocos no Estado da Bahia; e Montalvânia, Manga, Itacarambi, Januária, Montes Claros, Curvelo, Cordisburgo e terminando no entroncamento com a BR-040, em Minas Gerais, conforme pode ser observado na Figura 3.16.

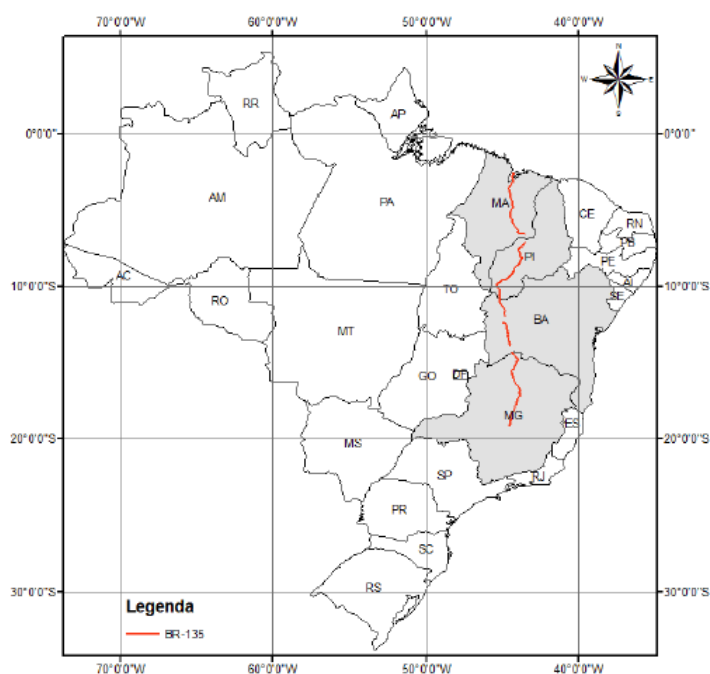
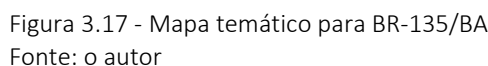


Figura 3.16 - Rodovia BR-135.
Fonte: PBA Unificado (DNIT, 2014)

Foi avaliado, na presente pesquisa, a pavimentação da BR-135/MG/BA, entre os municípios

A Figura 3.17 apresenta um mapa temático ambiental da BR-135/BA, considerando todos os seus elementos de maior restrição ambiental para fins de implantação de rodovias.



Assim, manter a BR-135/MG/BA pavimentada e em boas condições é essencial para o funcionamento da infraestrutura logística, já que a rodovia atravessa boa parte do Oeste Baiano e é um importante eixo de escoamento da produção da região, conforme apresenta a Figura 3.16.

105

a municípios de maior porte, permitindo a utilização de serviços sociais, como educação e saúde, e aumentará a segurança rodoviária e das comunidades locais (DNIT, 2014).

Assim o empreendimento consiste na Implantação, pavimentação, restauração, melhoramentos e adequação de capacidade da BR-135/MG/BA, O segmento do estudo vai de Barreiras/BA a Itacarambi/MG.

BR-242/MT

A rodovia BR-242/MT, também conhecida como Rodovia Milton Santos, estende-se do estado da Bahia, passa por Tocantins e segue até o estado de Mato Grosso. A rodovia não foi totalmente implantada, possuindo ainda alguns trechos sem pavimentação, sobretudo, nos estados de Mato Grosso e Tocantins (DNIT, 2020a).

Sua implantação torna-se fundamental dos pontos de vista logístico e econômico para os produtores da região.

Além disso, com a implantação da BR-242/MT e sua interligação com as demais rodovias do estado, espera-se que haja a consolidação de um eixo de escoamento conectando a produção agrícola regional com diversos portos no país, tais como: Itaqui-MA, Miritituba-PA e Salvador-BA.

O projeto de pavimentação rodoviária da BR-242/MT é planejado pelo Governo Federal desde a década de 1970. Sua implantação visa interligar a região Centro-Oeste à cidade de Salvador-BA, importante polo exportador brasileiro. Contudo, apesar da importância, suas obras nunca foram totalmente executadas (DNIT, 2020a).

Nas últimas décadas, os avanços tecnológicos e da produção agropecuária tornaram o Centro-Oeste o principal produtor de grãos e exportador de commodities do Brasil, sobretudo os estados de Mato Grosso e Goiás. Consequentemente, o aumento da produção promoveu a ocupação de áreas antes inabitadas, com o desenvolvimento de novos centros urbanos locais. Dessa forma, o tráfego nas rodovias aumentou expressivamente, com destaque ao trânsito de veículos para o transporte da produção agrícola regional, tais como caminhões, carretas, bitrens, além do trânsito da população entre os municípios (DNIT, 2020a).

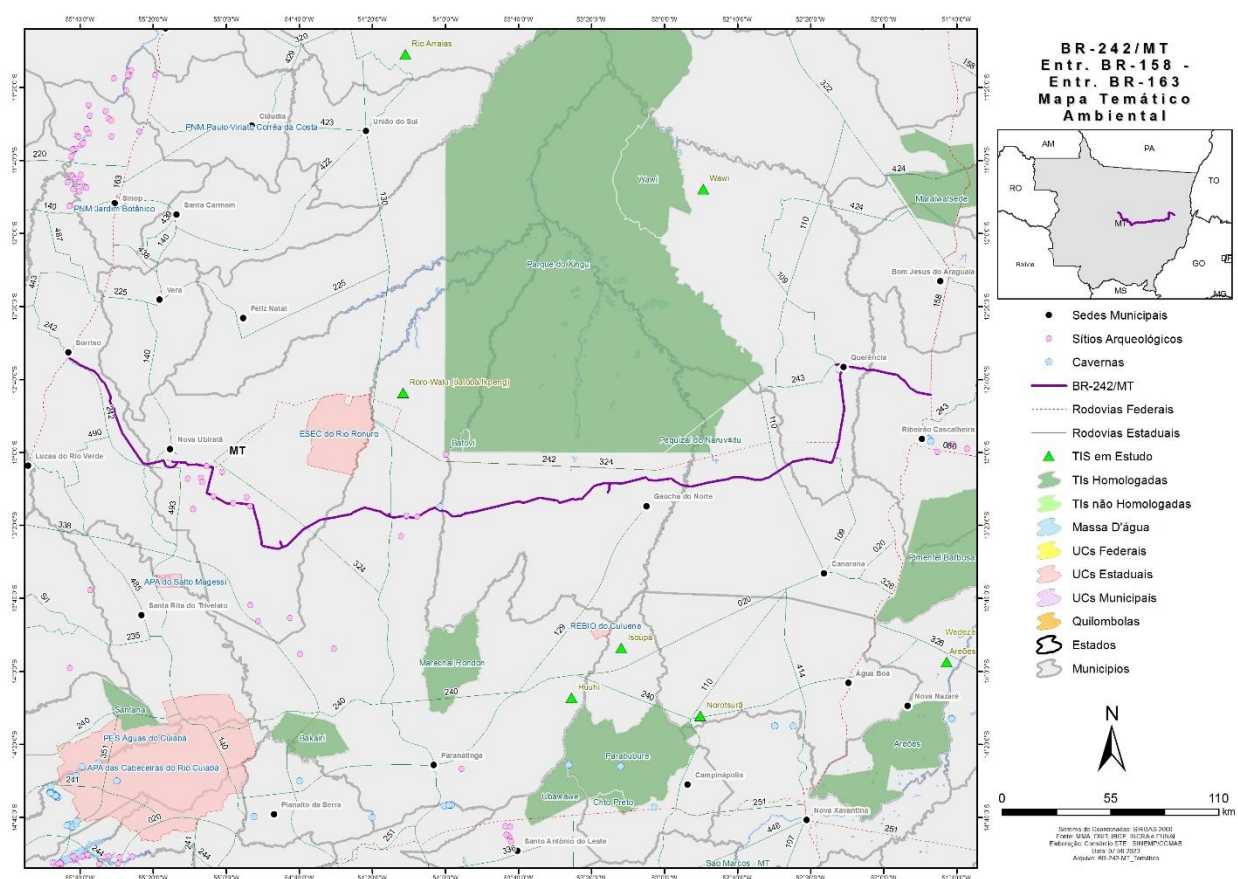


Figura 3.18 - Mapa temático ambiental da BR-242/MT
Fonte: o autor

BR-319/AM

A BR-319 foi pavimentada e inaugurada na década de 1970, dentro do contexto de integração da Amazônia promovido pelo regime militar, especialmente voltado para ligar duas capitais do norte, ou seja: a capital rondoniense (Porto Velho) e a capital amazonense (Manaus), conectando por terra o povo de Manaus à região central do Brasil, via BR-364 (DNIT, 2020b).

Após décadas sem manutenção, desde sua inauguração em 1976, a rodovia, que tem uma extensão de 885km, se tornou praticamente intransitável e intransponível na prática, em especial no segmento compreendido entre os km 250 e km 655,7, o “trecho do meio”, onde a capa asfáltica se tornou quase inexistente, tornando desaconselhável a viagem (DNIT, 2020b).

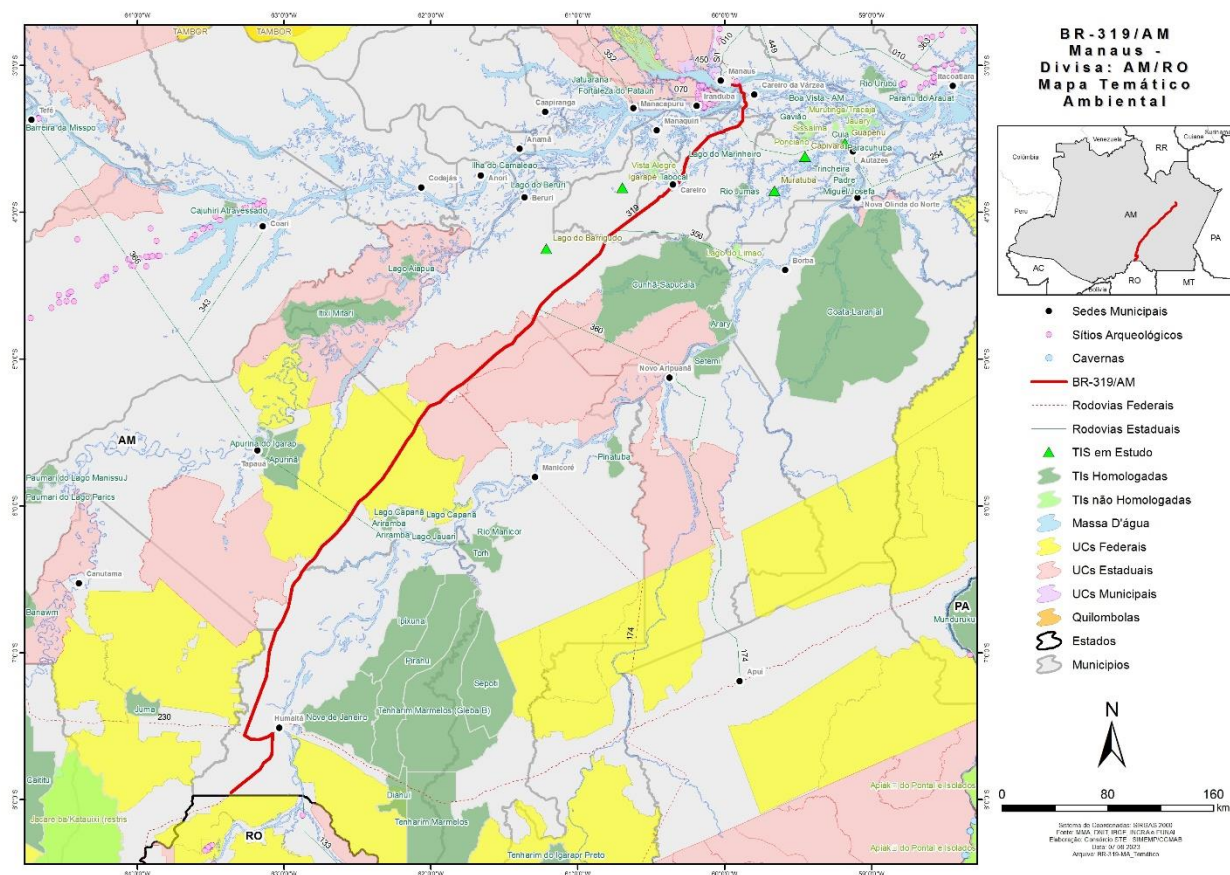


Figura 3.19 - Mapa temático para BR-319/AM

Fonte: o autor

3.3.1. Definição da Escala de Trabalho

Foi gerado inicialmente 05 (cinco) escalas de trabalho para geração das informações de sensibilidade ambiental dos empreendimentos, ou seja, grades com elementos quadrados com 500mx500m, 1.000mx1.000m, 5.000mx5.000m, 10.000mx10.000m e 50.000mx50.000m.

Sendo que para BR-135/BA gerou-se malhas, para um recorte selecionado, totalizando as seguintes quantidades de feições e tamanho dos arquivos shapefiles.

Quadro 3.8 - Detalhamento das escalas das feições utilizadas para avaliação da escala da pesquisa

	BR-135BA		
	TP	Feições	Arquivo (Mb)
500m	15min3s	972000	241
1000m	8min2s	243216	60,5
5000m	2min3s	9831	2,44
10.000m	0,83seg	2508	0,639
50.000m	0,25seg	108	0,028

Acontece que para malhas com 25.000 ou mais feições se tornou quase inviável se executar o modelo Promethée, do ponto de vista computacional – em computadores domésticos ou pequenos servidores, uma vez que para se fazer comparação par-a-par por elemento de grade (ou feição) se faz necessário a geração de matrizes de, por exemplo, 25.000 x 25.000, multiplicada pela quantidade de critério em análise e 8bytes por elementos de matriz, já que utilizou-se variável do tipo Float32, utilizando um espaço de memória dinâmica e armazenamento de aproximadamente 35.000.000.000bytes ou também aproximadamente 35Gb.

Portanto, nesta pesquisa, foram limitados a não muito mais que 25mil elementos, descartando, para o caso em referência as grades de 500m e 1.000m.

Assim, a título de complementação da avaliação da escala de trabalho fizemos avaliações com grades de 5.000m, 10.000m e 50.000m, podendo ser observado na Figura 3.20, que trata da avaliação dos Indicadores de SE de Regulação na BR-135/BA, que não houve grandes diferenças, nem na base gerada, nem no histograma dos índices de preferência, para as malhas com 5.000m e 10.000m. Por outro lado, para 50.000m já se constatou grandes diferenças tanto na resposta do modelo, quanto nos histogramas, Figura 3.20.

No contexto apresentado, optou-se por trabalhar com a escala de 5.000m x 5.000m para cada elemento da grade, para as 03 (três) rodovias analisadas.

Tal escolha também se coaduna com a resolução de um dos dados de entrada, o Mapa de Classificação de Solos da Embrapa de 1:5.000.000, portanto, por ser o nosso dado de pior escala e/ou resolução, esse é nosso dado limitador para fins de definição da escala de trabalho, entendemos adequada a utilização da escala de trabalho de 5.000mx5.000m.

Cumprir dizer que optou-se por trabalhar com uma área de avaliação grande, muito maior que a área da rodovia e sua faixa de domínio, por alguns motivos, entre eles, existe uma possibilidade iminente de se ter a necessidade de alterar o traçado rodoviário por limitações ambientais e em função das diversas ações de mitigações e compensações ambientais – em todas as suas possibilidades – que podem ser executadas em outras áreas que não necessariamente na área de implantação da rodovia ou em sua faixa de domínio.

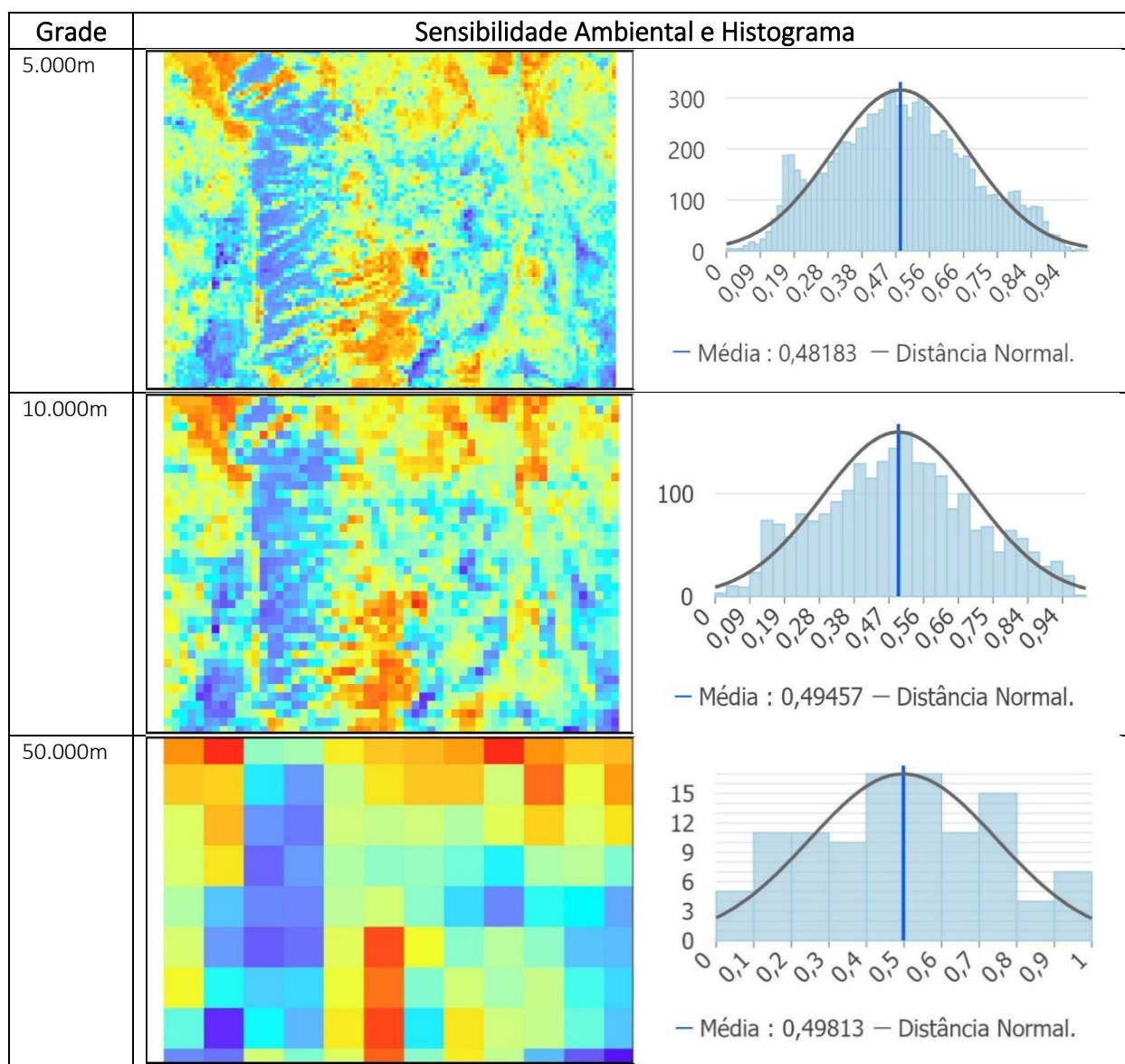


Figura 3.20 - Histogramas para avaliação e definição da escala de trabalho
 Fonte: o autor

A título de exemplo, foram elencados Plantio Compensatório, Reposição Florestal, Recuperação de Áreas Degradadas, Proteção de Áreas Indígenas, Implantação de Áreas de Unidades de Conservação e outros.

Tal premissa se justifica, dado que um dos objetivos da pesquisa é prover informações para subsidiar os gestores tanto os empreendedores, quanto os de licenciamento ambiental a implantar iniciativas ambientais em áreas mais sensíveis ambientalmente.

Contudo, caso necessária uma avaliação mais pontual poderá ser gerado recortes menores, podendo também ser aplicadas uma escala de trabalho menor, pois também serão geradas menos feições.

3.3.2. Definição da Função de Preferência do *Promethée*

Continuando, foi realizada avaliação com as funções do tipo, Step, V-Shape e Linear, nos termos do 3.2.2. desta Tese de Doutorado, assim com a avaliação de referência realizada com a BR-135/BA, identificou-se que não existe grandes diferenças nas avaliações com as 03 funções.

Há uma pequena tendência de se ter valores mais próximos de 0, ou seja, menos sensível ambientalmente, no caso da Função do tipo Step, o que poderia indicar que essa função é um pouco mais conservadora para a avaliação do ponto de vista do empreendimento rodoviário ou, em outras palavras, apresenta menos áreas mais sensíveis ambientalmente, Figura 3.21.

No entanto, essa tendência é muito pequena, podendo ser notada apenas em avaliação muito detalhada, verificando que a média é menor para a função Step, em comparação com as demais, e no gráfico temos mais elementos com índices de preferência próximos a 0,19, não sendo, no entanto, uma tendência significativa, Figura 3.21.

Contudo na Figura 3.22 verificou-se que na função do tipo linear, mais áreas ficaram com índice de preferência com valor 0.

Por outro lado, a função Step é computacionalmente mais econômica, uma vez que na comparação par-a-par o resultado é 0 ou 1, por esse motivo optou-se por conduzir as avaliações em estudo de caso com esta função específica.

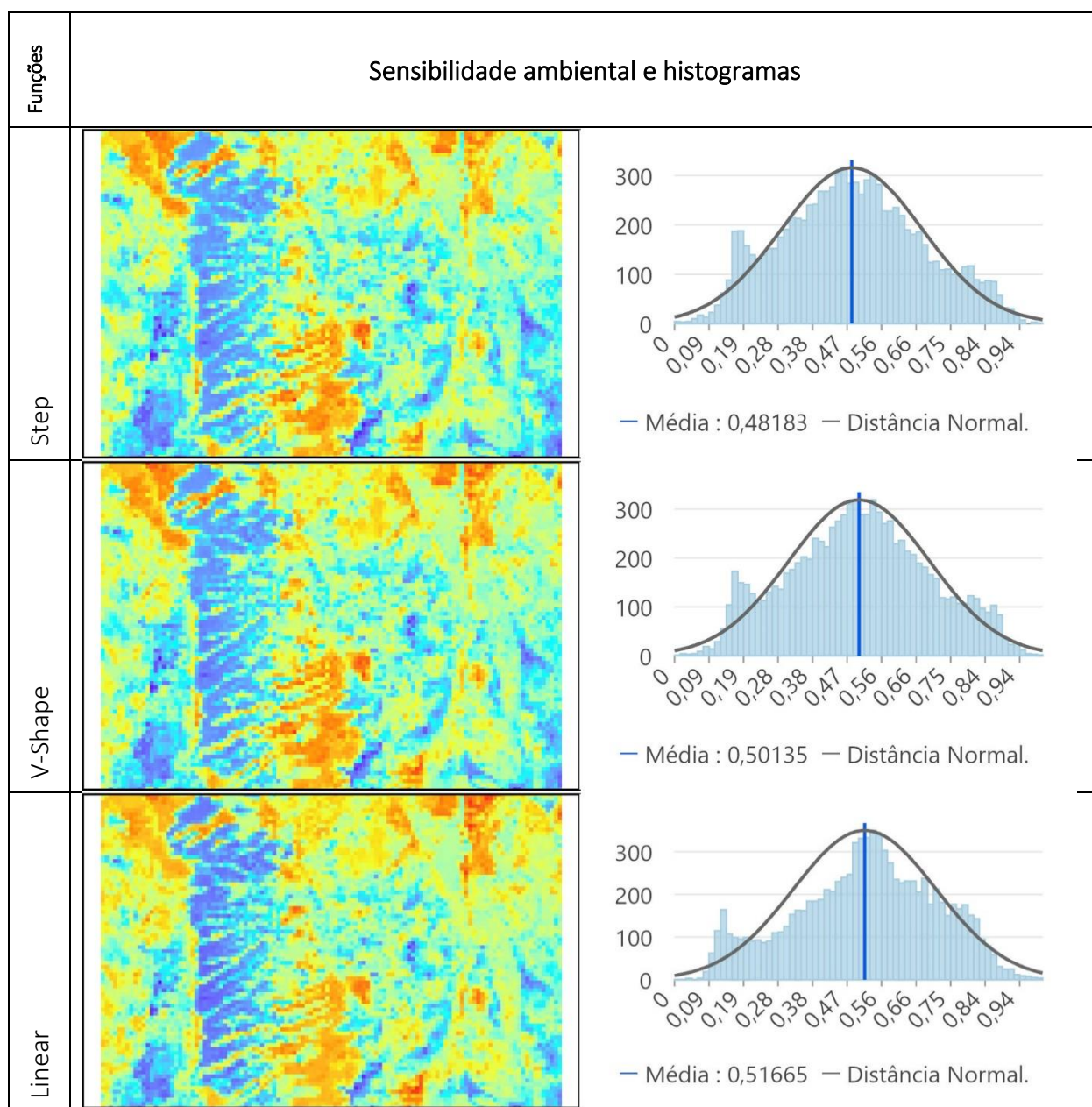


Figura 3.21 - Sensibilidade ambiental e histogramas - Funções de Preferência
 Fonte: o autor

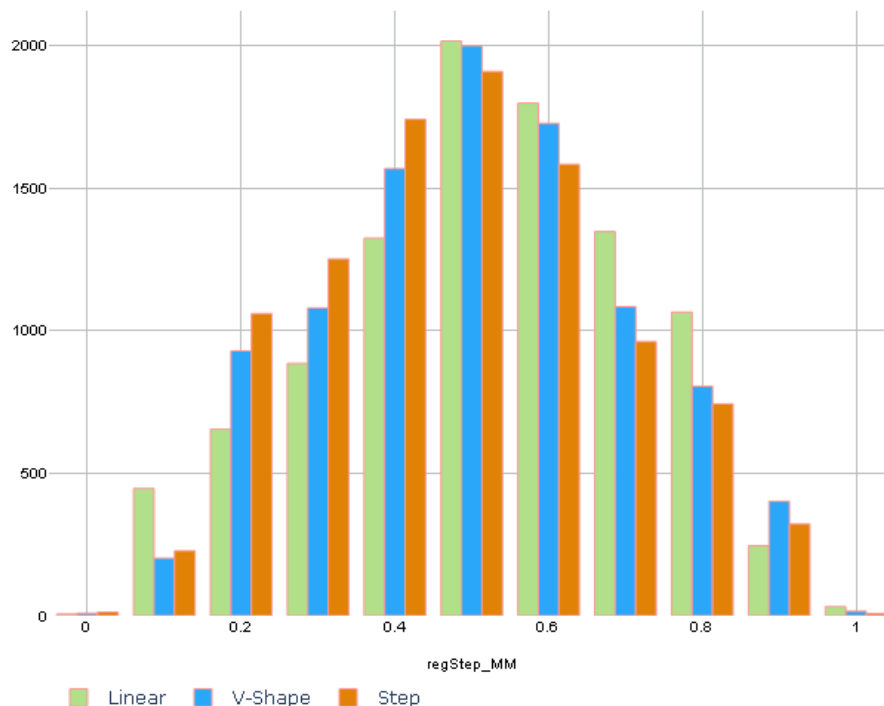


Figura 3.22 - Histogramas para avaliação entre as funções de preferência
Fonte: o autor

3.3.3. Definição da Função de Normalização dos dados

Outro ponto relevante para definição dos elementos do Estudo de Caso é a normalização dos dados de resposta do modelo Promethée, para tanto foram utilizados três tipos de resposta, tratamento de normalização padrão ou standard, com valores mínimo e máximo de [0,1] e normalização do tipo estratificada.

Todas as metodologias de normalização foram realizadas utilizando a biblioteca de algoritmos Pandas do Python.

Cumprir dizer que a normalização estratificada leva em consideração o desvio padrão como elemento de entrada para realizar a normalização.

Conforme pode ser avaliado na Figura 3.23 não foi possível identificar grandes diferenças entre os modelos de normalização, portanto, por facilidade de compreensão e comparação entre as diversas análises optou-se por normalizar os dados de saída do tipo mínimo e máximo com intervalo de [0,1].

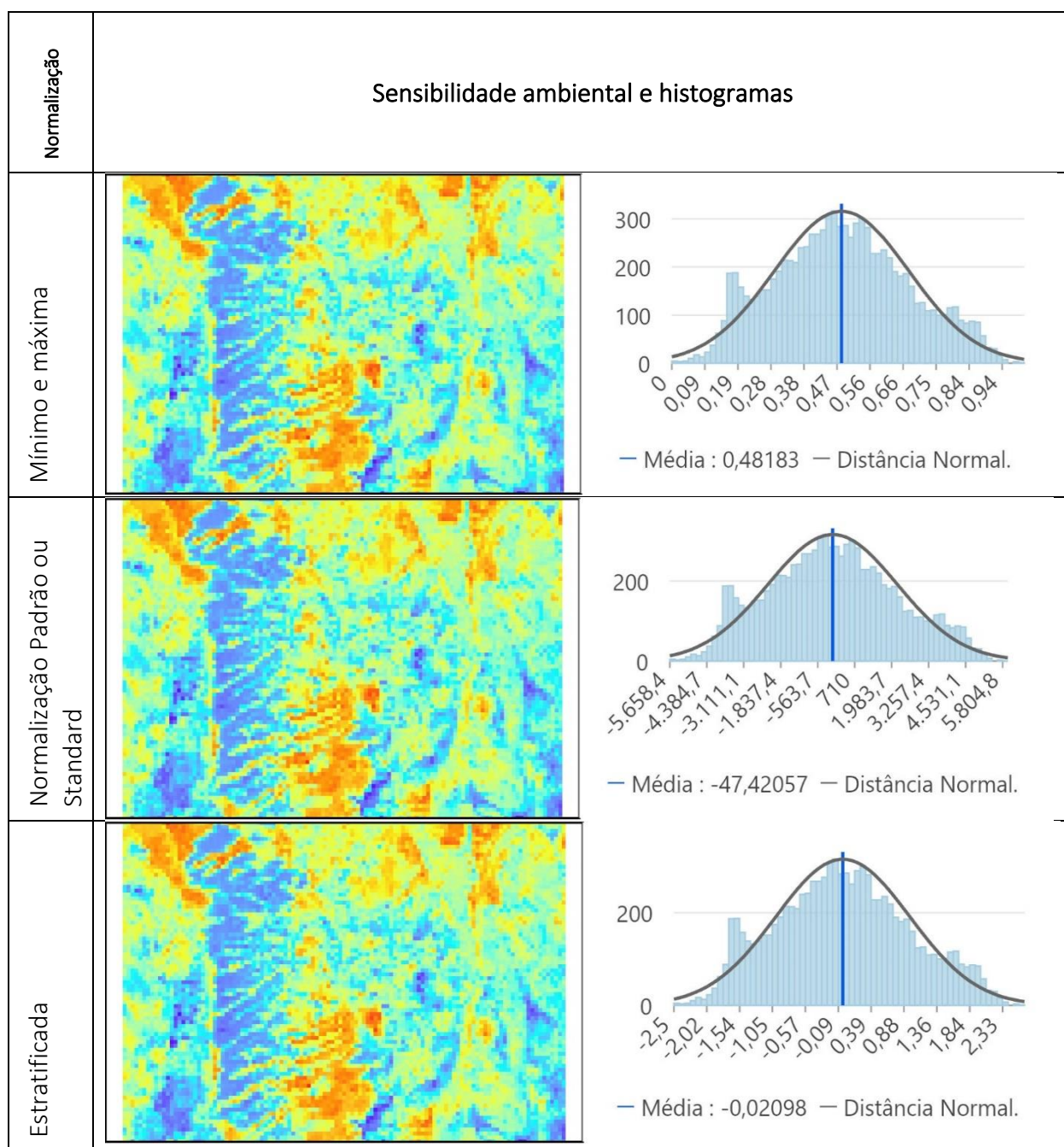


Figura 3.23 – Sensibilidade ambiental, normalização dos dados e histogramas

Fonte: o autor

3.4. Guia do Protocolo Operacional para utilização da Metodologia Proposta

Um dos produtos deste estudo foi propor uma metodologia de avaliação de sensibilidade ambiental de áreas, com utilização de métodos de hierarquização. A ideia é subsidiar gestores em aplicações práticas diversas que seja necessário a avaliação de sensibilidade ambiental de áreas.

Contudo, inicialmente, identificou-se para aplicação, em pelo menos 03 fases específicas dos empreendimentos rodoviários, sendo essas:

1. Planejar ações ambientais de acordo com a sensibilidade ambiental de cada fração do empreendimento, trazendo essa informação para o processo decisório, possibilitando focar no tratamento e análise das áreas mais sensíveis em detrimento de áreas menos importante no contexto dos SE e da preservação ambiental;
2. Auxiliar na definição de traçados rodoviários, de tal modo que a área ambiental seja um dado de entrada para o desenho dos traçados; e
3. Prover informações para subsidiar os órgãos licenciadores na condução do licenciamento ambiental, promovendo uma maior interlocução entre estes órgãos no processo de tomada de decisão

Assim sendo, caso seja necessário formular alguns desses tipos de avaliação e para fins de repetição da metodologia proposta apresentamos o presente Guia.

Do ponto de vista prático, temos no mínimo 04 níveis diferentes de detalhamento para avaliar, o primeiro do ponto de vista de planejamento que é o momento inicial do empreendimento, o segundo para prover subsídios ao licenciamento ambiental na fase inicial, o terceiro para definição de traçados rodoviários e o quarto para prover subsídios ao licenciamento ambiental em fase mais adiantada.

Por observações práticas, o nível de detalhe requerido segue do mais generalizado ao mais detalhado da fase de planejamento, passando por subsídios ao licenciamento fase inicial, definição de traçados rodoviários e por fim com mais detalhes possíveis para etapas mais avançadas do licenciamento ambiental.

Cumpre dizer que as informações provenientes da avaliação de sensibilidade ambiental de áreas não se limitam as 03 aplicações práticas propostas, podendo ser aplicado de acordo com a

necessidade de avaliação que se apresenta.

Portanto o primeiro item a ser avaliado é qual etapa a avaliação se faz necessária, para fins de possibilitar a aplicação da metodologia proposta, a figura 3.24 apresenta uma síntese dos passos necessários para aplicação da metodologia proposta.

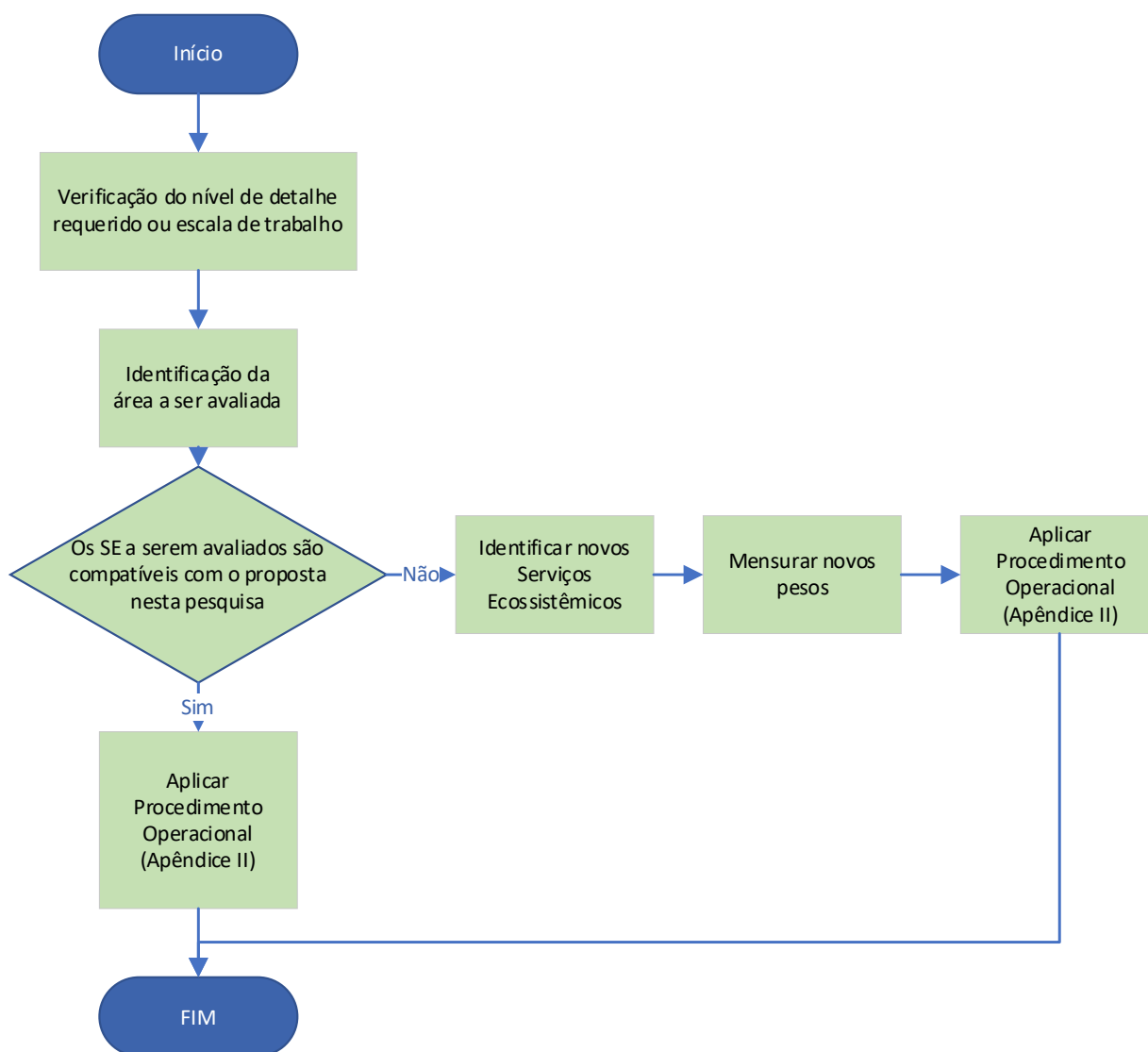


Figura 3.24 – Fluxograma do Guia para reprodução da metodologia proposta
Fonte: o autor

Essa avaliação é importante, pois por limitações de processamento, conforme foi avaliado por esta pesquisa, o ideal é ter com no máximo 10.000 mil unidades de feições – que são os tamanhos dos elementos de feições a serem gerados, esse procedimento está melhor detalhado no Apêndice II, para cada tipo de avaliação, portanto, pode ser avaliado recortes de avaliação diferentes, de acordo com a etapa prevista para avaliação.

Cumprir dizer que na fase de planejamento de empreendimentos, se faz os estudos de viabilidade, que passa por uma avaliação técnica, econômica e ambiental, para aplicação desta pesquisa, a avaliação de sensibilidade pode gerar subsídios para o decisor avaliar se o projeto é viável do ponto de vista ambiental.

Para fins de licenciamento ambiental, os empreendimentos rodoviários são considerados como “atividades modificadoras do meio ambiente” (Conama, 1986), e, portanto, envolvem sérias questões ambientais que devem respeitar os instrumentos legais, nacionais e internacionais. Segundo o DNIT (2011b), na década de 70, os sistemas de licenciamento para a instalação e funcionamento de atividades potencialmente poluidoras, geralmente eram voltados para a área industrial, “cujos efeitos poluidores em curto prazo são mais visíveis”. Desta forma, os efeitos ambientais que se configuram no longo prazo, eram relegados para segundo plano, e, nestes se inclui “a maioria dos efeitos causados pelas atividades de construção de infraestrutura de transportes”.

O processo de Licenciamento Ambiental ocorre de forma compartilhada entre os órgãos Estaduais e Municipais de Meio Ambiente, o IBAMA e o Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio) enquanto partes integrantes do SISNAMA.

De acordo com a Lei Complementar nº 140/2011 (Brasil, 2011b), os empreendimentos rodoviários com significativo impacto ambiental nacional e regional, como: os localizados na divisa do Brasil com país limítrofe; na plataforma continental ou na zona econômica exclusiva; em terras indígenas; em unidades de conservação instituídas pela União (exceto em Áreas de Proteção Ambiental – APAs) e em dois ou mais Estados a competência para licenciamento é do IBAMA, como órgão licenciador federal.

Aos órgãos ambientais estaduais é atribuída a competência para licenciar os demais empreendimentos, com exceção, daqueles que causem impactos meramente locais, situação em que a competência é dos órgãos municipais, desde que comprovada a sua capacitação técnica e número compatível de profissionais habilitados para ações administrativas, existem algumas limitações da atribuição aos órgãos estaduais estabelecidos pelo Decreto 8.437 de 22 de abril de 2015.

A Resolução Conama nº 237/1997 (Conama, 1997a), também estabelece em seu Art. 8º, os tipos de licença que devem ser expedidos pelo Poder Público, isolada ou sucessivamente, de acordo com a natureza, características e fase do empreendimento ou atividade. Estas licenças podem ser: Prévia, de Instalação ou de Operação.

- I. Licença Prévia (LP) – concedida na fase preliminar do planejamento do empreendimento ou atividade aprovando sua localização e concepção, atestando a viabilidade ambiental e estabelecendo os requisitos básicos e condicionantes a serem atendidos nas próximas fases de sua implantação. O prazo de validade desta Licença está condicionado ao cronograma de elaboração dos planos, programas e projetos relativos ao empreendimento, não podendo ser superior a 5 anos. Vale ressaltar que a concessão da LP não autoriza a execução de quaisquer obras ou atividades destinadas à implantação do empreendimento.
- II. Licença de Instalação (LI) – autoriza a instalação do empreendimento ou atividade de acordo com as especificações constantes dos planos, programas e projetos aprovados, incluindo as medidas de controle ambiental e demais condicionantes, da qual constituem motivo determinante. O prazo de validade da LI deve ser de no mínimo o estabelecido pelo cronograma de instalação do empreendimento, não podendo ser superior a 06 (seis) anos e passível de renovação.
- III. Licença de Operação (LO) – autoriza a operação da atividade ou empreendimento, após a verificação do efetivo cumprimento do que consta das licenças anteriores, com as medidas de controle ambiental e condicionantes determinados para a operação. O prazo desta licença deve considerar os prazos dos planos de controle ambiental, sendo de, no mínimo 04 (quatro) anos e no máximo 10 (dez) anos, podendo ser renovada. O órgão ambiental pode estabelecer prazos de validade específicos para a LO, na ocorrência de empreendimentos ou atividades que, por sua natureza e peculiaridade, estejam sujeitos a encerramento ou modificações em prazos inferiores.

Vale ressaltar também, que a construção, a reforma, a ampliação, a instalação ou funcionamento, em qualquer parte do território nacional, de estabelecimentos, obras ou serviços potencialmente poluidores, sem licença ou autorização dos órgãos ambientais competentes ou contrariando as normas legais e regulamentares pertinentes a licenciamentos, será constituído como crime ambiental, conforme a Lei nº 9.605/1998 (Brasil, 1998).

Segundo esta, as infrações podem se configurar como irregularidades graves, e “o não-cumprimento” das medidas necessárias à preservação ou correção dos inconvenientes e danos causados pela degradação da qualidade ambiental, acarretará: multa simples ou diária; perda ou

restrição de incentivos e benefícios fiscais; perda ou suspensão de participação em linhas de financiamento em estabelecimentos oficiais de crédito; e suspensão de sua atividade”.

Ressalta-se ainda que “cabera também ao poluidor, independentemente da existência de culpa, indenizar ou reparar os danos causados ao meio ambiente e a terceiros e, incorre no mesmo crime a autoridade competente que deixar de promover as medidas tendentes a impedir essas práticas”.

No processo de licenciamento temos a atuação de outros órgãos e entidades da Administração Pública Federal intervenientes no Licenciamento Ambiental é regulamentada pela Portaria Interministerial nº 419, de 26 de outubro de 2011 (Brasil, 2011a), de que trata o art. 14 da Lei nº 11.516, de 28 de agosto de 2007. A Lei nº 10.683/2003 (Brasil, 2003), diante das atribuições do Ministério de Estado do Meio Ambiente, da Justiça, da Cultura e da Saúde, também apresenta em seu Capítulo I, Art, 1º, o seguinte: “Esta Portaria regulamenta a atuação da Fundação Nacional do Índio - FUNAI, da Fundação Cultural Palmares - FCP, do Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional - IPHAN e do Ministério da Saúde, incumbida da elaboração de parecer em processo de licenciamento ambiental de competência federal, a cargo do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Natural Renovável - IBAMA”.

Assim, faz parte das utilizações dos Mapas de Sensibilidade, pode ser a composição dos estudos que compõe as diversas fases do licenciamento e a definição de traçados rodoviários.

Retornando a Figura 3.24, caso os SE a serem avaliados para fins de geração de Mapas de Sensibilidade forem os mesmos, basta em continuidade seguir os passos descritos no Procedimento Operacional (Apêndice II), caso contrário deve-se identificar quais os novos SE, identificar seus pesos e por analogia, aplicar o Procedimento Operacional (Apêndice II).

Referências Bibliográficas

- Borba, M. L. de; Hoeltgebaum, M.; Silveira, A. A produção científica em empreendedorismo: análise do Academy of Management Meeting: 1954-2005. Revista de Administração Mackenzie, v. 12, n. 2, p. 169-206, 2011. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ram/a/fqnWH9nmPMshw7LJtn9YkBQ/>
- Brans, J.P.; Mareschal, B.; Multicriteria Decision-Aid: The PROMETHÉE-GAIA solution. Pesquisa Operacional, v.19, n.1, p.1-25, 1999.
- Brasil. Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998. Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 13 fev. 1998 e retificado em 17 fev. 1998. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9605.htm. Acesso em: 07 agosto. 2020. Brasília, 1998.
- Brasil. Lei nº 10.683, de 28 de maio de 2003. Dispõe sobre a organização da Presidência da República e dos Ministérios, e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 29 mai. 2003. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l6938.htm. Acesso em: 07 agosto. 2020. Brasília, 2003.
- Brasil. Portaria Interministerial nº 419, de 26 de outubro de 2011. Regulamenta a atuação dos órgãos e entidades da Administração Pública Federal envolvidos no licenciamento ambiental, de que trata o art. 14 da Lei nº 11.516, de 28 de agosto de 2007. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 28 out. 2004. Disponível em: < <http://www.palmares.gov.br/wp-content/uploads/2010/11/portaria-419-11.pdf>>. Acesso em: 07 agosto. 2020. Brasília, 2011a.
- Brasil. Lei Complementar nº 140, de 8 de dezembro de 2011b. Fixa normas, nos termos dos incisos III, VI e VII do caput e do parágrafo único do art. 23 da Constituição Federal, para a cooperação entre a União, os Estados, o Distrito Federal e os Municípios nas ações administrativas decorrentes do exercício da competência comum relativas à proteção das paisagens naturais notáveis, à proteção do meio ambiente, ao combate à poluição em qualquer de suas formas e à preservação das florestas, da fauna e da flora; e altera a Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 9 dez. 2011 e retificado em 12 dez. 2011. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/lcp/Lcp140.htm. Acesso em: 07 agosto. 2020. Brasília, 2011b.
- Conama. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 1, de 23 de janeiro de 1986. Dispõe sobre critérios básicos e diretrizes gerais para a avaliação de impacto ambiental. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 17 fev. 1986. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/processos/61AA3835/LivroConama.pdf>. Acesso em: 07 agosto. 2020. Brasília, 1986.
- Conama. Resolução nº 237, de 19 de dezembro de 1997. Dispõe sobre a revisão e complementação dos procedimentos e critérios utilizados para o licenciamento ambiental. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 22 dez. 1997. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/processos/61AA3835/LivroConama.pdf>. Acesso em: 07 agosto. 2020. Brasília, 1997a.
- Conama. Resolução nº 238, de 22 de dezembro de 1997b. Dispõe sobre a aprovação da Política Nacional de Controle da Desertificação. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 23 dez. 1997. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/processos/61AA3835/LivroConama.pdf>. Acesso em: 07 agosto. 2020. Brasília, 1997b.
- Ceolim, A. JERSI. Aplicação de Metodologias Multicritério na Avaliação dos Cursos da UNESPAR/FECILCAM.

Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 2005. Dissertação de Mestrado.

Costanza, R., d'Arge, R., de Groot, R.S., Farber, S., Grasso, M., Hannon, B., Limburg, K., Naeem, S., O'Neill, R.V., Paruelo, J., Raskin, R.G., Sutton, P. & van den Belt, M. 1997. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, 387: 253-260.

Crivelente, M. R. Métodos e técnicas bibliométricos de análise de produção científica: um estudo crítico. São Paulo: Universidade de São Paulo, 2019. Dissertação de Mestrado.

DNIT. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Instrução de Serviço/DG nº 03, de 04 de fevereiro de 2011. Responsabilidade ambiental das empresas e entidades contratadas ou conveniadas para execução de empreendimentos do DNIT. Diário Oficial da União. Disponível em: <http://www.dnit.gov.br/meio-ambiente/rac/rac-is-dg-n-03-de-04-02-2011-12.pdf>. Acesso em: 07 agosto. 2020. Rio de Janeiro, 2011a.

DNIT. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. Gestão Ambiental. Infraestrutura de Transportes. Ênfase em Rodovias. Manual do Aluno. Organizadora: AVENA, Regina Célia Suzano. Rio de Janeiro: IPR, 2011b.

DNIT. Estudo de Impacto Ambiental e Relatório de Impacto Ambiental da BR-135/BA. Elaborado em 2014 pelo ITTI da Universidade Federal do Paraná.

DNIT. Estudo de Impacto Ambiental e Relatório de Impacto Ambiental da BR-242/MT. Elaborado em 2020a pela empresa Zago Engenharia Ltda.

DNIT. Estudo de Impacto Ambiental e Relatório de Impacto Ambiental para a BR-319/AM. Elaborado em 2020b pela contratada do DNIT Engespro Engenharia Ltda.

FRANCISCO, E. R. RAE-eletrônica: exploração do acervo à luz da bibliometria, geoanálise e redes sociais. *Revista de Administração de Empresas*, v. 51, n. 3, p. 280-306, 2011. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rae/a/STWjrjwqRdFMmdKTMncYLjbi/>

Graeml, A. R., Macadar, M. A., Guarido, E. e Rossoni, L. (2010) "Redes Sociais e Intelectuais na Área de Pesquisa em Administração da Informação: uma análise cientométrica do período 1997-2006", *Informação & Sociedade: Estudos*, 20(1). Disponível em: <https://periodicos.ufpb.br/ojs/index.php/ies/article/view/2182> (Acessado: 31 outubro 2023).

Millennium Ecosystem Assessment. 2005. *Ecosystems and Human Well-Being: Synthesis*. Washington, **Island Press**, 137p.

Pimenta, A. F. F. Gestão para o licenciamento ambiental de obras rodoviárias: conceitos e procedimento. **UFPR/ITTI**, 2014. 145f.

- Longo MHC, Rodrigues RR (2017). Análise de serviços ecossistêmicos na Avaliação de Impacto Ambiental: proposta e aplicação em um empreendimento mineral. DeMA. <http://dx.doi.org/10.5380/dma.v43i0.54106>. Acessado em 03 junho 2021.
- Macadar, M. A., & Reis Graeml, A. (2013). REFLETINDO SOBRE A ÁREA DE ADI: O QUE PENSAM OS PESQUISADORES DA ÁREA?. Revista Eletrônica De Administração, 16(2), 348–372. Recuperado de <https://seer.ufrgs.br/index.php/read/article/view/38852>
- Macias-Chapula, C. A.. (1998). O papel da informetria e da cienciometria e sua perspectiva nacional e internacional. Ciência Da Informação, 27(2), nd-nd. <https://doi.org/10.1590/S0100-19651998000200005>
- Mariano, A. M., & Rocha, M. S. (2017). Revisão da Literatura: Apresentação de uma Abordagem Integradora. In AEDM International Conference–Economy, Business and Uncertainty: Ideas for a European and Mediterranean industrial policy. Reggio Calabria (Italia).
- Millennium Ecosystem Assessment (MEA). Ecosystems and human well-being: global assessment reports. Washington, DC: Island Press, 2005.
- Pritchard, C. (1998). Trends in economic evaluation [OHE Briefing nº 36], Office of Health Economics, London, UK. Recuperado de http://ohematerials.org/publication_pdfs/1998_Trends_in_Economic_Eval_Pritchard_.pdf
- Sales, M. A. .; Viana, G. C. . Desafios para qualificação dos periódicos científicos digitais da Pós-Graduação na UNEB: a experiência com indicadores bibliométricos em uma revista de Educação no quadriênio 2018-2021 . RDBCI: Revista Digital de Biblioteconomia e Ciência da Informação, Campinas, SP, v. 20, n. 00, p. e022006, 2022. DOI: 10.20396/rdbci.v20i00.8668003. Disponível em: <https://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/rdbci/article/view/8668003>. Acesso em: 1 out. 2023.
- Schmitz, T.; Santos, V. dos; Truppel, E. K.; Truppel, L. Perícia Contábil: análise bibliométrica e sociométrica em periódicos e congressos, 2007 a 2011. Revista Catarinense da Ciência Contábil, v. 12, n. 37, p. 64-79, 2013. Disponível em: <http://www.anpad.org.br/admin/pdf/2>
- Souza, M. T. S. de; Ribeiro, H. C. M. Sustentabilidade ambiental: uma meta-análise da produção brasileira em periódicos de administração. Revista de Administração Contemporânea, v. 17, n. 3, p. 368-396, 2013. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rac/a/Bjdm8Ncw8mkp8scyH7bdKKc/>
- Urbizagastegui, R. La Bibliometría, Informetría, Cienciometría y otras "Metrías" en el Brasil. Encontros Bibli: Revista Eletrônica de Biblioteconomia e Ciência da Informação, v. 21, n. 47, p. 51-66, 2016. Disponível em: <https://www.redalyc.org/journal/147/147469>
- van Eck, N.J., & Waltman, L. (2010). Software survey: VOSviewer, a computer program for bibliometric mapping. Scientometrics, 84(2), 523-538

Capítulo 04 – Is the Ecosystem Services approach incorporated into road development projects in Brazil?

Artigo submetido à revista: Environment, Environmental Management, Springer.

<https://link.springer.com/journal/267>

Classificação Qualis A2 para Geociências

Fase: revisão de pares

The screenshot shows the submission status page for the article "Is the Ecosystem Services approach incorporated into road development projects in Brazil?". The page is from Springer Nature SNAPP, Environmental Management. The current status is "CURRENT STATUS" and the submission has passed technical checks and is now in peer review. The progress so far shows three steps: Submission received, Initial technical check, and Peer review (current). The submission title is "Is the Ecosystem Services approach incorporated into road development".

SPRINGER NATURE
SNAPP | Environmental Management [Account](#)

Is the Ecosystem Services approach incorporated into road development projects in Brazil?

CURRENT STATUS

Your submission has passed the technical checks and is now in peer review

We will now find the most suitable editor to manage the next steps of your submission. If your submission is successful, they will invite reviewers to peer review your work. This process can take a few weeks.

We will email agneumann@gmail.com if there are any revisions you need to make.

Progress so far [Show history](#)

- Submission received
- Initial technical check
- Peer review

Your submission

Title
Is the Ecosystem Services approach incorporated into road development

Capítulo 05 – Assessing Ecosystem Services of Roads in Brazil: Evaluating Environmental Sensitivity and Implications

Artigo submetido à revista: Transportation Research Part D: Transport and Environment, Elsevier.

<https://www.sciencedirect.com/journal/transportation-research-part-d-transport-and-environment>

Classificação Qualis A1 para Geociências

Capítulo 06 – Discussões, Percepções, Inferências e Continuidade da Pesquisa

O presente capítulo apresenta discussões, percepções, inferências, constatações e recomendações para continuidade da pesquisa aqui realizada.

A proposta é apresentar quais os principais pontos positivos e negativos identificados na condução da pesquisa, bem como propor caminhos para os enfrentamentos dos principais desafios constatados.

6.1. Referente aos Resultados obtidos na Pesquisa

6.1.1. Pesquisas na Bibliografia

Do ponto de vista das pesquisas realizada na base de dados bibliográfica disponível, identificou-se que as pesquisas que envolvem Serviços Ecossistêmicos (SE) em conjunto com implantação de empreendimentos de transportes, ainda está em fase inicial de desenvolvimento e que de modo geral tem uma pegada mais “teórica” de avaliação do que proposição de aplicações práticas, procurando mensurar as perdas da prestação de serviço do meio ambiente com a implantação de dispositivos de infraestrutura, do que propor soluções para auxiliar no planejamento e na tomada de decisão dos gestores.

Nesses termos, pesquisas com o enfoque mais propositivo para prover elementos para decisão ainda são muito restritas, contudo, algumas pesquisas já começaram a aparecer nos periódicos analisados. Destaca-se que mais recentemente foram publicadas artigo com essa pegada e com o foco em infraestrutura, entre elas se destacam Mentese e Tezer (2021), Mehlhoop et. al (2022) e Satir et. al (2023).

A respeito da condução de pesquisas bibliográficas estruturadas com SE, percebeu-se que, dada a interdisciplinaridade que envolve a temática SE, a avaliação e organização da informação de forma estrutura se torna um pouco mais difícil.

A temática SE permeia muitos campos do conhecimento e podem envolver diversas linhas de pesquisa, revistas com propósitos muito diferentes, instituições de pesquisas de diversas características, financiadores e patrocinadores de todos os campos da ciência e etc.

Além disso, identificou-se que muitas pesquisas são publicadas em revistas menores (de menor impacto) que não integram ou não aparece entre as principais sugestões da base de

pesquisa do *Web of Science* o que dificulta avaliações mais sistematizada com o argumento SE, tem-se que se considerar também a limitação de se conseguir trabalhar com somente 500 artigos por vez.

Assim, apesar da facilidade do volume de informações e publicações disponíveis para consulta, por meio da rede mundial de computadores, constatou-se elevada dificuldade de organizar a informação disponível e identificar quais são as principais linhas de pesquisa atuais, bem como o caminho que o estado da arte está percorrendo.

Nesses termos, em que pese se tenha diversas outras bases de dados para se avaliar pesquisas, a falta de estruturação e organização da base dificulta avaliações bibliométricas, o Google Acadêmico, por exemplo, apesar de ter uma vasta coleção de pesquisa em sua base de pesquisa, não necessariamente apresenta as pesquisas com maiores relevância e estruturação adequada para permitir análises. Por esta razão, Web of Science se demonstrou mais eficiente para este tipo de pesquisa.

Apesar disso, nos termos da Figura 1.1 (pag. 01) o número crescente de publicações com SE demonstra a importância dessa linha de pesquisa no âmbito das ciências do meio ambiente. No Brasil, a realidade encontrada não diverge com a realidade internacional.

Outro ponto que dificultou a avaliação bibliométrica de pesquisas é identificar quais pesquisas foram realizadas no Brasil, uma vez que os pesquisadores nacionais muitas vezes se associam com pesquisadores internacionais e publicam suas pesquisas em periódicos também internacionais e no idioma inglês.

Portanto separar o que de fato é pesquisa nacional com o que é pesquisa internacional não se demonstrou ser uma tarefa fácil.

Contudo, corroborando com as constatações desta pesquisa, Parron et. al (2019) em seu estudo apresentou que as pesquisas de SE cresceram rapidamente nas últimas duas décadas, e o Brasil acompanhou essa evolução com um aumento no número de publicações e expansão de disciplinas em cursos de graduação e pós-graduação.

Continuam os autores apresentando que a maioria dos estudos é relacionado à avaliação de diferentes tipos de SE e ao desenvolvimento de metodologias para sua avaliação e monitoramento. Os SE mais comuns estão relacionados à biodiversidade, sequestro de carbono e água. Apresentaram, ainda, que isso era esperado devido aos principais problemas relacionados aos SE, como a perda de biodiversidade e o comprometimento de suas funções nos ecossistemas; a preocupação global com as mudanças climáticas e os esforços para mitigar seus efeitos; e, por

fim, a crescente preocupação com os frequentes problemas relacionados à água em várias partes do mundo (Parron et. al 2019).

Além disso, Parron et. al (2019) a maioria dos estudos (33%) são análises, opiniões e revisões, o que é um indicativo de que o tema de SE está em pleno debate pela comunidade científica, provavelmente porque é recente, e, portanto, revisões e análises de trabalhos nessa área devem ser consolidadas para que um consenso possa ser alcançado.

Coadunando com Parron et. al (2019) identificou-se que a temática mudanças climáticas são frequentes em estudos de SE e que proposições de aplicações práticas ainda são incipientes, abrindo um campo vasto de pesquisa para essa área, tanto com a parte da operacionalização de avaliações de abordagens envolvendo SE, quanto no estudo de definições, conceituação, categorizações e demais elementos de cunho formal dos SE.

6.1.2. Questionários, avaliações de pesos e licenças ambientais

Destaca-se que a presente pesquisa foi diretamente impactada pela pandemia ocasionada pelo COVID-19, o principal impacto constatado foi referente a aplicação dos questionários com os atores da decisão.

O isolamento social e o trabalho remoto dificultaram significativamente o contato com atores envolvidos em toda a temática ambiental.

Assim, a análise, por falta de respostas, limitou-se aos atores envolvidos nas atividades ambientais ligadas as instituições que implantam a infraestrutura, no caso concreto, ao Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT), neste espeque, a visão ficou mais restrita a quem atua com a implantação em si, que pode ser diferente de outros atores, como pesquisadores ou agentes dos órgãos de licenciamento e outras áreas do campo ambiental.

Nesses termos, uma proposta de continuidade da pesquisa, pode ser, realizar avaliações e questionários com todos os agentes envolvidos, citando por exemplo: a academia, agentes dos órgãos de licenciamento, usuários das infraestruturas de transportes, comunidades impactadas e etc.

Vale dizer, que os agentes do DNIT que responderam os questionários foram aqueles que diretamente tem ligação com a condução de processos de licenciamento ambiental e não necessariamente representam a visão da instituição como um todo.

No DNIT não se tem estruturado de modo formal em seus normativos a linguagem de SE, contudo, foi possível identificar, com a aplicação dos Questionários, que o corpo técnico da instituição já tem familiaridade com a temática de SE. Portanto, a visão dentro da instituição não está atualmente refletindo o que os funcionários estão enxergando com as políticas aplicadas ao meio ambiente do DNIT.

Contudo, entende-se que os resultados foram promissores e relevantes, mesmo com as limitações da pesquisa apresentadas nos parágrafos anteriores e que poderá permitir ao DNIT como instituição uso da presente pesquisa uma rotina de trabalho, fazendo com que a percepção conceitual de seus funcionários passe a refletir em procedimentos operacionais e aplicações práticas para a temática.

Considerando as respostas obtidas com os questionários, constatou-se que a relação entre se sentir conectado à natureza e valorização dos SE culturais foi observada, especialmente quando se trata dos SE relacionados à arqueologia e às comunidades tradicionais, como quilombolas e povos indígenas. Ainda não está claro se essa valorização ocorre devido a esses serviços serem elementos que tornam o processo de licenciamento mais complexo, ou se existe uma genuína preocupação por esses aspectos, podendo ser esse mais um item de investigação para trabalhos futuros.

Ademais, constatou-se que aqueles que possuem uma conexão mais forte com a natureza tendem a atribuir valores maior aos serviços de Regulação. Portanto, concluiu-se que essa relação se justifica, pois, serviços de Regulação estão mais diretamente relacionados à conservação ambiental.

A opinião predominante entre os engenheiros que atuam no DNIT é que ao avaliar os empreendimentos, os serviços relacionados à regulação e provisão são mais preocupantes, sugerindo uma inclinação mais forte para esses tipos de serviços. Embora os serviços de Provisão e Regulação tenham sido geralmente considerados os mais importantes pelos empreendedores, não está claro se há uma preocupação genuína com os SE culturais ou se sua importância decorre das conhecidas dificuldades em abordá-los dentro do escopo do licenciamento ambiental.

Uma visão equilibrada da verificação dos SE nas avaliações de projetos rodoviários, com os serviços de Regulação e Provisão sendo considerados os mais significativos pelos profissionais do setor. No entanto, não se pode confirmar se a abordagem dos SE foi incorporada às avaliações de projetos. Mesmo assim, a utilização dessa abordagem para avaliação pode ser benéfica, pois pode auxiliar os gestores a tomar decisões mais eficientes em relação ao licenciamento ambiental.

6.1.3. Resultados obtidos

Com os resultados apresentados, observou-se que o uso e ocupação está entre os fatores mais cruciais no processo de tomada de decisão. Isso era esperado devido a sua importância para a preservação dos SE e também porque, dos 22 dados de entrada, 09 estão diretamente relacionados ao uso da terra.

Portanto, a variável do uso e ocupação da terra influencia significativamente o processo de tomada de decisão, já que alterações em seu uso impactam inevitavelmente os SE. O ciclo da água surgiu também como um dos aspectos mais importantes em todos os processos de tomada de decisão, proporcionando contribuições substanciais para a hierarquia das áreas mais sensíveis.

Cumprir destacar que o ciclo da água também tem uma relação sinérgica com Rodovias, seja pelo impacto causado pela sua implantação ou pelo impacto que a rodovia sofre devido a perdas com eventos extremos.

Em seguida, elementos relacionados à provisão de alimentos e à preservação cultural e histórica das comunidades também desempenharam papéis significativos. Permitindo concluir que garantir as necessidades humanas básicas e preservar sua história dentro do contexto social são altamente valorizados como SE essenciais.

TEEB (2010) corroborando com a presente pesquisa identificou que a mudança no uso e ocupação do solo não traz apenas alterações físicas ao lugar, mas também tem consequências socioculturais, uma vez que essas áreas são fornecedoras significativas de SE culturais, que são os benefícios não materiais que os seres humanos obtêm da natureza.

Além disso, em avaliações similares, Menteşe e Tezer (2021) concluíram que a alteração no uso e ocupação do solo é uma das principais causas de perdas de prestação de SE. Na análise realizada pelos autores em Istambul, em 03 projetos avaliados, a saber: Rodovia do Norte de Marmara, Aeroporto de Istambul e Canal de Istambul, foram identificadas alterações significativas na prestação de SE com a alteração de uso e ocupação do solo, tais constatações corroboram os resultados obtidos por esta pesquisa.

Também tratando da importância da alteração do uso e ocupação do solo, Tezer et al (2020) concluíram em sua investigação que a queda no fornecimento de SE em todo o mundo está principalmente associada à mudança do uso e ocupação da terra, que é o resultado básico da degradação dos ecossistemas. Destacando na pesquisa que as mudanças associadas ao

desenvolvimento do uso da terra frequentemente impactam negativamente os ecossistemas para sustentar seus serviços.

Do ponto de vista da ausência de metodologia prática que auxilie os gestores a terem uma visão mais efetiva sobre o impacto na prestação de SE, corroborando com os achados desta pesquisa Satir et al (2023) apresentou que a urbanização rápida e a crescente infraestrutura de transporte em cidades afetam negativamente os ecossistemas e suas funções. Entende os autores que quantificar esses efeitos é um pré-requisito para integrar considerações ambientais em todas as fases do planejamento de transporte. No entanto, destacam os autores em muitos países em desenvolvimento ou recentemente desenvolvidos, faltam pesquisas que ajudem a compreender e gerenciar os impactos ecológicos da construção de infraestrutura de transporte em condições locais.

Satir et al (2023) assim como a presente pesquisa concluíram que uma metodologia abrangente que inclui SIG e modelagem foi uma maneira eficiente de examinar camadas heterogêneas de SE, no caso da pesquisa dos autores foi avaliada a regulação climática local, controle de erosão e potencial de fotossíntese em uma região complexa. Sendo que os autores apresentaram que a perda no fornecimento de SE nas atividades de construção em grande escala e a pressão associada sobre a paisagem foram significativas.

Do mesmo modo, Tezer et al (2020) constatou alinhado com esta pesquisa que a ausência de uma metodologia organizada dificulta a avaliação de perdas e ganhos de SE em implantações rodoviárias, na pesquisa conduzida pelos autores a falta de capacidade da análise contemporânea de adequação do uso e ocupação da terra, na abordagem de suporte à decisão baseada em SE exige um novo método analítico que integre ES para promover a sustentabilidade de maneira mais eficiente na tomada de decisões espaciais e na gestão de ecossistemas.

Tezer et al (2020) trouxe ainda como conclusão em sua pesquisa, que embora haja uma atenção crescente à melhoria de dados baseados em SE e à espacialização de dados de SE por meio de mapeamento e valoração em níveis locais e globais, a configuração de uma ferramenta analítica de suporte à decisão baseada em SE ainda não foi desenvolvida para ser usada em fins de tomada de decisões espaciais. Os resultados daquela pesquisa comprovam que esse tipo de abordagem, baseada em SE para a tomada de decisões espaciais, pode formular de maneira mais eficaz e contribuir para uma tomada de decisão espacial mais abrangente e holística.

Como pode ser observado nas pesquisas apresentadas por Satir et al (2023) e Tezer et al (2020) e o desafio na análise realizada pelos autores apontam no sentido da necessidade de organizar melhor as camadas de avaliação para o suporte decisório.

Portanto, alinhado com essa linha de pesquisa, uma das características mais notáveis da metodologia proposta é a organização em camadas de decisão, o que auxilia os tomadores de decisão no planejamento de ações. Avaliar 22 camadas de SE não é uma tarefa simples para a mente humana. No entanto, quando as informações são organizadas em quatro camadas, cada uma representando as categorias de SE usadas na pesquisa - Regulação, Provisão, Suporte e Cultural -, isso auxilia na tomada de decisões e melhora a compreensão do problema.

É importante destacar que, embora o uso da terra seja uma das características essenciais na avaliação dos SE, não podemos afirmar que a simples implantação de uma rodovia resulta em uma alteração significativa no uso da terra. Muitas vezes, as mudanças ocorrem devido à falta de integração entre os vários órgãos governamentais responsáveis pelo uso da terra no Brasil.

Por um lado, a valorização imobiliária decorrente da construção da rodovia e a expectativa de alterações no uso da terra em suas proximidades são evidentes. No entanto, não podemos atribuir esse problema exclusivamente às rodovias, mas sim a uma falta de ação coordenada dos serviços públicos na contenção do aumento de ocupações nas áreas influenciadas pela rodovia.

Portanto, esta pesquisa pode contribuir para a integração, promovendo o conhecimento e a definição de um zoneamento ecológico alinhado com requisitos econômicos, a fim de minimizar os impactos na provisão de SE. Além disso, os dados obtidos podem favorecer a criação de zonas de expressão ambiental, fornecendo subsídios para a formulação de políticas públicas e a integração entre os diversos agentes envolvidos na definição de normas, no uso da terra, na gestão ambiental e na fiscalização da ocupação.

Assim sendo, os resultados obtidos podem possibilitar uma melhor compreensão dos gestores para facilitar o planejamento de ações ambientais com base na sensibilidade ambiental de cada área, permitindo a priorização de investimentos em áreas mais sensíveis, seguindo diretrizes de preservação preestabelecidas. A implantação de um sistema em geoportal pode ser uma das formas de alcançar esse objetivo, podendo inclusive ser no aprimoramento da iniciativa da Infra S.A. apresentada na Apresentação e Considerações desta Tese de Doutorado, págs. ix a xvii.

Ademais, cumpre dizer, que além das camadas divididas por categoria, as Figuras 5.9, 5.14 e 5.19 (Capítulo 5, pág. 140, 148 e 153) apresentam uma avaliação abrangente, considerando todas as categorias de SE. Isso contribui para a definição de rotas rodoviárias, de forma que as considerações ambientais se tornem insumos para o projeto de trajetos.

As camadas de análise propostas também oferecem potencial para fornecer informações de suporte a órgãos regulatórios nos processos de licenciamento ambiental.

De maneira geral, as camadas de decisão exibiram comportamento gaussiano nos índices de sensibilidade ambiental. Isso sugere que, com base nos dados apresentados, é possível criar soluções que permitam o desenvolvimento rodoviário ao mesmo tempo que garantem a preservação ambiental.

Essa premissa se mantém verdadeira quando as soluções de engenharia rodoviária se esforçam para utilizar áreas menos sensíveis para a instalação de infraestrutura.

6.2. Referente à Metodologia Proposta

A metodologia proposta utiliza como premissa a utilização de bases de dados geoespaciais, modelagem multicritério e ferramentas de operação em bases geoespaciais. Considerando os resultados encontrados e que se tinha como propósito utilizar ferramentas e informações disponibilizadas gratuitamente, entendemos que o objetivo foi alcançado.

Como proposta para pesquisas posteriores, propomos a formulação de índices que possam ser comparáveis entre avaliações específicas realizadas com SE.

6.2.1. Serviços Ecossistêmicos, Indicadores e Bases de Dados

Quanto aos serviços ecossistêmicos é possível verificar que este campo ainda tem muito a ser explorado, tanto na definição de quais SE são impactados pela alteração do uso e cobertura do solo, quanto pela implantação e operação de dispositivos de transportes, em especial do modal rodoviário.

Além da definição, qual são indicadores e quais bases de dados podem ser utilizadas para gerar informações de cada um dos SE é um campo aberto para diversas pesquisas.

6.2.2. Áreas de Recorte, Geração de Grades e Escalas de Trabalho

A definição da área de recorte, geração de grades e escalas de trabalho na presente pesquisa foi realizada de modo empírico e fazendo uma avaliação com os resultados obtidos, assim a definição desses elementos na pesquisa, pode ser também um campo exploratório em pesquisas futuras.

Essas pesquisas podem propor parâmetros para a definição de cada um desses elementos e fazer avaliações específicas com as respostas obtidas.

6.2.3. Modelagem Multicritério

A modelagem multicritério de problemas de decisão já vem sendo utilizada a algum tempo na área ambiental, Huang et al (2011) avaliaram o uso de métodos multicritérios no período entre 2000 a 2009 em seu artigo sob o título em tradução livre “dez anos de aplicação de multicritério no suporte à decisão na ciências ambientais”.

Huang et al (2011) concluiu que embora o uso de métodos e ferramentas específicos varie em diferentes áreas de aplicação e regiões geográficas, na pesquisa após avaliação em alguns artigos, nos quais vários métodos foram usados em paralelo para o mesmo problema, os autores indicaram que independente da modelagem utilizada os resultados obtidos da modelagem à decisão não variam significativamente com o método aplicado.

Os mesmos autores identificaram que das 312 publicações analisados com Métodos Multicritérios na área ambiental, apenas 25 utilizaram o *Promethée*, sendo a mais relevante seu uso na área de estratégia ambiental e nenhum na área de SIG, para aplicações em SIG foram mais utilizadas as modelagens com AHP/ANP e MAUT/MAVT.

Tal informação corrobora o caráter de inovação da presente Tese de Doutorado, pois foi utilizado o método *Promethée* para fazer hierarquização de áreas de maior sensibilidade ambiental para implantação de rodovias.

Nas pesquisas avaliadas, utilizando o *Promethée*, a maior parte das publicações envolviam Qualidade do Ar ou Emissões (60%), Gerenciamento de Resíduos (13%), Energia (12%), Estratégia Ambiental (11%) (Huang et al 2011).

Cegan et al (2017) concluíram que o valor adicional da utilização do conceito de SE na Análise de Decisão Multicritério (MCDA) ao abordar a gestão da água está principalmente

relacionado à estrutura sistemática e aos sistemas de classificação para identificar os SEs relevantes para o problema, fornecidos pelo conceito de SE.

Ainda apresentam os autores que a utilização do conceito de SE também pode aumentar a comparabilidade dos casos ao fornecer um conjunto comum de critérios. Isso é especialmente importante em situações em que um sistema de indicadores comuns é criado; Mapas de calor altamente ilustrativos, que usam classificação por cores para descrever, por exemplo, o valor dos SEs em áreas específicas, podem ser usados para apresentar os resultados das análises de SE (Cegan et al 2017).

Interessante é que tanto a pesquisa conduzida por Huang et al (2011), quanto (Cegan et al 2017) concluem que há um elevado potencial de uso da modelagem multicritério com SE para avaliações ambientais.

Assim, do ponto de vista exploratório entendemos que a pesquisa cumpriu seu objetivo, sendo uma possibilidade para novos estudos, avaliar outras ferramentas de apoio à decisão e outras formas de modelagem de MCDA.

6.2.4. Processamento Computacional

Para facilitar e reduzir a demanda computacional, recomenda-se como continuidade de estudos que forem evoluir a presente tese, a otimização do algoritmo proposto, com atenção especial ao tamanho das matrizes geradas, podendo ser geradas otimizações dessas matrizes ou até mesmo avaliações escalonadas das ações, fazendo por exemplo, avaliações primeiro de linhas e em seguida de colunas.

Tal proposta demandaria tempos muito maiores de processamento, pois aumentaria significativamente o número de loops de avaliação, contudo permitiria avaliações de quantidade maiores de elementos.

Além da proposta de otimização do algoritmo, pode-se avaliar a proposição de algoritmos que contemplem a utilização de funções de preferências diferentes para cada critério, para esta pesquisa, utilizou-se como premissa, a mesma função de preferência para todos os itens analisados.

6.3. Aplicação Prática dos Resultados

Do ponto de vista de aplicação prática, infere-se que os resultados obtidos se demonstraram adequados para prover subsídios à decisão no planejamento ambiental, em qualquer uma de suas fases, além de informações para a contribuição na definição de traçados e na condução de licenciamento ambiental.

Podendo ser utilizado no planejamento ambiental, pois os resultados obtidos, podem, por exemplo, servir de instrumento para propor novas áreas de Preservação Ambiental, áreas para Recuperação Ambiental e também na indicação de pontos de monitoramento ambiental, trazendo para a decisão a necessidade de investimento de recursos em áreas com maior importância na manutenção das condições ambientais. Essas mesmas premissas também atendem itens nas etapas da condução do licenciamento ambiental.

Na definição de traçados, pois pode conduzir os projetistas a utilizarem áreas menos sensíveis do ponto de vista ambiental para implantar as infraestruturas rodoviárias.

González et al (2019) apresenta que o planejamento estratégico fornece uma visão para intervenções futuras no desenvolvimento setorial em uma região. Uma abordagem sustentável ao planejamento requer que planejadores e tomadores de decisão compreendam não apenas os padrões de crescimento socioeconômico e as necessidades de desenvolvimento associadas, mas também a suscetibilidade intrínseca de receptores ambientais e do ambiente receptor como um todo. Essa base de conhecimento é um pré-requisito para direcionar os desenvolvimentos para locais menos vulneráveis ou sensíveis, a fim de evitar ou reduzir os impactos ambientais e promover o desenvolvimento sustentável.

Gonzalez (2017) apresentou considerações sobre sensibilidade ou vulnerabilidade ambiental são críticas na gestão de recursos naturais, especialmente na análise das interações entre a sociedade e os ecossistemas. No contexto dos requisitos legislativos para avaliação de impacto, os termos são frequentemente usados de forma intercambiável ao descrever recursos naturais suscetíveis (por exemplo, habitats protegidos, corpos d'água) que poderiam ser significativamente afetados (por exemplo, perturbados, degradados) por estressores antropogênicos associados à implementação de um plano, programa ou projeto.

Menteşe e Tezer (2021) sugerem que as avaliações de impacto ambiental para investimentos de infraestrutura devem representar uma perspectiva abrangente baseada em abordagens mais simplistas, mas informativas, que destaquem as perdas potenciais não apenas

dos ativos ecológicos, mas também de suas funções e benefícios. Nesse contexto, é fortemente recomendado que haja uma mudança de paradigma na compreensão do "impacto ambiental" em uma direção em que o ambiente não seja considerado apenas como uma "cobertura terrestre" sólida, rígida e estável, mas sim como um organismo vivo que produz benefícios e serviços para todos os componentes do ecossistema na Terra, incluindo a humanidade.

Gallardo et al. (2022) trouxeram que o escalonamento na avaliação de impacto tem sido defendido para incorporar metas ambientais em diferentes níveis de planejamento. Da mesma forma, o conceito de SE tem recebido cada vez mais atenção pelo seu potencial de contribuir para a difícil missão de integrar as visões fragmentadas da dependência da sociedade em relação à natureza ao tomar decisões sobre propostas de desenvolvimento e políticas públicas.

Concluíram Gallardo et al. (2022) que apesar da avaliação de SE no caso estudado na pesquisa não ser explícita, a consideração explícita e antecipada dos SE é necessária para apoiar uma avaliação integrada e a consideração estruturada de sistemas socioecológicos na tomada de decisões e para revelar compensações que normalmente ficam ocultas em avaliações fragmentadas.

Pradhan et al (2022) apresentaram estudo que foi realizado um mapeamento das potenciais zonas sensíveis ao óleo na costa de Odisha. Os mapas gerados classificaram diferentes índices de sensibilidade aos impactos de derramamentos de óleo. O estudo ajudaria a identificar e determinar as áreas vulneráveis ao impacto de derramamentos de óleo ao longo da costa e facilitaria melhores medidas de prevenção para proteger o ecossistema costeiro. As zonas de alta sensibilidade ao longo da costa são avaliadas. Essas avaliações ajudam a decidir as prioridades de proteção em caso de derramamento de óleo. Os mapas e resultados ajudariam a elaborar um plano de desenvolvimento sustentável para proteger a costa. A área total de sensibilidade costeira dissemina informações e conhecimentos sobre o impacto do derramamento de óleo na costa de Odisha.

Satir et al (2023) em sua pesquisa apresentaram que resultados indicam que os planos de gestão devem ser ajustados para limitar as atividades de construção em zonas sensíveis próximas às áreas de alto fornecimento de SE. Uma análise dos efeitos adversos das construções de estradas ou pontes sobre o fornecimento de SE deve ser considerada em futuros planos de gestão e tomada de decisões. Os pesquisadores concluem ainda que é importante destacar que os impactos múltiplos de estradas ou pontes são irreversíveis e não podem ser totalmente remediados. Isso é

Uma indicação crítica de que as redes de transporte devem ser projetadas e implementadas de maneira a permitir que uma proporção significativa das paisagens permaneça em seu estado natural. Além disso, é especialmente importante usar medidas de mitigação e compensação para reduzir os efeitos adversos das redes de transporte propostas (Satir et al, 2023).

Ademais, Satir et al (2023) apresenta que para a preservação eficiente da integridade ecológica e a redução dos efeitos adversos do desenvolvimento rápido de infraestrutura, a quantificação dos impactos potenciais é fundamental. O estudo mostrou como os impactos das atividades de construção sobre o fornecimento de SE nas cidades e outras áreas habitadas podem ser analisados. Destacando que uma abordagem dessa categoria pode ser útil para estudos de avaliação de impacto, orientar atividades de regeneração e, por fim, aumentar a resiliência dos ecossistemas.

Nesses termos, avalia-se que é promissor a utilização de modelagem de apoio à decisão, SE e ferramentas computacionais para se avaliar ambientalmente a sensibilidade de áreas.

6.4. Propostas para continuidade à Pesquisa

Os resultados se demonstraram satisfatórios, contudo, alguns itens podem ser evoluídos, avaliados e tornar o resultado ainda mais robusto, assim recomenda-se as seguintes evoluções para a presente pesquisa, em trabalhos futuros:

- Investigação das percepções de SE com todos os atores envolvidos com a implantação de rodovias;
- Avaliar individualmente como mensurar cada um dos indicadores de SE, bem como propor formas de validação;
- Avaliar outros métodos de apoio à decisão como modelo para hierarquizar as áreas de sensibilidade ambiental;
- Propor metodologia para avaliar escalas de trabalho para orientar a avaliação de sensibilidade ambiental com SE.

Referências Bibliográficas

- Cegan, Jeffrey C., Ashley M. Fillion, Jeffrey M. Keisler, and Igor Linkov. "Trends and Applications of Multi-criteria Decision Analysis in Environmental Sciences: Literature Review." *Environment Systems & Decisions* 37.2 (2017): 123-33. Web. Acessador em 20 de agosto de 2023.
- Gallardo, Amarilis Lucia Casteli Figueiredo, Josianne Cláudia Sales Rosa, and Luis Enrique Sánchez. "Addressing Ecosystem Services from Plan to Project to Further Tiering in Impact Assessment: Lessons from Highway Planning in São Paulo, Brazil." *Environmental Impact Assessment Review* 92 (2022): 106694. Web.
- Gonzalez Del Campo, Ainh. "Mapping Environmental Sensitivity: A Systematic Online Approach to Support Environmental Assessment and Planning." *Environmental Impact Assessment Review* 66 (2017): 86-98. Web.
- González, Dr Ainhoa, Justin Gleeson, and Eoghan McCarthy. "Designing and Developing a Web Tool to Support Strategic Environmental Assessment." *Environmental Modelling & Software : With Environment Data News* 111 (2019): 472-82. Web.
- Huang, Ivy B., Jeffrey Keisler, and Igor Linkov. "Multi-criteria Decision Analysis in Environmental Sciences: Ten Years of Applications and Trends." *The Science of the Total Environment* 409.19 (2011): 3578-594. Web. Acessado em 20 de Agosto de 2023.
- Mehlhoop, A.C., Skrindo, A.B., Evju, M. & Hagen, D. (2022) *Best practice—Is natural revegetation sufficient to achieve mitigation goals in road construction?* *Applied Vegetation Science*, 25, e12673. Available from: <https://doi.org/10.1111/avsc.12673>, acesso em 18 de agosto de 2023
- Menteşe, Emin Yahya, and Azime Tezer. "Impacts of Infrastructure Developments on Ecosystem Services Potential in Istanbul." *Frontiers in Environmental Science* 9 (2021): Frontiers in Environmental Science, 2021, Vol.9. Web.
- Parron, Lucilia Maria, Elaine Cristina Cardoso Fidalgo, Alessandra Polli Luz, Monica Matoso Campanha, Ana Paula Dias Turetta, Bernadete Conceição Carvalho Gomes Pedreira, and Rachel Bardy Prado. "Research on Ecosystem Services in Brazil: A Systematic Review." *Revista Ambiente & Água* 14.3 (2019): 1-17. Web. Acessado em 20 de agosto de 2023.
- Pradhan, Binapani, Madhumita Das, and Chinmay Pradhan. "A Systematic Approach to Environmental Sensitivity Index Mapping Along Odisha Coast, India." *Thalassas : Revista De Ciencias Del Mar* 38.2 (2022): 1213-232. Web.
- Satir, O., Yeler, S.T., Donmez, C. et al. *Evaluating ecosystem service changes in a frame of transportation development in Istanbul*. *Environ Monit Assess* 195, 801 (2023). <https://doi.org/10.1007/s10661-023-11404-5>, acesso em 18 de agosto de 2023.
- Satir, Onur, Sevim Tugce Yeler, Cenk Donmez, and Carsten Paul. "Evaluating Ecosystem Service Changes in a Frame of Transportation Development in Istanbul." *Environmental Monitoring and Assessment* 195.7 (2023): 801. Web.

TEEB (2010), *The Economics of Ecosystems and Biodiversity Ecological and Economic Foundations*. Edited by Pushpam Kumar. Earthscan: London and Washington.

Tezer, Azime, Zeynep Turkay, Osman Uzun, Fatih Terzi, Pinar Koylu, Elif Karacor, Nilgun Okay, and Melek Kaya. "Ecosystem Services-based Multi-criteria Assessment for Ecologically Sensitive Watershed Management." *Environment, Development and Sustainability* 22.3 (2020): 2431-450. Web.

Capítulo 07 – Conclusões da Pesquisa

Esta tese de doutorado teve como principal objetivo avaliar a aplicação da abordagem de Serviços Ecossistêmicos (SE) como suporte ambiental para a tomada de decisões na execução de empreendimentos rodoviários. Com base na pesquisa e nos resultados obtidos, conclui-se que a avaliação ambiental de áreas com sensibilidade hierárquica pode ser uma ferramenta valiosa para auxiliar gestores na tomada de decisões.

Metodologicamente, conclui-se que a abordagem de SE possui um grande potencial de utilização, devido à sua facilidade conceitual e à capacidade de categorização, o que também facilita o processo de tomada de decisões.

Além disso, foi analisada a percepção do conceito de SE dentro das instituições de infraestrutura de transportes. Verificou-se que os funcionários do DNIT têm compreensão dos conceitos que envolvem SE, porém não foi identificado um alinhamento estratégico entre a compreensão dos funcionários e as premissas ambientais propostas pela instituição, do ponto de vista de SE, identificando que um dos encaminhamentos desta pesquisa pode ser atualizar os diversos normativos ambientais dessa instituição, de tal modo a favorecer a utilização desta terminologia, promovendo um melhor alinhamento entre a percepção dos funcionários e as diretrizes ambientais da organização.

Ademais, esta pesquisa ressaltou a importância do uso da terra na avaliação dos SE, sendo que, com todo o levantamento bibliográfico realizado, inferiu-se que a construção de rodovias por si só não é a única causa das mudanças no uso do solo associadas a elas; frequentemente, as alterações são resultado da falta de coordenação dos diversos agentes dos serviços públicos na gestão das ocupações dessas áreas. Assim, os Mapas de Sensibilidade Ambiental gerados como resultado desta pesquisa, podem facilitar a criação de zonas de expressão ambiental, apoiar a formulação de políticas públicas e promover a colaboração entre os diversos atores envolvidos na definição de regulamentos, no uso da terra, na gestão do meio ambiente e na fiscalização das ocupações; como forma de minimizar essas ocupações desordenadas e maximizar a manutenção do fornecimento de SE.



Pesquisa Acadêmica sobre Sensibilidade Ambiental em execução de obras Rodoviárias

O propósito do presente questionário é subsidiar a elaboração de avaliação de Sensibilidade Ambiental utilizando a visão de Serviços Ecossistêmicos (SE), para fins de execução de empreendimentos rodoviários.

Tal proposta deriva de projeto de doutoramento do aluno e servidor do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT), Alexandre Neumann, sob orientação do Professor Dr. Henrique Roig, ambos vinculados ao Programa de Pós Graduação em Geociências Aplicadas e Geodinâmica do Instituto de Geociências da Universidade de Brasília.

Para conduzir a elaboração proposta, que ocorrerá por meio de Mapas, utilizaremos a abordagem dos SE que são os serviços que o Meio Ambiente presta para o bem-estar humano.

Assim, foi proposta uma lista de SE que podem ser impactados pela implantação de um empreendimento rodoviário. Com isso, pretendemos estabelecer uma avaliação do impacto sofrido por estes SE propostos, direta ou indiretamente, em decorrência de empreendimentos rodoviários.

Nesses termos, para uma melhor avaliação desses impactos, precisamos da sua colaboração para entender melhor como as atividades dos empreendimentos rodoviários afetam cada SE listado.

Nesse momento, vamos avaliar a importância de cada SE, a avaliação do ambiente e do ecossistema acontecerá num segundo momento, quando formos fazer a avaliação local dos empreendimentos, em momento oportuno avaliaremos questões como os biomas em que o empreendimento está inserido e também o nível de antropização da região.

Portanto, considerando uma avaliação mais global dos SE solicitamos seus bons préstimos para preenchimento do presente questionário, que será muito importante para subsidiar a pesquisa em desenvolvimento.

De antemão, informamos que não será divulgada qualquer informação pessoal. Os dados e respostas serão tratados com sigilo e serão usados exclusivamente para fins acadêmicos.

Contamos com a sua colaboração!

Qualquer dúvida, sugestão ou crítica favor entrar em contato:

Alexandre Neumann, Doutorando, email: alexandre.neumann@dnit.gov.br ou telefone: +55 (61) 9 9379-8998;

Prof. Dr. Henrique Roig, Orientador, email: roig@unb.br ou telefone: + 55 (61) 9 8175-4647

* Obrigatória

Figura A.I.1 – Questionário aplicado para atribuição dos pesos para o modelo multicritério

Fonte: o autor

Avaliação da sua Percepção sobre Serviços Ecossistêmicos

Serviços Ecossistêmicos (SE) são os serviços que o Meio Ambiente presta para o bem-estar humano.

Esses SE foram divididos em categorias, sendo esses de Regulação, Provisão, Suporte e Culturais.

Para nossa pesquisa é importante compreender, na sua opinião ou decisão, qual a importância que você atribuiria a cada uma das categorias de SE.

Fonte da imagem: <https://autossustentavel.com/wp-content/uploads/2>



1

Na decisão de avaliação de sensibilidade ambiental de uma região para fins de execução de obras rodoviárias, numa escala de 1 a 10, quão importante é para você os SE de Regulação? *

Entende-se por SE de Regulação - os processos de regulação da Qualidade do Ar, Climáticas, Purificação da Água, Erosões, Tratamento de resíduos, Polinização, entre outros.

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

2

Na decisão de avaliação de sensibilidade ambiental de uma região para fins de execução de obras rodoviárias, numa escala de 1 a 10, quão importante é para você os SE de Provisão? *

Entende-se por SE de Provisão - o fornecimento pelo meio ambiente de comida, matéria-prima, recursos medicinais e água potável.

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

3

Na decisão de avaliação de sensibilidade ambiental de uma região para fins de execução de obras rodoviárias, numa escala de 1 a 10, quão importante é para você os SE de Suporte? *

Entede-se por SE de Suporte - formação do solo, fotossíntese e ciclagem de nutrientes.

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

4

Na decisão de avaliação de sensibilidade ambiental de uma região para fins de execução de obras rodoviárias, numa escala de 1 a 10, quão importante é para você os SE de Culturais? *

Entede-se por SE de Culturais - ecoturismo, beleza cênica, valores espirituais e religiosos.

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

5

Se achar interessante, insira comentários sobre esta parte do questionário aqui.

Serviços Ecosistêmicos de Regulação



Nesse momento, dentro dos serviços de regulação que são os serviços que englobam os benefícios obtidos pela sociedade a partir da regulação natural dos processos ecossistêmicos, tais como a manutenção da qualidade do ar e o controle da poluição, por meio da regulação da composição dos gases atmosféricos; a regulação do clima; a regulação dos fluxos de água (ciclo hidrológico) e o controle das enchentes, evitando inundações e contribuindo para a recarga dos aquíferos; o controle da erosão; a purificação da água; a redução da incidência de pragas e doenças pelo controle biológico, a regulação de danos naturais e a polinização de plantas agrícolas e silvestres.

Precisamos saber sua opinião sobre o impacto da decisão em execução de empreendimento rodoviários.

Fonte da imagem: <https://autossustentavel.com/wp-content/uploads/2> (com adaptações)

6

Se fosse para atribuir um impacto na sua decisão para a execução de empreendimentos rodoviários, quão importante seria, numa escala de 1 a 10, o potencial de impacto na alteração de microclima? *

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

7

Se fosse para atribuir um impacto na sua decisão para a execução de empreendimentos rodoviários, quão importante seria, numa escala de 1 a 10, potencial de alteração no fluxo hidrológico natural? *

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

8

Se fosse para atribuir um impacto na sua decisão para a execução de empreendimentos rodoviários, quão importante seria, numa escala de 1 a 10, o potencial de alteração na capacidade natural de retenção de erosões? *

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

9

Se fosse para atribuir um impacto na sua decisão para a execução de empreendimentos rodoviários, quão importante seria, numa escala de 1 a 10, o potencial de absorção natural de material pulverulento presente no ar? *

"Material particulado em suspensão"

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

10

Se fosse para atribuir um impacto na sua decisão para a execução de empreendimentos rodoviários, quão importante seria, numa escala de 1 a 10, o potencial de alteração na absorção natural de ruído? *

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

11

Se fosse para atribuir um impacto na sua decisão para a execução de empreendimentos rodoviários, quão importante seria, numa escala de 1 a 10, o potencial de interferência na manutenção da qualidade da água? *

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

12

Se fosse para atribuir um impacto na sua decisão para a execução de empreendimentos rodoviários, quão importante seria, numa escala de 1 a 10, o potencial de interferência em cavidades? *

Cavernas ou Espeleologia

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

13

Dos Serviços Ecossistêmicos listados, na sua opinião, de que forma são impactados por obras de Infraestrutura.*

Muito Negativamente	Relativamente Negativamente	Negativamente	Indiferente	Positivamente	Relativamente Positivamente	Muito Positivamente
---	--	-	-/+	+	++	+++

	---	--	-	-/+	+	++	+++
Potencial de impacto na alteração de microclima	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Potencial de alteração no fluxo hidrológico natural	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Potencial de alteração na capacidade natural de retenção de erosões	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Potencial de alteração na absorção natural de material pulverulento presente no ar "Material particulado em suspensão"	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Potencial de alteração na capacidade de absorção natural de ruído	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Potencial de interferência na manutenção da qualidade da água	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Potencial de interferência em Cavidades	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

14

Se achar interessante, insira comentários sobre esta parte do questionário aqui.

Serviços Ecossistêmicos de Provisão



Agora, dentro dos serviços de provisão que são os Serviços Ecossistêmicos (SE) que compreendem os produtos obtidos dos ecossistemas e que são oferecidos diretamente à sociedade, como alimentos e fibras naturais, água, madeira para combustível, material genético, entre outros

Precisamos saber sua opinião sobre o impacto da decisão em execução de empreendimento rodoviários.

Fonte da imagem: <https://autossustentavel.com/wp-content/uploads/2> (com adaptações)

15

Se fosse para atribuir um impacto na sua decisão para a execução de empreendimentos rodoviários, quão importante seria, numa escala de 1 a 10, o potencial de impacto na provisão de água para dessedentação e irrigação? *

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

16

Se fosse para atribuir um impacto na sua decisão para a execução de empreendimentos rodoviários, quão importante seria, numa escala de 1 a 10, o potencial de impacto na provisão de alimentos cultivados? *

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

17

Se fosse para atribuir um impacto na sua decisão para a execução de empreendimentos rodoviários, quão importante seria, numa escala de 1 a 10, o potencial de interferência na sensibilidade da fauna silvestre? *

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

18

Se fosse para atribuir um impacto na sua decisão para a execução de empreendimentos rodoviários, quão importante seria, numa escala de 1 a 10, o potencial de interferência em processos minerários? *

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

19

Se fosse para atribuir um impacto na sua decisão para a execução de empreendimentos rodoviários, quão importante seria, numa escala de 1 a 10, o potencial de interferência na provisão de matéria-prima extrativista? *

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

20

Dos Serviços Ecossistêmicos listados, na sua opinião, de que forma são impactados por obras de Infraestrutura. *

Muito Negativamente	Relativamente Negativamente	Negativamente	Indiferente	Positivamente	Relativamente Positivamente	Muito Positivamente
---	--	-	-/+	+	++	+++

--

-

-/+

+

++

+++

Potencial de
provisão de
água para
dessedentaçã
o e irrigação

☐☐☐☐☐☐☐

Potencial de
provisão de
alimentos
cultivados

☐☐☐☐☐☐☐

Potencial de
interferência
na
sensibilidade
da fauna
silvestre

☐☐☐☐☐☐☐

Potencial de
interferência
em processos
minerários

☐☐☐☐☐☐☐

Potencial de
provisão de
matéria prima
extrativista

☐☐☐☐☐☐☐

21

Se achar interessante, insira comentários sobre esta parte do questionário aqui.

Serviços Ecossistêmicos de Suporte



Também, dentro dos serviços de suporte que são os Serviços Ecossistêmicos (SE) que propiciam as condições necessárias para que os demais serviços possam ser disponibilizados à sociedade. Os benefícios ocorrem, em sua maioria, de maneira indireta, e se manifestam em longo prazo como a formação e a manutenção da fertilidade do solo, a produção de oxigênio, a ciclagem de nutrientes e a produção primária, que estão na base do crescimento e da produção. Nos demais serviços, os benefícios são diretos e, normalmente, ocorrem em prazos menores. Por exemplo, a sociedade não utiliza diretamente o serviço de formação do solo, embora alterações neste afetem indiretamente o bem-estar, porque alteram o fluxo do serviço de provisão.

Precisamos saber sua opinião sobre o impacto da decisão em execução de empreendimento rodoviários.

Fonte da imagem: <https://autossustentavel.com/wp-content/uploads/2> (com adaptações)

22

Se fosse para atribuir um impacto na sua decisão para a execução de empreendimentos rodoviários, quanto importante seria, numa escala de 1 a 10, a interferência na capacidade de manutenção da biodiversidade? *

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

23

Se fosse para atribuir um impacto na sua decisão para a execução de empreendimentos rodoviários, quanto importante seria, numa escala de 1 a 10, a capacidade de armazenamento de nutrientes, por meio de corpos hídricos? *

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

24

Se fosse para atribuir um impacto na sua decisão para a execução de empreendimentos rodoviários, quão importante seria, numa escala de 1 a 10, a capacidade natural portante do terreno e impactos decorrente de sua alteração? *

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

25

Se fosse para atribuir um impacto na sua decisão para a execução de empreendimentos rodoviários, quão importante seria, numa escala de 1 a 10, a alterações na conformação e declividade natural do terreno? *

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

26

Dos Serviços Ecossistêmicos listados, na sua opinião, de que forma são impactados por obras de Infraestrutura. *

Muito Negativamente	Relativamente Negativamente	Negativamente	Indiferente	Positivamente	Relativamente Positivamente	Muito Positivamente
---	--	-	-/+	+	++	+++

--- -- - -/+ + ++ +++

Capacidade de manutenção da biodiversidade

☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐

Capacidade de armazenamento de nutrientes, por meio de corpos hídricos

☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐

Capacidade portante do terreno

☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐

Alterações na conformação e declividade natural do terreno

☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐

27

Se achar interessante, insira comentários sobre esta parte do questionário aqui.

Serviços Ecosistêmicos de Culturais



Ademais, dentro dos serviços culturais que são os Serviços Ecosistêmicos (SE) que provêm benefícios não materiais obtidos dos ecossistemas, que contribuem para o bem-estar da sociedade, como enriquecimento espiritual e cultural, desenvolvimento cognitivo, reflexão sobre os processos naturais, oportunidades de lazer, ecoturismo e recreação.

Precisamos saber sua opinião sobre o impacto da decisão em execução de empreendimento rodoviários.

Fonte da imagem: <https://autossustentavel.com/wp-content/uploads/2> (com adaptações)

28

Se fosse para atribuir um impacto na sua decisão para a execução de empreendimentos rodoviário, quanto importante seria, numa escala de 1 a 10, a interferência no potencial estético da paisagem local?

*

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

29

Se fosse para atribuir um impacto na sua decisão para a execução de empreendimentos rodoviários, quanto importante seria, numa escala de 1 a 10, a interferência em áreas de uso para fins de recreação?

*

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

30

Se fosse para atribuir um impacto na sua decisão para a execução de empreendimentos rodoviários, quão importante seria, numa escala de 1 a 10, a interferência em atividades com valores históricos e arqueológicos? *

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

31

Se fosse para atribuir um impacto na sua decisão para a execução de empreendimentos rodoviários, quão importante seria, numa escala de 1 a 10, a interferência em atividades de comunidades tradicionais Indígenas? *

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

32

Se fosse para atribuir um impacto na sua decisão para a execução de empreendimentos rodoviários, quão importante seria, numa escala de 1 a 10, a interferência em atividades de comunidades tradicionais Quilombolas? *

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

33

Se fosse para atribuir um impacto na sua decisão para a execução de empreendimentos rodoviários, quão importante seria, numa escala de 1 a 10, a interferência em áreas urbanas e aglomerados rurais? *

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

34

Dos Serviços Ecossistêmicos listados, na sua opinião, de que forma são impactados por obras de Infraestrutura. *

Muito Negativamente	Relativamente Negativamente	Negativamente	Indiferente	Positivamente	Relativamente Positivamente	Muito Positivamente
----	---	--	-/+	+	++	+++

	---	--	-	-/+	+	++	+++
Potencial Estético da Paisagem Local	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Áreas de Uso para Fins de Recreação	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Valores Históricos e Arqueológicos	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Comunidades Tradicionais Indígenas	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Comunidades Tradicionais Quilombolas	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Áreas Urbanas e Aglomerados Rurais	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

35

Se achar interessante, insira comentários sobre esta parte do questionário aqui.

Dados para Avaliação dos Respondentes

Agradecemos ter chegado até aqui, solicitamos que preencha os dados para que possamos avaliar o perfil dos respondentes

36

Nome *

Pode ser somente o primeiro e último

37

E-mail para eventuais contatos

Contatos serão feitos somente para tirar dúvidas

38

Telefone *

Contatos serão feitos somente para tirar dúvidas

39

Gênero *

- ☐ Masculino
- ☐ Feminino
- ☐ Prefiro não dizer
- ☐ Outra

40

Situação conjugal *

- ☐ Casado (a) ou União Estável
- ☐ Separado (a) ou Divorciado (a)
- ☐ Solteiro
- ☐ Prefiro não dizer

41

Possui filhos? *

- ☐ sim, 01 filho
- ☐ sim, 02 filhos
- ☐ sim, 03 filhos
- ☐ sim, 04 filhos ou mais
- ☐ não

42

Você pertence a alguma religião? *

- ☐ Católica
- ☐ Judaica
- ☐ Muçulmada
- ☐ Evangélico ou Protestante
- ☐ Espírita
- ☐ Acredito na espiritualidade, mas não tenho religião
- ☐ Não acredito em nenhuma religião
- ☐ Ateísmo
- ☐ Outra

43

Idade *

- ☐ 20 a 30 anos
- ☐ 31 a 40 anos
- ☐ 41 a 50 anos
- ☐ 51 a 60 anos
- ☐ mais de 60 anos

44

Atual vinculação empregatícia *

- ☐ Servidor público
- ☐ Empregado público
- ☐ Empregado Celetista
- ☐ Empresário
- ☐ Aluno de pós-graduação
- ☐ Pesquisador ou professor
- ☐ Outra

45

Qual das posições a seguir está ocupando no momento? *

- ☐ Técnico
- ☐ Gerencial
- ☐ Diretoria
- ☐ Docência ou Pesquisa
- ☐ Administrativo
- ☐ Outra

46

Instituição ao qual está vinculado *

- ☐ Ministério da Infraestrutura (MINFRA) e vinculadas
- ☐ Órgão licenciadores
- ☐ Empresas de consultoria ambiental
- ☐ Área acadêmica
- ☐ Outra

47

Experiência na Área Ambiental *

- ☐ não tenho experiência
- ☐ até 05 anos
- ☐ mais de 05 anos e menos de 10 anos
- ☐ mais de 10 anos e menos de 15 anos
- ☐ mais de 15 anos e menos de 20 anos
- ☐ mais de 20 anos
- ☐ Outra

48

Qualificação Acadêmica *

- ☐ Graduação
- ☐ Especialização
- ☐ Mestrado
- ☐ Doutorado
- ☐ Outra

49

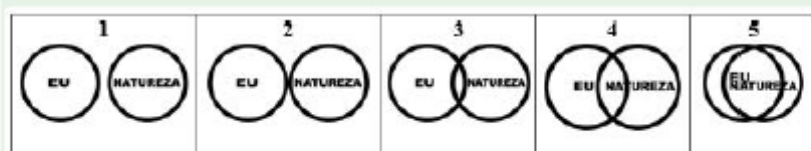
Formação Acadêmica *

- ☐ Engenharias
- ☐ Ciências Exatas e da Terra
- ☐ Ciências Biológicas
- ☐ Ciências da Saúde
- ☐ Ciências Agrárias
- ☐ Ciências Humanas
- ☐ Ciências Sociais Aplicadas
- ☐ Linguística, Letras e Artes
- ☐ Outra

50

Numa escala de 1 a 5 como você avalia sua interconexão com a natureza? *

Eu e Natureza



1

2

3

4

5

51

Numa escala de 1 a 10, onde 1 são poucos impactos e 10 são muitos impactos, como você avalia o potencial de impactos positivos que a implantação de um empreendimento Rodovia pode gerar em uma região? *

Impactos Positivos

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

52

Numa escala de 1 a 10, onde 1 são poucos impactos e 10 são muitos impactos, como você avalia o potencial de impactos negativos que a implantação de um empreendimento Rodovia pode gerar em uma região? *

Impactos Negativos

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

53

Se achar interessante, insira comentários sobre esta parte do questionário aqui.

Agradecemos sua contribuição.

Sugestões, críticas e contribuições, favor utilizar o campo a seguir ou entrar em contato:

Alexandre Neumann, Doutorando, email: alexandre.neumann@dnit.gov.br ou telefone: +55 (61) 9 9379-8998;

Henrique Roig, Orientador, email: roig@unb.br ou telefone: + 55 (61) 9 8175-4647

54

Utilize esse campo para sugestões, críticas e contribuições.

Este conteúdo não é criado nem endossado pela Microsoft. Os dados que você enviar serão enviados ao proprietário do formulário.

 Microsoft Forms

Apêndice II – Procedimento Operacional utilizado nesta Tese de Doutorado

No presente apêndice está apresentado os procedimentos, do ponto de vista operacional, utilizados para elaboração dos Estudos de Caso, com o intuito de possibilitar a continuidade dos estudos e seu aprimoramento.

A Figura A.II.1 apresenta um fluxograma dos procedimentos utilizados para elaboração dos mapas desta tese de doutorado.

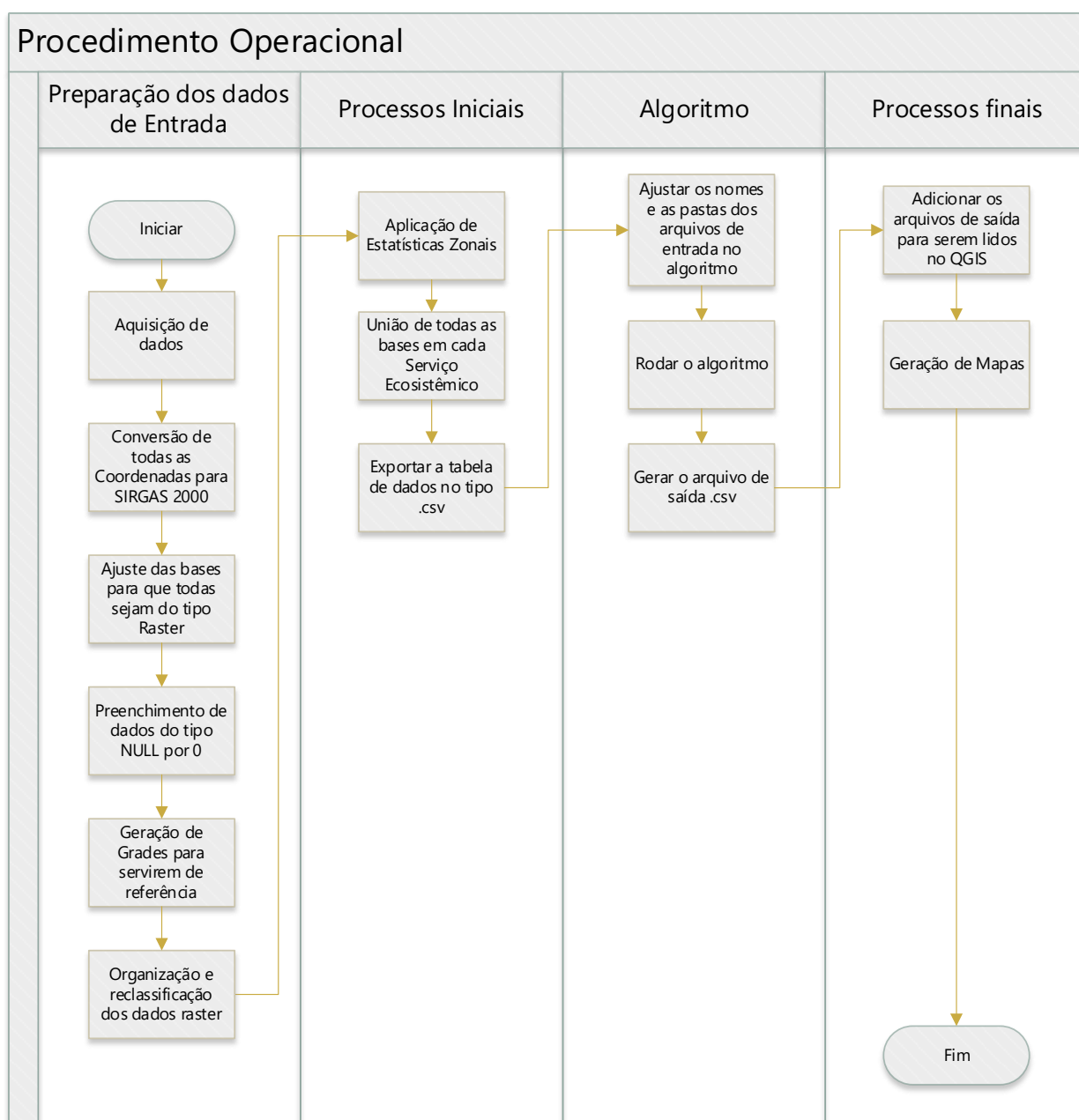


Figura A.II.1 - Procedimento operacional para geração dos mapas

Fonte: próprio autor

Para cumprir com o objetivo proposta na presente pesquisa, foram utilizados os seguintes softwares descritos no Quadro A.II.1.

Quadro A.II .1 - Softwares utilizados

Software	Versão	Finalidade
QGIS	3.22.6-Białowieża	Sistema de Informação Geográfica, em diversas funções, operações de mapas, conversão de sistema de coordenadas, estatísticas zonais, rasterização e geração de mapas
SAGA GIS	9.1.0	Geração do Índice Topográfico de Umidade (TWI)
Spyder	5.1.5	Desenvolvimento do algoritmo em Python

1 - Preparação dos dados de Entrada

1.1 - Aquisição dos dados de Entrada

Para a preparação dos dados de entrada da pesquisa, a primeira etapa foi a aquisição de dados, na presente pesquisa foram utilizados somente dados que estivessem disponíveis de forma gratuita, Quadro A.II.2.

Quadro A.II .2 - Aquisição de dados

ID	Serviço Ecosistêmico	Dado de Origem	Aquisição
1	Potencial de impacto na alteração de microclima	MapBiomias	https://storage.googleapis.com/mapbiomas-public/brasil/collection-71/lcluc/coverage/brasil_coverage_2020.tif Data de acesso: 30/07/2022
2	Potencial de alteração no fluxo hidrológico natural	TWI – (USGS/SAGA GIS)	https://earthexplorer.usgs.gov/ Data de acesso: 30/07/2022
3	Potencial de alteração na capacidade natural de retenção de erosões	Mapa de Erodibilidade da Embrapa	https://geoinfo.cnps.embrapa.br/layers/geonode%3ABrasil_erodibilidade_solo Data de acesso: 30/07/2022
4	Potencial de absorção natural de material pulverulento presente no ar	MapBiomias	https://storage.googleapis.com/mapbiomas-public/brasil/collection-71/lcluc/coverage/brasil_coverage_2020.tif Data de acesso: 30/07/2022

	"Material particulado em suspensão"		
5	Potencial na capacidade de alteração na absorção natural de ruído	MapBiomas	https://storage.googleapis.com/mapbiomas-public/brasil/collection-71/lcluc/coverage/brasil_coverage_2020.tif Data de acesso: 30/07/2022
6	Potencial de interferência na manutenção da qualidade da água	MapBiomas	https://storage.googleapis.com/mapbiomas-public/brasil/collection-71/lcluc/coverage/brasil_coverage_2020.tif Data de acesso: 30/07/2022
7	Potencial de ocorrência de Cavidades	Potencial de Ocorrências de Cavidades, MMA	https://www.icmbio.gov.br/ceav/projetos-e-atividades/potencialidade-de-ocorrencia-de-cavernas.html Data de acesso: 30/07/2022
8	Potencial de provisão de água para dessedentação e irrigação Potencial de provisão de alimentos cultivados	MapBiomas	https://storage.googleapis.com/mapbiomas-public/brasil/collection-71/lcluc/coverage/brasil_coverage_2020.tif Data de acesso: 30/07/2022
9	Potencial de interferência na sensibilidade da fauna silvestre	PRIM, Icmbio	https://www.gov.br/icmbio/pt-br/assuntos/biodiversidade/plano-de-reducao-de-impactos-sobre-a-biodiversidade/prim-petroleo-e-gas/3_dados_shp.zip Data de acesso: 30/07/2022
10	Potencial de interferência em processos minerários	Processos Minerários Ativos e Inativos, ANM	https://app.anm.gov.br/dadosabertos/SIGMINE/ Data de acesso: 30/07/2022
11	Potencial de provisão de matéria prima extrativista	MapBiomas	https://storage.googleapis.com/mapbiomas-public/brasil/collection-71/lcluc/coverage/brasil_coverage_2020.tif Data de acesso: 30/07/2022
12	Capacidade de manutenção da biodiversidade	MapBiomas	https://storage.googleapis.com/mapbiomas-public/brasil/collection-71/lcluc/coverage/brasil_coverage_2020.tif Data de acesso: 30/07/2022
13	Capacidade de armazenagem	MapBiomas	https://storage.googleapis.com/mapbiomas-public/brasil/collection-71/lcluc/coverage/brasil_coverage_2020.tif Data de acesso: 30/07/2022

	nto de nutrientes, por meio de corpos hídricos		
14	Capacidade portante do terreno	Mapa de Solos, Embrapa	http://geoinfo.cnps.embrapa.br/geoserver/wfs?format_options=charset%3AUTF-8&typename=geonode%3Abrasilsolos_5m_20201104&outputFormat=SHAPE-ZIP&version=1.0.0&service=WFS&request=GetFeature Data de acesso: 30/07/2022
15	Alterações na conformação e declividade natural do terreno	Declividade (USGS/QGIS)	https://earthexplorer.usgs.gov/ Data de acesso: 30/07/2022
16	Interferência no potencial estético da paisagem local	MapBiomas	https://storage.googleapis.com/mapbiomas-public/brasil/collection-71/lcluc/coverage/brasil_coverage_2020.tif Data de acesso: 30/07/2022
17	Interferência em áreas de uso para fins de recreação	MapBiomas	https://storage.googleapis.com/mapbiomas-public/brasil/collection-71/lcluc/coverage/brasil_coverage_2020.tif Data de acesso: 30/07/2022
18	Interferência em atividades com valores históricos e arqueológicos	Base de Dados do Iphan	https://www.gov.br/funai/pt-br/atuacao/terras-indigenas/geoprocessamento-e-mapas Data de acesso: 30/07/2022
19	Interferência em atividades de comunidades tradicionais Indígenas	Terras Indígenas, FUNAI	https://www.gov.br/funai/pt-br/atuacao/terras-indigenas/geoprocessamento-e-mapas Data de acesso: 30/07/2022
20	Interferência em atividades de comunidades tradicionais Quilombolas	Terras Quilombolas, Incra	https://certificacao.incra.gov.br/csv_shp/export_shp.py Data de acesso: 30/05/2022
21	Interferência em áreas urbanas e aglomerados rurais	Base Cartográfica Contínua, IBGE	https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/tipologias-do-territorio/15790-classificacao-e-caracterizacao-dos-espacos-rurais-e-urbanos-do-brasil.html?=&t=acesso-ao-produto Data de acesso: 30/05/2022

1.2 - Conversão de todas as bases para o Sistema de Coordenadas SIRGAS 2000

Após adquirido os dados de entrada, para facilitar os procedimentos, converteu-se os sistemas de coordenadas, assim, foi utilizado o QGIS para realizar o procedimento, em todos as

bases foram reprojetadas para Sirgas 2000, com os comandos descritos no Quadro A.II.3.

Quadro A.II .3 - Procedimento de conversão de Coordenadas

Tipo da base de dados	Comando (Caixa de Ferramentas de Processamento)
Vetor	Vetor Geral → Reprojetar Camada
Raster	GDAL → Projeções raster → Reprojetar coordenadas

1.3 - Ajuste das bases para que todas sejam do tipo raster

Para facilitar o processamento das bases e para possibilitar realizar o comando, estatística zonal, todas as bases foram ajustadas para serem do tipo “raster”. Para isso, nesta etapa, foi utilizado o comando GDAL -> Conversão de vetor -> Converter vetor para raster (rasterizar), no QGIS.

1.4 - Preenchimento de dados do tipo NULL

Além disso, para também evitar falhas no momento de gerar as estatísticas zonais, foram preenchidas as células vazias dos raster pelo número 0, nesses termos, foi utilizado o comando Ferramenta raster -> Preencher celular NoData, no campo “Valor de Preenchimento” utilizar o valor 0, no QGIS.

1.5 - Geração de Grades para servirem de referência

Em seguida, foram geradas grades para que fossem atribuídas informações, tal procedimento foi necessário para garantir que cada item da malha estivesse exatamente na mesma posição, uma vez que faz parte do procedimento desta pesquisa hierarquizar pontos de maior sensibilidade. Nesta etapa foi utilizado o comando Criação de vetor -> criar grade, como pode ser observado na Figura A.II.2.

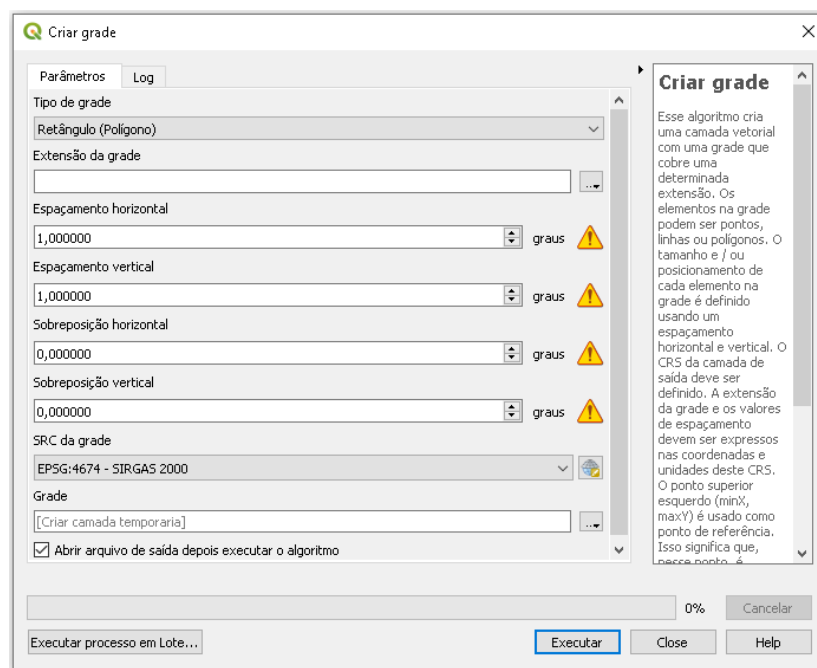


Figura A.II.2 - Procedimento de geração de grades

Fonte: recorte de tela do QGIS

Para esta etapa, foram preenchidos os valores de espaçamento vertical e horizontal com a mesma dimensão, utilizando como referência o Quadro A.II.4.

A extensão da grade deve ser compatível com as dimensões dos arquivos raster, recomenda-se a utilização de camada de máscara com dimensões menores do que os rasters para evitar erros no processamento de estatísticas zonais.

Quadro A.II .4 - Quadro utilizado para conversão de espaçamento de graus em metros

Tamanho do espaçamento em metros	Tamanho do espaçamento em graus
500	0,004495349
1000	0,008990697
2500	0,022476743
5000	0,044953485
7500	0,067430228
10000	0,089906971
50000	0,449534853

1.6 – Organização e reclassificação dos dados raster

Para ajustar os raster foram basicamente utilizados 03 procedimentos, nos termos a seguir

descritos:

1. Em bases inicialmente vetoriais, aplicou-se um valor equivalente ao disposto no Quadro apresentado descritos no item 3.2.1 desta Tese – Quadros 3.1, 3.2, 3.3 e 3.4, assim quando da rasterização o valor de referência era mantido;
2. Os índices foram utilizados os dados próprios, sem nenhum ajuste;
3. Os dados que utilizaram o Map Biomas como dados de entrada foi utilizado o procedimento, Análise raster -> Reclassificar por tabela, conforme a Figura A.II.3 e levando em conta o exemplo, do Serviço Potencial de impacto na alteração de microclima, Quadro 3.1 e Qaudro A.II.3. Importante marcar o item Intervalos limites como min <= valor <= max, que não é o tipo padrão do procedimento.

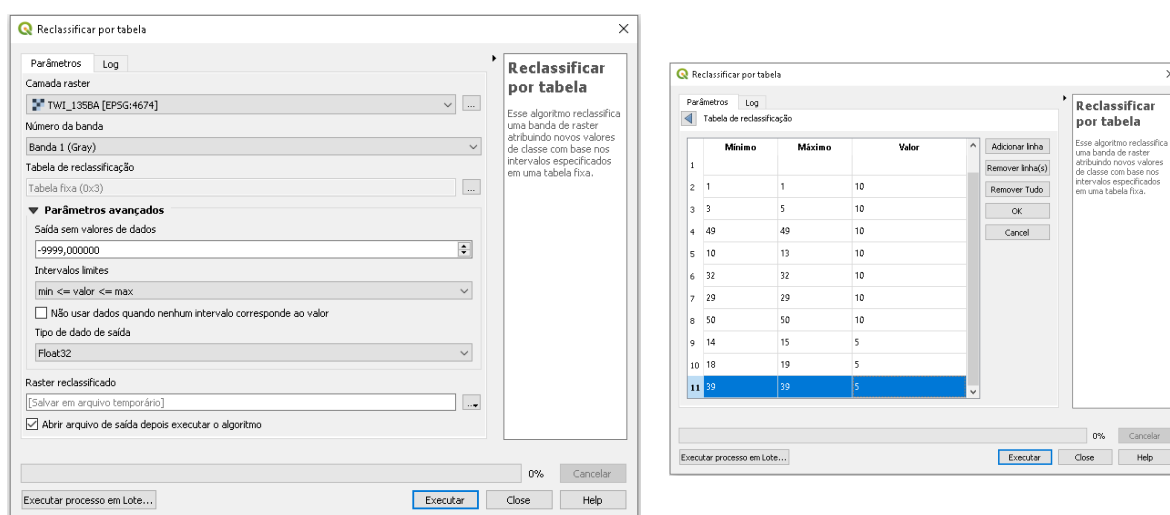


Figura A.II.3 - Procedimento para Reclassificação por tabela

Fonte: recorte de tela do QGIS

Quadro A.II .5 - Procedimento para reclassificação de raster

Tipo de uso e cobertura do solo	Código das classes do MapBiomas	Valores a serem inseridos
Floresta	1, 3, 4, 5 e 49	10
Floresta Natural não Florestal	10, 11, 12, 32, 29, 50 e 13	10
Agropecuária	14, 15, 18, 19, 39, 20, 40, 62, 41, 36, 46, 47, 48, 9 e 21	5
Área não Vegetada	22, 23, 24, 30 e 25	1
Corpos D'Água	26, 33 e 31	10
Não observado	27	0

2. Processos Iniciais

2.1 – Aplicação das estatísticas zonais

Para iniciar a aplicação das estatísticas zonais, seleciona-se a grade de referência a camada raster e na Estatística a calcular, para esta pesquisa foi utilizado somente a opções de “média”, a Figura A.II.4.

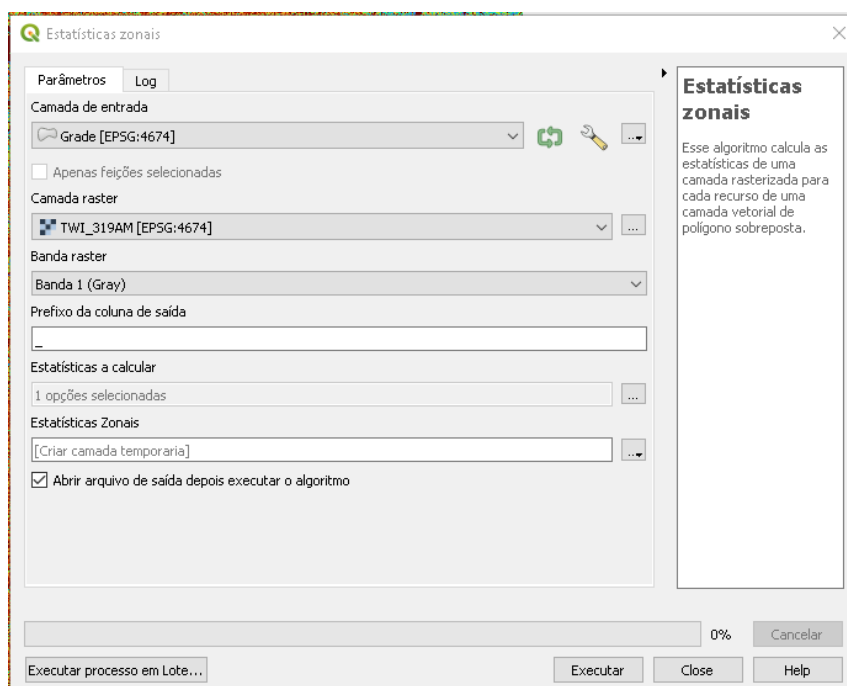


Figura A.II.4 - Procedimento para estatísticas zonais

Fonte: recorte de tela do QGIS

2.2 – União de todas as bases em cada Serviço Ecossistêmico

Para gerar as tabelas de atributo com todas as informações do dado de entrada do algoritmo, foram unidas as camadas, por meio da função “União”, conforme Figura A.II.5.

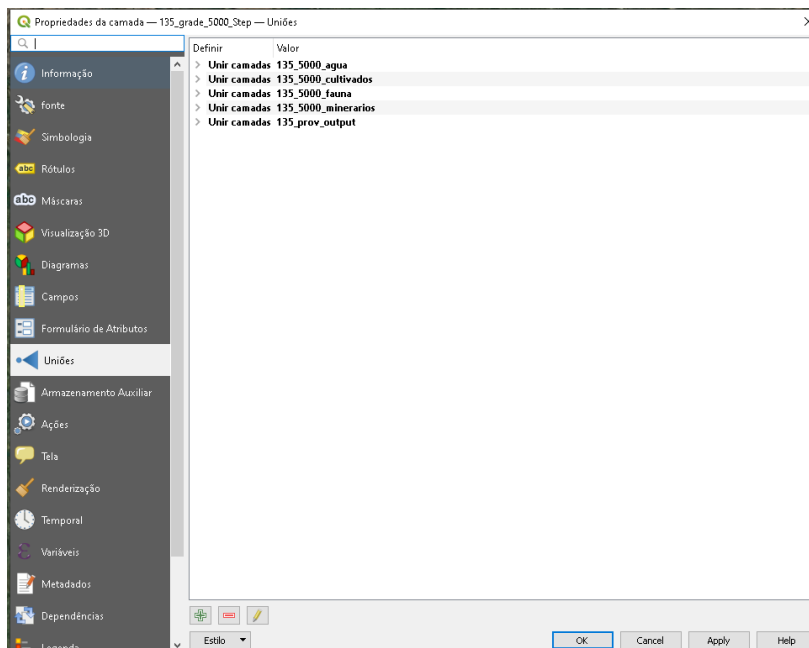


Figura A.II.5 - Procedimento para Uniões

Fonte: recorte de tela do QGIS

2.3 – Exportar a tabela de dados no tipo .csv

O derradeiro passo antes de iniciar o cálculo com o algoritmo é a exportação da tabela de dados de entrada no tipo csv, bastando clicar com o botão direito do mouse na camada e exportar -> guardar elementos como... e configurar, conforme descrito na Figura A.II.6.

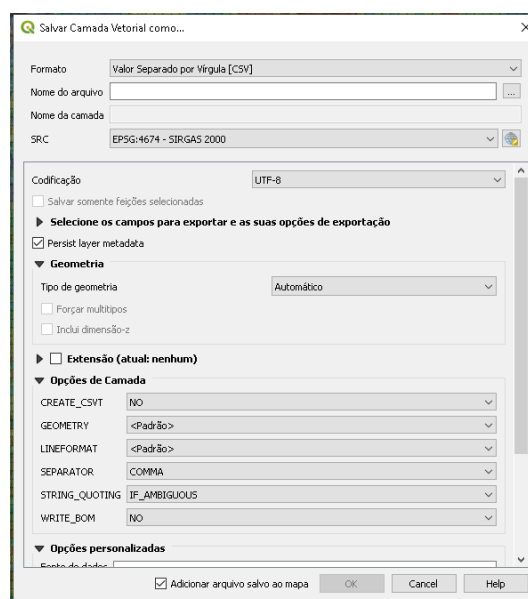


Figura A.II.6 - Procedimento para geração da tabela csv

Fonte: recorte de tela do QGIS

3 – Algoritmo

3.1 – Ajustar os nomes e pastas dos arquivos de entrada no algoritmo

Com o arquivo csv salvo na mesma pasta do algoritmo, deve-se ajustar o nome do arquivo escolhido para o csv e criar um arquivo de pesos com os pesos para os Serviços Ecossistêmicos, contendo somente os valores, exemplo: 7.6;9;5.5;8, caso só tenha quatro elementos a serem analisados.

```
#lendo os dados de entrada
matriz_aux = pd.read_csv("135_prov_input.csv", sep = ",", header = 0).to_numpy()
vetor_pesos = pd.read_csv("pesos_135_prov.txt", sep = ";", header = None).to_numpy()
```

3.2 – Rodar o algoritmo

Neste momento, basta rodar o algoritmo.

3.3 – Gerar o arquivo de saída.csv

O arquivo é gerado automaticamente pelo algoritmo, bastando salvar e organizar o arquivo csv que servirá de dado de entrada para o shape do QGIS.

4 - Processos finais

4.1 – Adicionar os arquivos de saída para serem lidos no QGIS

Assim, basta Gerenciador de Fonte de Dados (Camada -> Adicionar Camada -> Adicionar Camada Vetorial...-> Texto delimitado) e configurar o dado de entrada para UTF-8, conforme Figura A.II.7.

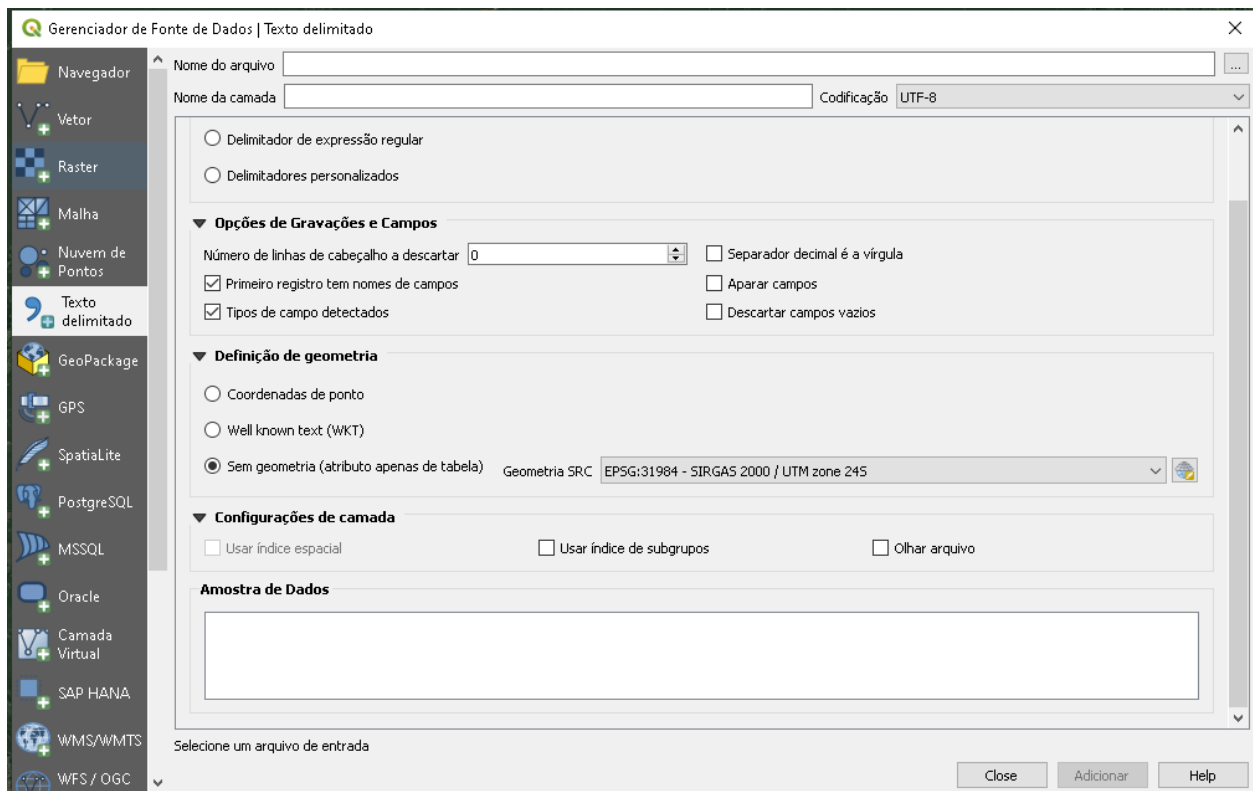


Figura A.II.7 - Adicionando Nova Camada shapefile pelo csv
Fonte: recorte de tela do QGIS

3.3 – Geração de Mapas

O arquivo é gerado automaticamente pelo algoritmo, bastando salvar e organizar o arquivo csv que servirá de dado de entrada para o shape do QGIS.

Apêndice III – Código fonte – Modelo Multicritério

```
# -*- coding: utf-8 -*-
"""
Rotina computacional
Cálculo de Promethée II com Função de Critério Preferência Critério Usual (step)
e Critério Preferência Linear (V-Shape) e linear com área de indiferência
Aluno: Alexandre Neumann
"""

import numpy as np
import pandas as pd
import time

#avaliação do tempo de processamento do código - marco inicial
tempo_inicial = time.time() # em segundos

#lendo os dados de entrada
matriz_aux = pd.read_csv("135 50000 total input.csv", sep = ",", header = 0).to_numpy()
vetor_pesos = pd.read_csv("pesos total.txt", sep = ";", header = None).to_numpy()
n_aux = np.sum(vetor_pesos)
vetor_pesos = vetor_pesos/n_aux
n_aux = np.sum(vetor_pesos)
colunas = len(matriz_aux[0])
linhas = len(matriz_aux)
matriz_entrada = np.zeros((linhas, colunas-5), dtype=float)

for k in range(linhas):
    for i in range(colunas-5):
        matriz_entrada[k][i] = matriz_aux[k][i+5]

colunas = len(matriz_entrada[0])
linhas = len(matriz_entrada)

#preenchendo valores faltantes dos dados de entrada por média
from sklearn.impute import SimpleImputer
imputer = SimpleImputer(missing_values=np.nan, strategy='mean')
imputer = imputer.fit(matriz_entrada)
matriz_entrada = imputer.transform(matriz_entrada).astype(float)

#atribuindo e gerando variáveis auxiliares
la = 0
F1 = np.zeros((colunas, linhas, linhas), dtype=float)
F_aux1 = np.zeros((linhas, linhas), dtype=float)
Fluxo_positivo1 = np.zeros((linhas), dtype=float)
Fluxo_negativo1 = np.zeros((linhas), dtype=float)
Fluxo_liquido1 = np.zeros((linhas), dtype=float)
todos = np.zeros((linhas,1), dtype=float)
M_argmax = np.zeros((colunas), dtype=float)
M_argmin = np.zeros((colunas), dtype=float)
```

```

#valores mínimos e máximos da matriz de entrada e contadores
M_argmax = np.max(matriz_entrada,axis=0)
M_argmin = np.min(matriz_entrada,axis=0)
for j in range(linhas):
    todos[j] = j+1

#Avaliações par a par e multiplicação dos pesos para função step
for k in range(colunas):
    for i in range(linhas):
        for j in range(linhas):
            la = matriz_entrada[i,k]-matriz_entrada[j,k]
            if la > 0:
                F1[k][i][j] = vetor_pesos[0,k]
            else:
                F1[k][i][j] = 0

#somando os critérios para função step
for k in range(colunas):
    for i in range(linhas):
        for j in range(linhas):
            F_aux1[i][j]=F1[k][i][j]+F_aux1[i][j]

#Cálculo dos fluxos negativos e positivos para função step
Fluxo_negativo1 = np.sum(F_aux1, axis=0)
Fluxo_positivo1 = np.sum(F_aux1, axis=1)

#Cálculo dos fluxos líquidos para função step
Fluxo_liquido1 = Fluxo_positivo1 - Fluxo_negativo1

#Normalização dos dados
step_S_trat=Fluxo_liquido1.reshape(-1,1)

#Avaliações par a par e multiplicação dos pesos para a função V-Shape
for k in range(colunas):
    for i in range(linhas):
        for j in range(linhas):
            la = matriz_entrada[i,k]-matriz_entrada[j,k]
            if la > 0:
                F1[k][i][j] = (la/M_argmax[k])*vetor_pesos[0,k]

            else:
                F1[k][i][j] = 0

#somando os critérios para a função V-Shape
for k in range(colunas):
    for i in range(linhas):
        for j in range(linhas):
            F_aux1[i][j]=F1[k][i][j]+F_aux1[i][j]

#Cálculo dos fluxos negativos e positivos para a função V-Shape
Fluxo_negativo1 = np.sum(F_aux1, axis=0)
Fluxo_positivo1 = np.sum(F_aux1, axis=1)

```

```

#Cálculo dos fluxos líquidos para a função V-Shape
Fluxo_liquido1 = Fluxo_positivo1 - Fluxo_negativo1

#Normalização dos dados
vshape_S_trat=Fluxo_liquido1.reshape(-1,1)

#Avaliações par a par e multiplicação dos pesos para a função linear
for k in range(colunas):
    for i in range(linhas):
        for j in range(linhas):
            la = matriz_entrada[i,k]-matriz_entrada[j,k]
            if la > 0:
                F1[k][i][j] = ((la-M_argmin[k])/(M_argmax[k]-M_argmin[k]))*vetor_pesos[0,k]
            else:
                F1[k][i][j] = 0

#somando os critérios para a função lienar
for k in range(colunas):
    for i in range(linhas):
        for j in range(linhas):
            F_aux1[i][j]=F1[k][i][j]+F_aux1[i][j]

#Cálculo dos fluxos negativos e positivos para a função lienar
Fluxo_negativo1 = np.sum(F_aux1, axis=0)
Fluxo_positivo1 = np.sum(F_aux1, axis=1)

#Cálculo dos fluxos líquidos para a função linear
Fluxo_liquido1 = Fluxo_positivo1 - Fluxo_negativo1

#Normalização dos dados função linear
linear_S_trat=Fluxo_liquido1.reshape(-1,1)

from sklearn.preprocessing import MinMaxScaler
from sklearn.preprocessing import StandardScaler
scalerMinMax = MinMaxScaler()
scalerStd = StandardScaler()

step_MinMax=scalerMinMax.fit_transform(step_S_trat)
vshape_MinMax=scalerMinMax.fit_transform(vshape_S_trat)
linear_MinMax=scalerMinMax.fit_transform(linear_S_trat)

step_Std=scalerStd.fit_transform(step_S_trat)
vshape_Std=scalerStd.fit_transform(vshape_S_trat)
linear_Std=scalerStd.fit_transform(linear_S_trat)

#gerando o arquivo de saída
todos_step = np.append(step_S_trat, step_MinMax, axis=1)
todos_step = np.append(todos_step, step_Std, axis=1)

todos_vshape = np.append(vshape_S_trat, vshape_MinMax, axis=1)
todos_vshape = np.append(todos_vshape, vshape_Std, axis=1)

todos_linear = np.append(linear_S_trat, linear_MinMax, axis=1)

```

```

todos_linear = np.append(todos_linear, linear_std, axis=1)

todos = np.append(todos, todos_step, axis=1)
todos = np.append(todos, todos_vshape, axis=1)
todos = np.append(todos, todos_linear, axis=1)

#salvando os arquivos em lista
np.savetxt('135_50000_total_output.csv', todos, delimiter=',', header =
("id,Step_STrat,Step_MM,Step_std,Vshape_STrat,Vshape_MM,Vshape_std,Linear_STrat,Linear_MM,Linear_std"),
newline='\n')

#avaliação do tempo de processamento do código - marco final
tempo_final = time.time() # em segundos

#Print do tempo que demorou para rodar a parte específica do código
print(tempo_final - tempo_inicial)

```

Apêndice IV – Tempos de Processamento

Quadro A.IV.1 – Tempos de processamento dos dados para geração de malhas, estatísticas zonais e para hierarquização no algoritmo Promethée

Criação das Grades

	BR-135BA			BR-242MT			BR-319AM		
	TP	Feições	Arquivo (Mb)	TP	Feições	Arquivo (Mb)	TP	Feições	Arquivo (Mb)
500m	15min3s	972000	241						
1000m	8min2s	243216	60,5						
5000m	2min3s	9831	2,44	3min54s	12420	3,09	5min43s	21801	5,42
10.000m	0,83seg	2508	0,639						
50.000m	0,25seg	108	0,028						

Microclima – Estatísticas zonais

	BR-135BA			BR-242MT			BR-319AM		
	TP	Feiçõe s	Arquivo (Mb)	TP	Feiçõe s	Arquivo (Mb)	TP	Feiçõe s	Arquivo (Mb)
1000m	25min30 s	24321 6	66,1						
5000m	5min15s	9831	2,67	6min	12420	3,94	7min53 s	21801	5,92
10000m	1min46s	2508	0,698						
50000m	1min 17s	108	0,036						

Fluxo Hidrológico – Estatísticas zonais

	BR-135BA			BR-242MT			BR-319AM		
	TP	Feiçõe s	Arquivo (Mb)	TP	Feiçõe s	Arquivo (Mb)	TP	Feiçõe s	Arquivo (Mb)
1000m	24min32 s	24321 6	66,1						
5000m	5min35s	9831	2,67	3min10se g	12420	3,94	8,96seg	21801	5,92
10000m	1min44s	2508	0,698						
50000m	1min21s	108	0,036						

Erodibilidade – Estatísticas zonais

	BR-135BA			BR-242MT			BR-319AM		
	TP	Feiçõe s	Arquivo (Mb)	TP	Feiçõe s	Arquivo (Mb)	TP	Feiçõe s	Arquivo (Mb)
1000m	5min05s	24321 6	71,6						
5000m	1min36s	9831	2,67	3,74seg	12420	3,94	3min12 s	21801	5,92
10000m	0,3seg	2508	0,698						
50000m	0,16seg	108	0,036						

Suspensão – Estatísticas zonais

	BR-135BA			BR-242MT			BR-319AM		
	TP	Feiçõe s	Arquivo (Mb)	TP	Feiçõe s	Arquivo (Mb)	TP	Feiçõe s	Arquivo (Mb)
1000m	24min20 s	24321 6	66,1						
5000m	5min32s	9831	2,67	3min49s	12420	3,94	6min28 s	21801	5,92
10000m	1min44s	2508	0,698						
50000m	1min22s	108	0,036						

Ruído – Estatísticas zonais

	BR-135BA			BR-242MT			BR-319AM		
	TP	Feiçõe s	Arquivo (Mb)	TP	Feiçõe s	Arquivo (Mb)	TP	Feiçõe s	Arquivo (Mb)
1000m	7min16s	24321 6	66,1						
5000m	5min3s	9831	2,67	3min3s	12420	3,94	6min2s	21801	5,92
10000m	1min26s	2508	0,698						
50000m	1min15s	108	0,036						

Qualidade da água – Estatísticas zonais

	BR-135BA			BR-242MT			BR-319AM		
	TP	Feiçõe s	Arquivo (Mb)	TP	Feiçõe s	Arquivo (Mb)	TP	Feiçõe s	Arquivo (Mb)
1000m	00:06:01	24321 6	66,1						
5000m	3min 22s	9831	2,67	3min8s	12420	3,94	3min58 s	21801	5,92
10000m	1min 44s	2508	0,698						
50000m	33,12seg	108	0,036						

Cavidades – Estatísticas zonais

	BR-135BA			BR-242MT			BR-319AM		
	TP	Feiçõe s	Arquivo (Mb)	TP	Feiçõe s	Arquivo (Mb)	TP	Feiçõe s	Arquivo (Mb)
1000m	00:03:46	24321 6	66,1						
5000m	2min 32s	9831	2,67	3,30 seg	12420	3,94	6,39seg	21801	5,92
10000m	1min 44s	2508	0,698						
50000m	0,11seg	108	0,036						

Provisão de Água – Estatísticas zonais

	BR-135BA			BR-242MT			BR-319AM		
	TP	Feições	Arquivo (Mb)	TP	Feições	Arquivo (Mb)	TP	Feições	Arquivo (Mb)
1000m	27min0s	243216	77,2						
5000m	1min16s	9831	2,67	1min48s	12420	3,23	5min16s	21801	
10000m	0,51 seg	2508	0,698						
50000m	0,27 seg	108	0,036						

Alimentos cultivados – Estatísticas zonais

	BR-135BA			BR-242MT			BR-319AM		
	TP	Feições	Arquivo (Mb)	TP	Feições	Arquivo (Mb)	TP	Feições	Arquivo (Mb)
1000m	6min15s	243216	77,2						
5000m	2min	9831	2,67	3min50s	12420	3,38	5min29s	21801	5,64
10000m	1min 35s	2508	0,698						
50000m	1min 11s	108	0,036						

Fauna Silvestre – Estatísticas zonais

	BR-135BA			BR-242MT			BR-319AM		
	TP	Feições	Arquivo (Mb)	TP	Feições	Arquivo (Mb)	TP	Feições	Arquivo (Mb)
1000m	8min32s	243216	71,6						
5000m	3min 18s	9831	2,67	2min15s	12420	3,38	8min 29seg	21801	5,92
10000m	1min 53s	2508	0,698						
50000m	39,1	108	0,036						

Processos minerários – Estatísticas zonais

	BR-135BA			BR-242MT			BR-319AM		
	TP	Feições	Arquivo (Mb)	TP	Feições	Arquivo (Mb)	TP	Feições	Arquivo (Mb)
1000m	41seg	243216	77,2						
5000m	2,61seg	9831	2,67	3,19seg	12420	3,38	5,10seg	21801	5,92
10000m	0,63 seg	2508	0,698						
50000m	0,11seg	108	0,036						

Extrativista – Estatísticas zonais

	BR-135BA			BR-242MT			BR-319AM		
	TP	Feições	Arquivo (Mb)	TP	Feições	Arquivo (Mb)	TP	Feições	Arquivo (Mb)
1000m	6min21s	243216	77,2						
5000m	1min58s	9831	2,67	3min14s	12420	3,38	6min50s	21801	5,92
10000m	1min06s	2508	0,698						
50000m	1min31s	108	0,036						

Capacidade de manutenção da biodiversidade – Estatísticas zonais

	BR-135BA			BR-242MT			BR-319AM		
	TP	Feições	Arquivo (Mb)	TP	Feições	Arquivo (Mb)	TP	Feições	Arquivo (Mb)
1000m	29min0s	243216	77,2						
5000m	1min16s	9831	2,67	3min3s	12420	3,38	6min	21801	5,92
10000m	1min34s	2508	0,698						
50000m	1min10s	108	0,036						

Capacidade de armazenamento de nutrientes, por meio de corpos hídricos – Estatísticas zonais

	BR-135BA			BR-242MT			BR-319AM		
	TP	Feições	Arquivo (Mb)	TP	Feições	Arquivo (Mb)	TP	Feições	Arquivo (Mb)
1000m	5min18s	243216	77,2						
5000m	2min	9831	2,67	1min36s	12420	3,38	5min39s	21801	5,92
10000m	0,50seg	2508	0,698						
50000m	0,27seg	108	0,036						

Capacidade portante do terreno – Estatísticas zonais

	BR-135BA			BR-242MT			BR-319AM		
	TP	Feições	Arquivo (Mb)	TP	Feições	Arquivo (Mb)	TP	Feições	Arquivo (Mb)
1000m	1min35s	243216	71,6						
5000m	0,97seg	9831	2,67	3,80seg	12420	3,38	3min12s	21801	5,92
10000m	0,30seg	2508	0,698						
50000m	0,12seg	108	0,036						

Alterações na conformação e declividade natural do terreno – Estatísticas zonais

	BR-135BA			BR-242MT			BR-319AM		
	TP	Feições	Arquivo (Mb)	TP	Feições	Arquivo (Mb)	TP	Feições	Arquivo (Mb)
1000m	41min	243216	77,2						
5000m	7min25s	9831	2,67	2min12s	12420	3,38	31min53s	21801	5,92
10000m	6min 4s	2508	0,698						
50000m	2min 13s	108	0,036						

Interferência no potencial estético da paisagem local – Estatísticas zonais

	BR-135BA			BR-242MT			BR-319AM		
	TP	Feições	Arquivo (Mb)	TP	Feições	Arquivo (Mb)	TP	Feições	Arquivo (Mb)
1000m	8min31s	243216	77,2						
5000m	1min16s	9831	2,67	4min1s	12420	3,38	6min17s	21801	5,92
10000m	1min36s	2508	0,698						
50000m	0,96seg	108	0,036						

Interferência em áreas de uso para fins de recreação – Estatísticas zonais

	BR-135BA			BR-242MT			BR-319AM		
	TP	Feições	Arquivo (Mb)	TP	Feições	Arquivo (Mb)	TP	Feições	Arquivo (Mb)
1000m	6min43s	243216	77,2						
5000m	2min	9831	2,67	3min29s	12420	3,38	6min32s	21801	5,92
10000m	1min39s	2508	0,698						
50000m	1min10s	108	0,036						

Interferência em atividades com valores históricos e arqueológicos – Estatísticas zonais

	BR-135BA			BR-242MT			BR-319AM		
	TP	Feições	Arquivo (Mb)	TP	Feições	Arquivo (Mb)	TP	Feições	Arquivo (Mb)
1000m	1min5s	243216	71,6						
5000m	0,97seg	9831	2,67	3,69seg	12420	3,38	45seg	21801	5,92
10000m	0,29seg	2508	0,698						
50000m	0,05seg	108	0,036						

Interferência em atividades de comunidades tradicionais Indígenas – Estatísticas zonais

	BR-135BA			BR-242MT			BR-319AM		
	TP	Feições	Arquivo (Mb)	TP	Feições	Arquivo (Mb)	TP	Feições	Arquivo (Mb)
1000m	4min12s	243216	77,2						
5000m	2,61seg	9831	2,67	3,30seg	12420	3,38	4,58seg	21801	5,92
10000m	0,86seg	2508	0,698						
50000m	0,14seg	108	0,036						

Interferência em atividades de comunidades tradicionais Quilombolas – Estatísticas zonais

	BR-135BA			BR-242MT			BR-319AM		
	TP	Feições	Arquivo (Mb)	TP	Feições	Arquivo (Mb)	TP	Feições	Arquivo (Mb)
1000m	6min21s	243216	77,2						
5000m	1min58s	9831	2,67	2,98seg	12420	3,38	5,59seg	21801	5,92
10000m	0,95seg	2508	0,698						
50000m	0,11seg	108	0,036						

Interferência em áreas urbanas e aglomerados rurais – Estatísticas zonais

	BR-135BA			BR-242MT			BR-319AM		
	TP	Feições	Arquivo (Mb)	TP	Feições	Arquivo (Mb)	TP	Feições	Arquivo (Mb)
1000m	6min32s	243216	77,2						
5000m	1min58s	9831	2,67	3,72seg	12420	3,38	5,32seg	21801	5,92
10000m	0,86seg	2508	0,698						
50000m	0,12seg	108	0,036						

Tempos de processamentos das informações no algoritmo Promethée

Grade 5000 (tempo em segundos)						
	BR135 (9831f)	software	BR242	software	BR319 (21801f)	software
Regulação	5569,009500	Spyder	9.872,513488	Spyder	6736,632292	Colab Pro (TPU ram alta)
Provisão	4063,910986	Spyder	5.882,606126	Spyder	5941,664257	Colab Pro (TPU ram alta)
Suporte	2785,428427	Spyder	4.700,809154	Spyder	4236,055768	Colab Pro (TPU ram alta)
Cultural	4104,128000	Spyder	6.825,609400	Spyder	5821,792200	Colab Pro (TPU ram alta)
Total	3168,493415	Spyder	5.756,130594	Spyder	4741,583195	Colab Pro (TPU ram alta)
Grade 10000 (tempo em segundos)						
	BR135 (2508f)	software	BR242	software	BR319	software
Regulação	334,468987	Spyder				
Provisão	233,760515	Spyder				
Suporte	184,210100	Spyder				
Cultural	267,431260	Spyder				
Total	273,450386	Spyder				
Grade 50000 (tempo em segundos)						
	BR135	software	BR242	software	BR319	software
Regulação	0,6967766	Spyder				
Provisão	0,5210080	Spyder				
Suporte	0,3453755	Spyder				
Cultural	0,4969873	Spyder				
Total	0,3795653	Spyder				