

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE PESQUISAS HIDRÁULICAS
ESCOLA DE ENGENHARIA
ENGENHARIA AMBIENTAL

CECÍLIA JARDIM REIS SOUZA

**Integração entre Matriz de Leopold e
Sobreposição de Mapas
na Avaliação de Impacto Ambiental**

Porto Alegre

16 de dezembro de 2018

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE PESQUISAS HIDRÁULICAS
ESCOLA DE ENGENHARIA
ENGENHARIA AMBIENTAL

CECÍLIA JARDIM REIS SOUZA

**Integração entre Matriz de Leopold e
Sobreposição de Mapas
na Avaliação de Impacto Ambiental**

Trabalho de Conclusão do curso de Engenharia Ambiental da Universidade Federal do Rio Grande do Sul como parte dos requisitos para a obtenção do título de Engenheira Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Fernando Mainardi Fan

Coorientadora: M.^a Dionara de Nardin

Porto Alegre

16 de dezembro de 2018

CIP - Catalogação na Publicação

Souza, Cecília Jardim Reis
Integração entre Matriz de Leopold e Sobreposição
de Mapas na Avaliação de Impacto Ambiental / Cecília
Jardim Reis Souza. -- 2018.
81 f.
Orientador: Fernando Mainardi Fan.

Coorientadora: Dionara de Nardin.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação) --
Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto
de Pesquisas Hidráulicas, Curso de Engenharia
Ambiental, Porto Alegre, BR-RS, 2018.

1. Sistemas de Informação Geográfica. 2. Avaliação
de Impacto Ambiental. 3. Matriz de Leopold. 4.
Sobreposição de Mapas. I. Fan, Fernando Mainardi,
orient. II. Nardin, Dionara de, coorient. III.
Título.

CECÍLIA JARDIM REIS SOUZA

**Integração entre Matriz de Leopold e
Sobreposição de Mapas
na Avaliação de Impacto Ambiental**

Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Ambiental da Universidade Federal do Rio Grande do Sul defendido e aprovado em 29 de novembro de 2018.

Banca Examinadora:

M.^a Dionara de Nardin
Coorientadora
CODEX REMOTE

Prof. Dr. Gean Paulo Michel
UFRGS

Prof. M.^a Franciele Zanandrea
UFRGS

Conceito

*Ao meu avô, Lino,
que iluminou minha infância
e agora ilumina o céu.*

Agradecimentos

À Universidade Federal do Rio Grande do Sul, pelo ensino público, gratuito e de qualidade;

À CAPES, pela oportunidade de intercâmbio no programa Ciência sem Fronteiras;

Ao meu orientador, por ser meu guia e me inspirar sempre;

A todos os professores que tive o prazer de ter aula, na UFRGS e em qualquer momento da minha vida. É graças a vocês quem sou hoje! Muito obrigada;

Aos amigos da Codex Remote, em especial minha coorientadora, pela ajuda e apoio e risadas;

À Márcia, por me indicar o melhor caminho;

A minha família, pelo apoio;

A todos os amigos que tive a felicidade de conhecer nesses anos, deixando o caminho mais leve e prazeroso. Muito obrigada, queridos;

Ao Vicente, pelo amor, carinho e paciência.

“If a single flap of a butterfly’s wing can be instrumental in generating a tornado, so also can all the previous and subsequent flaps of its wings, as can the flaps of the wings of millions of other butterflies, not to mention the activities of innumerable more powerful creatures, including our own species.”

Edward Lorenz (1972)

Resumo

Matriz de Leopold e sobreposição de mapas estão entre os métodos comumente citados na avaliação de impacto ambiental. Uma das limitações da matriz de Leopold é a ausência de representação geográfica, enquanto que a sobreposição de mapas não apresenta dados quantitativos. A viabilidade da integração de ambos foi testada ao espacializar a matriz de Leopold referente ao Estudo de Impacto Ambiental (EIA) do empreendimento hidrelétrico Pai Querê. A matriz de Leopold e a base cartográfica deste EIA são os dados de entrada para o script de espacialização desenvolvido para este trabalho na forma de *Add-In* para o ArcGIS. Dispondo dos arquivos de saída do script - impacto associado ao vetor da sua área de influência -, dois métodos de representação cartográfica foram abordados. No método 1, somam-se os valores de significância dos arquivos para obter o valor total. No método 2, as zonas de impactos diretos e indiretos são distinguidas, a fim de atribuir a totalidade da significância na primeira zona e interpolar este valor na segunda. Os dados resultantes de cada impacto foram somados por álgebra de mapas. O mapa obtido com o método 1 apresenta significância constante, visto que foi considerado apenas valores da matriz de Leopold. Todavia, no segundo método, observa-se um gradiente devido à interpolação. O entorno imediato do reservatório de Pai Querê apresenta os maiores valores de significância, que decaem até zero em direção à borda das áreas de influência. Os resultados demonstram que há valor agregado nesta espacialização.

Palavras-chave: Sistemas de Informação Geográfica. Avaliação de Impacto Ambiental. Matriz de Leopold. Sobreposição de Mapas.

Abstract

Leopold matrix and map overlay are among the commonly cited methods in environmental impact assessment. A limitation of Leopold matrix is the absence of geographic representation, while map overlay does not represent impact quantitative data. The integration feasibility of both methods will be tested through Leopold matrix spatialization from environmental impact study of Pai Querê hydroelectric powerplant. Pai Querê Leopold matrix and its cartographic dataset are the input data for the spatialization script developed for this assignment as an Add-In for ArcGIS. With the script output files - impact associated with its influence area vector -, two cartographic representation methods were addressed. In method 1, files significance values were summed to obtain its total value. In method 2, areas of direct and indirect impact were differentiated, in order to assign the entire significance value to the former and interpolate significance values in the later. The resulting data were summed using map algebra. The map obtained using method 1 presents a constant significance value, since only Leopold matrix values were considered. However, in the second method, a gradient of significance is observed due to the interpolation. The immediate surroundings of Pai Querê reservoir presents higher significance values that decreases toward its influence areas border. The results demonstrate an added value in this spatialization.

Keywords: Geographic Information System. Environmental Impact Assessment. Leopold Matrix. Map Overlay.

Lista de Figuras

Figura 1 – Diagrama da Topografia do Surto (<i>Diagram of the Topography of the Outbreak</i>)	19
Figura 2 – AID e AII para o terminal de uso privativo da Braskem – Candeias/BA	23
Figura 3 – Alternativa locacional para o terminal de uso privativo da Braskem – Candeias/BA	26
Figura 4 – Matriz de interação para a qualidade do ar	27
Figura 5 – Mapa de vulnerabilidade à poluição atmosférica para a cidade de Guildford	28
Figura 6 – Passos para atingir os objetivos	30
Figura 7 – Consulta de Estudos Ambientais (EIA/RIMA) - Pai Querê	31
Figura 8 – Localização de Pai Querê	32
Figura 9 – Áreas de influência do empreendimento hidrelétrico Pai Querê	33
Figura 10 – Detalhe da base cartográfica	40
Figura 11 – Fluxograma da lógica de espacialização	42
Figura 12 – Representação da soma da significância	43
Figura 13 – Exemplos de mudança de área para o impacto “Alteração da vazão sólida a jusante”	44
Figura 14 – Exemplo de mudança de área para o impacto “Erosão das margens do reservatório e instabilidade dos taludes”	45
Figura 15 – Anomalias nas interpolações	47
Figura 16 – Representação da soma de interpolações da significância	48
Figura 17 – <i>Add-In</i> desenvolvido para o ArcGIS	49
Figura 18 – Arquivos raster gerados a partir do <i>Add-In</i>	50
Figura 19 – Interpolação na ADA	51
Figura 20 – Interpolação na AID	52
Figura 21 – Interpolação na AII	52
Figura 22 – Interpolação na AAR	53
Figura 23 – Resultado 1	54
Figura 24 – Resultado 2	56
Figura 25 – Arquivo raster de “Alteração do regime hidráulico do reservatório”	66
Figura 26 – Interpolação de “Alteração do regime hidráulico do reservatório”	66
Figura 27 – Arquivo raster de “Movimento de massa nas encostas do reservatório”	67

Figura 28 – Interpolação de “Movimento de massa nas encostas do reservatório” .	67
Figura 29 – Arquivo raster de “Alterações no microclima local”	68
Figura 30 – Interpolação de “Alterações no microclima local”	68
Figura 31 – Arquivo raster de “Erosão das margens do reservatório e instabilidade dos taludes”	69
Figura 32 – Interpolação de “Erosão das margens do reservatório e instabilidade dos taludes”	69
Figura 33 – Arquivo raster de “Restrições de uso no reservatório”	70
Figura 34 – Interpolação para o impacto “Restrições de uso no reservatório” . . .	70
Figura 35 – Arquivo raster de “Assoreamento do reservatório”	71
Figura 36 – Interpolação para o impacto “Assoreamento do reservatório”	71
Figura 37 – Arquivo raster de “Alteração da qualidade da água no reservatório” .	72
Figura 38 – Interpolação para o impacto “Alteração da qualidade da água no reservatório”	72
Figura 39 – Arquivo raster de “Alteração na qualidade das águas subterrâneas” .	73
Figura 40 – Interpolação para o impacto “Alteração na qualidade das águas subterrâneas”	73
Figura 41 – Arquivo raster de “Restrições de uso a jusante”	74
Figura 42 – Interpolação para o impacto “Restrições de uso a jusante”	74
Figura 43 – Arquivo raster de “Alteração do nível do lençol freático”	75
Figura 44 – Interpolação para o impacto “Alteração do nível do lençol freático” .	75
Figura 45 – Arquivo raster de “Interferências sobre áreas de recarga do aquífero” . . .	76
Figura 46 – Interpolação para o impacto “Interferências sobre áreas de recarga do aquífero”	76
Figura 47 – Arquivo raster de “Alteração da vazão sólida a jusante”	77
Figura 48 – Interpolação para o impacto “Alteração da vazão sólida a jusante” . .	77
Figura 49 – Arquivo raster de “Degradação do leito e margens a jusante”	78
Figura 50 – Interpolação para o impacto “Degradação do leito e margens a jusante”	78
Figura 51 – Arquivo raster de “Alteração no regime hidráulico a jusante”	79
Figura 52 – Interpolação para o impacto “Alteração no regime hidráulico a jusante”	79
Figura 53 – Arquivo raster de “Alteração da qualidade da água a jusante”	80
Figura 54 – Interpolação para o impacto “Alteração da qualidade da água a jusante”	80
Figura 55 – Arquivo raster de “Formação de sismos induzidos”	81
Figura 56 – Interpolação para o impacto “Formação de sismos induzidos”	81

Lista de Tabelas

Tabela 1 – Matriz de Leopold reduzida para um empreendimento de exploração de fosfato	25
Tabela 2 – Critérios de avaliação dos impactos ambientais e respectivo valores .	37
Tabela 3 – Faixas de valores para classificação de magnitude, importância e significância	37
Tabela 4 – Matriz de Leopold para o impacto “Alteração do microclima local” .	38
Tabela 5 – Matriz de Leopold para impactos físicos na fase de operação do empreendimento Pai Querê	39
Tabela 6 – Alteração das áreas de influência dos impactos	46

Lista de Abreviaturas e Siglas

AAR	Área de Abrangência Regional
ADA	Área Diretamente Afetada
AIA	Avaliação de Impacto Ambiental
AID	Área Influência Direta
AII	Área Influência Indireta
ANA	Agência Nacional das Águas
APP	Área de Proteção Permanente
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
EIA	Estudo de Impacto Ambiental
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente
ODM	Objetivos do Milênio
ODS	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
RIMA	Relatório de Impacto Ambiental
SIG	Sistema de Informações Geográficas
TR	Termo de Referência

Sumário

1	INTRODUÇÃO	15
2	OBJETIVOS	17
2.1	Objetivo Geral	17
2.2	Objetivos Específicos	17
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
3.1	Sistema de Informação Geográfica	18
3.2	Avaliação de Impacto Ambiental	20
3.2.1	Método das Matrizes de Interação	23
3.2.2	Método da Sobreposição de Mapas	25
3.3	Exemplo de aplicação dos métodos	27
3.4	Da revisão à metodologia	29
4	MATERIAIS E MÉTODOS	30
4.1	Empreendimento	31
4.2	Informações do EIA	34
4.2.1	Matriz de Leopold	35
4.2.2	Base Cartográfica	40
4.3	Espacialização dos Impactos	40
4.4	Representação Cartográfica	43
4.4.1	Soma da Significância	43
4.4.2	Interpolação da Significância	44
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	49
5.1	Script de espacialização	49
5.2	Interpolações	51
5.3	Mapas Finais	53
5.3.1	Resultado 1 - Soma da Significância	53
5.3.2	Resultado 2 - Ponderação da Significância	55
5.3.3	Considerações sobre o método de interpolação	57
6	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	60

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	61
APÊNDICES	63
APÊNDICE A – SCRIPT DE ESPACIALIZAÇÃO	64
APÊNDICE B – INTERPOLAÇÕES	66

1 Introdução

A Avaliação de Impactos Ambientais insere-se nos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) criado na Conferência das Nações Unidas sobre Desenvolvimento Sustentável, Rio+20, em 2012. A fim de substituir os Objetivos do Milênio (ODM), os ODS são um conjunto de metas para redução da pobreza, promoção social e proteção ao meio ambiente a serem alcançadas até 2030. “Cidades e comunidades sustentáveis” e “utilização responsável de recursos” são 2 dos 17 objetivos que justificam o enfoque deste trabalho e de outros que possuem o viés da sustentabilidade e da conservação da vida. A ONU afirma:

“para a realização do desenvolvimento sustentável, é necessário: promover o crescimento econômico sustentável, equitativo e inclusivo; criar maiores oportunidades para todos; reduzir as desigualdades; melhorar as condições básicas de vida; promover o desenvolvimento social equitativo para todos; e promover a gestão integrada e sustentável dos recursos naturais e dos ecossistemas, o que contribui notadamente com o desenvolvimento social e humano, sem negligenciar a proteção, a regeneração, a reconstituição e a resiliência dos ecossistemas diante dos desafios, sejam eles novos ou já existentes.” (ONU, 2012)

A Conferência das Nações Unidas para o Meio Ambiente, em 1972, na cidade de Estocolmo, institucionalizou a AIA como instrumento de gestão ambiental, recomendando aos países a sua inclusão nos processos de planejamento. Por conseguinte, a política ambiental brasileira se desenvolveu motivada pelas pressões externas e de forma tardia em relação às demais políticas setoriais. Além disso, o crescimento industrial foi privilegiado, sem qualquer preocupação com desenvolvimento integrado e sustentável (PEREIRA et al., 2014). Há muitas pautas que se sobrepõem às questões ambientais e sociais na escala de prioridades do Brasil. Cabe a quem se importa com o desenvolvimento sustentável proteger o país contra o retrocesso ambiental, sendo a favor do ministério do meio ambiente e de suas autarquias e propor novas metodologias para buscar inovação, crescimento e aperfeiçoamento deste órgão.

A avaliação de impactos ambientais atua como instrumento que analisa a viabilidade ambiental de um projeto de engenharia em um determinado local, segundo Sanchez,

Lima e Teixeira (1995). Quando inserida na política ambiental brasileira, pode-se entender a AIA como o conjunto de procedimentos necessários para o licenciamento ambiental: Termo de Referência (TR), Estudo de Impactos Ambiental (EIA), Relatório de Impacto Ambiental (RIMA) e audiência pública, entre outros (SANCHEZ; LIMA; TEIXEIRA, 1995).

A matriz de Leopold é tradicionalmente utilizada no Brasil como ferramenta de AIA, sendo inserida dentro do EIA para identificar e mensurar os impactos do empreendimento. Na concepção inicial, por Leopold et al. (1971), todos os valores eram inseridos em uma única matriz e possuíam certo grau de subjetividade. Contudo, percebe-se hoje variações da matriz e a introdução de simulações matemáticas para aproximar seus valores à realidade.

Sobreposição de mapas é uma técnica de AIA que pode ser inserida dentro do EIA em dois momentos distintos: análise de alternativas locais e avaliação dos impactos ambientais. No Brasil, costumeiramente encontra-se em EIAs a sua utilização em análise locacional. Existem poucos exemplos de como este método pode ser aplicado na identificação e avaliação de impactos.

A concepção de associar a matriz de Leopold com sobreposição de Mapas é consequência da ausência de visualização espacial da matriz, da utilização de ambos métodos em trabalhos ambientais e da crescente popularidade do Sistema de Informações Geográficas (SIG). A criação de uma nova ferramenta para a avaliação de impacto ambiental e para os estudos ambientais é uma forma de contornar as desvantagens apresentadas nos dois métodos.

O EIA do empreendimento hidrelétrico Pai Querê foi utilizado para validar a proposta. Foram responsáveis pela elaboração do EIA: Bourscheid Engenharia e Meio Ambiente S.A., Aecogeo Soluções Ambientais Ltda, Sigma Pesquisa e Projetos S/A e Socioambiental Consultores Associados. Este trabalho não avalia o EIA de Pai Querê, tampouco discute a decisão do órgão ambiental a respeito do seu licenciamento, apenas propõe um novo método para a avaliação de impacto ambiental de futuros empreendimentos.

2 Objetivos

2.1 Objetivo Geral

O objetivo principal deste trabalho é verificar a existência de valor agregado ao combinarmos uma matriz de Leopold com sobreposição de mapas na avaliação de impacto ambiental.

2.2 Objetivos Específicos

Este trabalho possui os seguintes objetivos específicos:

- Avaliar a possibilidade de importar a matriz de Leopold no ambiente SIG por meio de um script, a fim de espacializá-la;
- Verificar se o script de espacialização aceita entradas (base cartográfica e matriz de Leopold) genéricas e apresenta as saídas desejadas (arquivos raster e dados vetoriais);
- Verificar a possibilidade de realizar duas abordagens de representação cartográfica com os arquivos de saída do script;
- Determinar se as abordagens de representação cartográfica são passíveis de comparação.

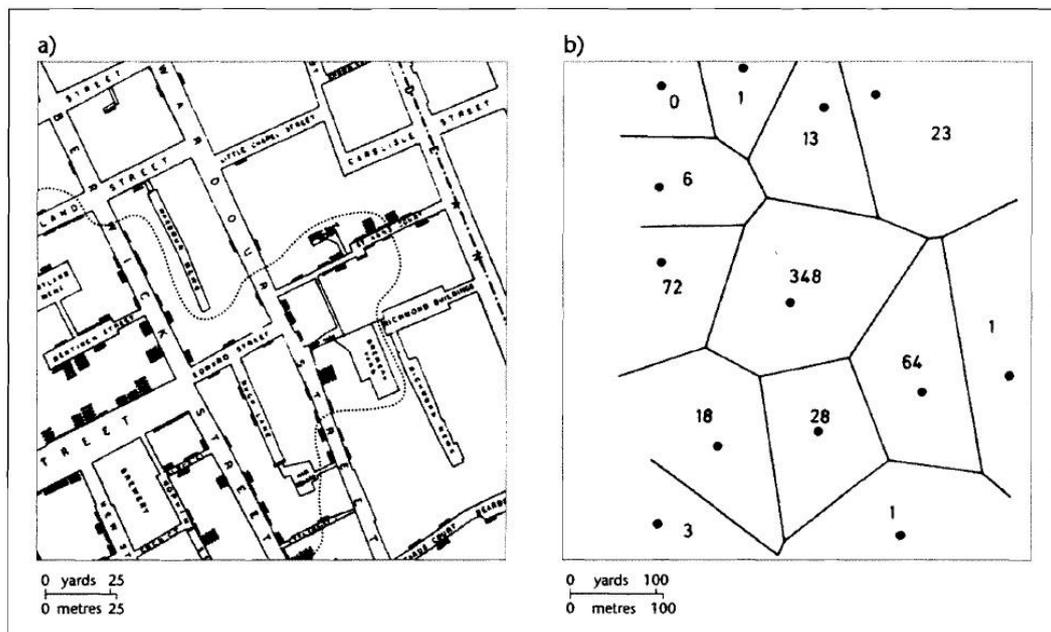
3 Revisão Bibliográfica

Os principais fundamentos teóricos de Sistemas de Informação Geográfica e de Avaliação de Impacto Ambiental foram apresentados neste capítulo. Procurou-se abordar conceitos importantes, histórico e legislação nas seções que compõem esta parte do trabalho. Na revisão de Avaliação de Impacto Ambiental, há subseções para cada método de destaque - matriz de Leopold e sobreposição de mapas - onde são tratados vantagens e desvantagens de cada ferramenta. Por fim, um artigo no qual este trabalho foi inspirado parcialmente é apresentado como exemplo de trabalho anterior.

3.1 Sistema de Informação Geográfica

O Sistema de Informação Geográfica (SIG ou *Geographic Information System* - GIS, acrônimos em português e em inglês) é uma plataforma que une informações terrestres, com ferramentas que reproduzem, simulam e gerenciam dados. O SIG trata o espaço geográfico como informação e como agregador de informações (MENDES; CIRILO, 2001). Uma análise típica em SIG envolve a entrada de uma base de dados geográficos, mapas ou modelos matemáticos, realiza operações e devolve o resultado como saída. Sobreposição de dados geográficos, processamento de raster e conversão de dados são exemplos destas operações, conforme Law e Collins (2013).

O SIG é uma ferramenta fundamental para a definição, manejo e análise de informações, ajudando na tomada de decisão. Sua origem aconteceu no surto de cólera em Londres, em 1854. John Snow utilizou localização, intensidade e difusão da doença como fatores de estudo ao mapear todas as mortes ocorridas por cólera na região. Snow demarcou a distância média entre as bombas de água, criando polígonos que mostram a incidência de cólera ao entorno de cada bomba (Figura 1). O polígono centrado na bomba de *Broad Street* obteve o maior número de incidências, concluindo que este local poderia ser a causa do surto (KOCH, 2004).

Figura 1 – Diagrama da Topografia do Surto (*Diagram of the Topography of the Outbreak*)

Fonte: Koch (2004)

Cada mapa é resultado da seleção de dados do autor dentro de uma gama de possibilidades, de acordo com Koch (2004). O mapa de Snow reflete um fenômeno específico de interesse na área da saúde. Porém, hoje, SIG é amplamente difundido em diversas áreas do conhecimento devido ao processamento rápido e eficiente de dados, conforme Mendes e Cirilo (2001). A rápida disseminação desta plataforma ocorreu devido aos programas de SIG livres como QGIS ou IDRISI e aos programas pagos, como ArcGIS.

Para o entendimento deste trabalho, é necessário apresentar alguns conceitos de SIG, definidos por Law e Collins (2013):

Vetor É o formato do objeto, podendo ser representado por polígonos, linhas ou pontos. Delimitação de áreas, rios e estradas são representados em vetor.

Raster Matriz cujos quadrados contém o valor de algum elemento. Fenômenos naturais como elevação, declividade e temperatura são representados neste formato.

3.2 Avaliação de Impacto Ambiental

O surgimento da Avaliação de Impacto Ambiental (AIA) foi consequência da crescente percepção da fragilidade e da vulnerabilidade dos ecossistemas frente ao crescimento econômico e à industrialização dos países desenvolvidos. Os Estados Unidos foram o primeiro país a desenvolver uma legislação em prol do meio ambiente, ao criar o NEPA (*National Environmental Policy Act of 1969*). Esta realização foi consequência de movimentos como *Clean Air Act* (1963) e *Wilderness Act* (1964) que referem-se, respectivamente, ao controle legal da poluição atmosférica e à proteção de áreas selvagens. O livro Primavera Silenciosa (*Silent Spring*, 1962) expôs a consequência da contaminação acumulativa do pesticida DDT em aves, sendo outra causa importante para o surgimento desta legislação (PEREIRA et al., 2014).

A avaliação de impacto ambiental é uma investigação dos impactos de uma ação proposta e de suas alternativas e que apresenta resultados de forma adequada ao público e aos responsáveis pela tomada de decisão. (MOREIRA, 1985) Assim, NEPA definiu que a AIA abordasse os seguintes aspectos: a) identificação do impacto ambiental, b) efeitos ambientais negativos da proposta, c) alternativas de ação, d) relação entre a utilização dos recursos ambientais no curto prazo e a manutenção ou melhoria do padrão ambiental no longo prazo, e e) comprometimento com o recurso ambiental para o caso de implantação da proposta (PEREIRA et al., 2014).

A AIA possui, ainda, quatro funções complementares: suporte à decisão, ajuda à concepção de projetos, gestão ambiental e negociação social, conforme Sanchez (1993). A função de suporte a decisão é aquela que fornece a base para a autorização de um empreendimento. Esta função serve para modificar e melhorar projetos, a fim de que sejam aceitos pelo órgão ambiental. Como instrumento de concepção de projetos, a AIA serve para equiparar o meio ambiente a critérios técnicos e econômicos, tratando-a como atividade a ser desempenhada na concepção e no detalhamento do projeto. Como papel de gestão ambiental, a AIA identifica os impactos e força às mitigações ou às compensações no EIA. Por fim, como função de negociação social, a AIA mostra à sociedade questões referentes ao empreendimento, sendo importante para a resolução de conflitos (SANCHEZ; LIMA; TEIXEIRA, 1995).

O Conselho Nacional do Meio Ambiente estabeleceu a resolução CONAMA 01/86 que dispõe sobre critérios básicos e diretrizes gerais para a AIA. O artigo 1º da Resolução CONAMA 01/86 define impacto ambiental como:

"qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que direta ou indiretamente venham a afetar: a saúde, a segurança e o bem estar da população; as atividades sociais e econômicas; a biota; as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente; a qualidade dos recursos ambientais." (CONAMA, 1986)

Percebe-se que não há distinção entre impactos negativos e positivos. De maneira breve, impactos negativos ocasionam danos à qualidade de um fator ambiental, enquanto que impactos positivos potencializam os benefícios. Sendo assim, a Avaliação de Impacto Ambiental deve conter não somente impactos negativos - perda da camada superficial do solo, assoreamento, diminuição habitat natural e etc. -, como também os positivos - arrecadação de impostos, oferta de empregos e etc. - (PEREIRA et al., 2014).

CONAMA 01/86 define Avaliação de Impacto Ambiental no Artigo 6º:

II - Análise dos impactos ambientais do projeto e de suas alternativas, através de identificação, previsão da magnitude e interpretação da importância dos prováveis impactos relevantes, discriminando: os impactos positivos e negativos (benéficos e adversos), diretos e indiretos, imediatos e a médio e longo prazos, temporários e permanentes; seu grau de reversibilidade; suas propriedades cumulativas e sinérgicas; a distribuição dos ônus e benefícios sociais. (CONAMA, 1986)

No Artigo 5º, define área de influência:

III - Definir os limites da área geográfica a ser direta ou indiretamente afetada pelos impactos, denominada área de influência do projeto, considerando, em todos os casos, a bacia hidrográfica na qual se localiza. (CONAMA, 1986)

Área de influência representa o espaço físico e biótico e as relações sociais, políticas e econômicas a serem direta e indiretamente afetadas pelos potenciais efeitos de um empreendimento nas suas fases de planejamento, implantação e operação. A região deve ser suficientemente abrangente para comportar os reflexos diretos e indiretos do projeto. Portanto, o limite deve alcançar até onde os efeitos ecotoxicológicos são percebidos, até onde pode haver bioacumulação de poluentes na cadeia alimentar, até onde há modificações de habitats e até onde ocorrerão interferências nos ciclos biogeoquímicos,

conforme Pereira et al. (2014). A delimitação de áreas de influência deve ocorrer para cada meio: físico, biótico e socioeconômico. Existem três áreas de influência comumente utilizadas em AIA (Figura 2):

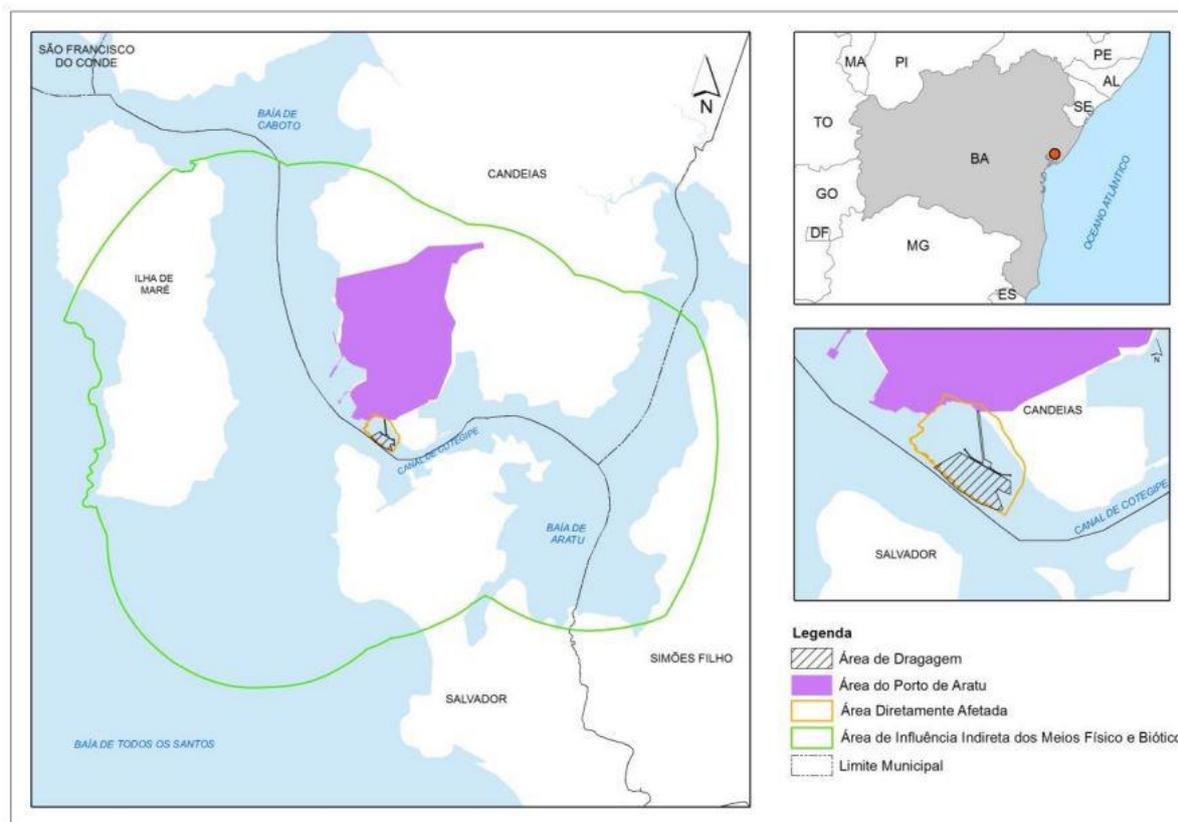
ADA Área diretamente afetada. Onde ocorre a operação do empreendimento e suas edificações de apoio. Para empreendimentos hidrelétricos é a área de inundação e sua cota máxima, acrescida da APP, além de barramento, áreas arrendadas, estradas e outras áreas de apoio (PEREIRA et al., 2014).

AID Área de influencia direta. Abrange o empreendimento e seu entorno. Baseia-se na abrangência dos recursos naturais diretamente afetados pelo empreendimento e considera a bacia hidrográfica onde se localiza (IBAMA, 1995).

AII Área de influencia indireta. Interfere nas relações ecológicas, sociais e econômicas (IBAMA, 1995).

Existem inúmeros métodos para realizar a avaliação de impacto ambiental, porém, não há algum que se aplique a todos os estudos e que não possua limitações. A escolha do método utilizado depende dos dados, dos requisitos legais, das características do empreendimento, da forma de obtenção de resultados e dos objetivos (PEREIRA et al., 2014). Os métodos mais conhecidos são: Ad hoc, listagem de controle (*checklist*), matrizes de interação, redes ou diagramas de interação, sobreposição de mapas e modelos de simulação (PEREIRA et al., 2014; CREMONEZ et al., 2014; IBAMA, 1995).

Figura 2 – AID e AII para o terminal de uso privativo da Braskem – Candeias/BA



Fonte: Retirado de Bourscheid (2016)

3.2.1 Método das Matrizes de Interação

A matriz de interação é um método de avaliação de impacto ambiental que possui como objetivo permitir a visualização das relações entre os fatores ambientais e as ações antrópicas (IBAMA, 1995). Consiste em uma tabela onde listam-se, na primeira linha, as ações que causam o impacto ambiental em todas as fases do empreendimento. Na primeira coluna, listam-se as condições ambientais que seriam afetadas na área de influência. Construções, abertura de rodovias, vazamentos e escavações são ações antrópicas que podem ser alocadas na primeira linha da matriz. Qualidade da água e do ar, erosão e perda de espécies endêmicas seriam colocadas na primeira coluna (PEREIRA et al., 2014).

A matriz de interação pode ser qualitativa ou quantitativa. A matriz qualitativa relaciona a ação humana com o fator ambiental, sem atribuir valores. A matriz quantitativa confere valores de magnitude e importância a estas relações. A matriz de Leopold (Tabela 1) é a matriz quantitativa mais conhecida. Foi desenvolvida em 1971 pelo Serviço Geológico do Ministério do Interior dos Estados Unidos (LEOPOLD et al., 1971). Esta metodologia é uma das mais empregadas para a avaliação de impacto ambiental, sendo frequentemente escolhida como um método de elaboração de estudos no Brasil. (CREMONEZ et al., 2014).

A matriz de Leopold, na sua concepção original, possui 100 ações relativas ao empreendimento e 88 fatores ambientais, concedendo 8.800 possíveis relações. Porém, estima-se que a maioria dos empreendimentos possuem de 25 até 50 relações. Nas células onde existe a interação, são quantificados dois números que representam a relação ambiente *versus* ação antrópica: magnitude e importância. Magnitude é percepção de grau e escala do impacto sobre o ambiente. Importância (ou significância) é a circunstância do impacto. Por exemplo, uma rodovia altera o padrão de drenagem na região, causando um impacto com grande magnitude. Entretanto, este impacto tem baixa importância, pois a rodovia é pequena. A magnitude é colocada no canto superior esquerdo de cada célula; a significância, no canto inferior direito. Ambos podem variar de 1 a 10. É conveniente identificar as relações com os símbolos + e - para identificar impactos positivos e negativos. Por fim, as células que não contém interações são excluídas do resultado e obtém-se a matriz resumida (LEOPOLD et al., 1971).

O método é simples, fácil e de baixo custo. Pode ser aplicado a uma grande variedade de projetos. Aborda dados quantitativos e qualitativos e é eficiente na identificação de impactos diretos. É flexível, possibilita comparações entre as várias alternativas de projeto e é abrangente, pois comporta os meios físico, biológico e socioeconômico (PEREIRA et al., 2014). Porém, conforme Glasson, Therivel e Chadwick (2005), é limitado por não permitir a representação de efeitos indiretos. É subjetivo, pois exclui detalhes da técnica utilizada para quantificar os valores de magnitude e importância. Não aponta a probabilidade de ocorrência do impacto e características temporais, tampouco apresenta visualização espacial da sua extensão.

Tabela 1 – Matriz de Leopold reduzida para um empreendimento de exploração de fosfato

	Áreas industriais e edifícios	Estradas e pontes	Linhas de transmissão	Explosão e perfuração	Escavações de superfície	Processamento de minério	Transporte por caminhão	Alocação de rejeitos	Vazamentos
Qualidade da água					2 2	1 1		2 2	1 4
Qualidade do ar						2 3			
Erosão		2 2			1 1			2 2	
Sedimentação		2 2			2 2			2 2	
Arbustos					1 1				
Gramíneas					1 1				
Plantas aquáticas					2 2			2 3	1 4
Peixes					2 2			2 2	1 4
Trilhas e camping					2 4				
Paisagens e vistas cênicas	2 3	2 1	2 3		3 3		2 1	3 3	
Qualidade das áreas nativas	4 4	4 4	2 2	1 1	3 3	2 5	3 5	3 5	
Espécies endêmicas e raras		2 5		5 10	2 4	5 10	5 10		
Saúde e segurança							3 3		

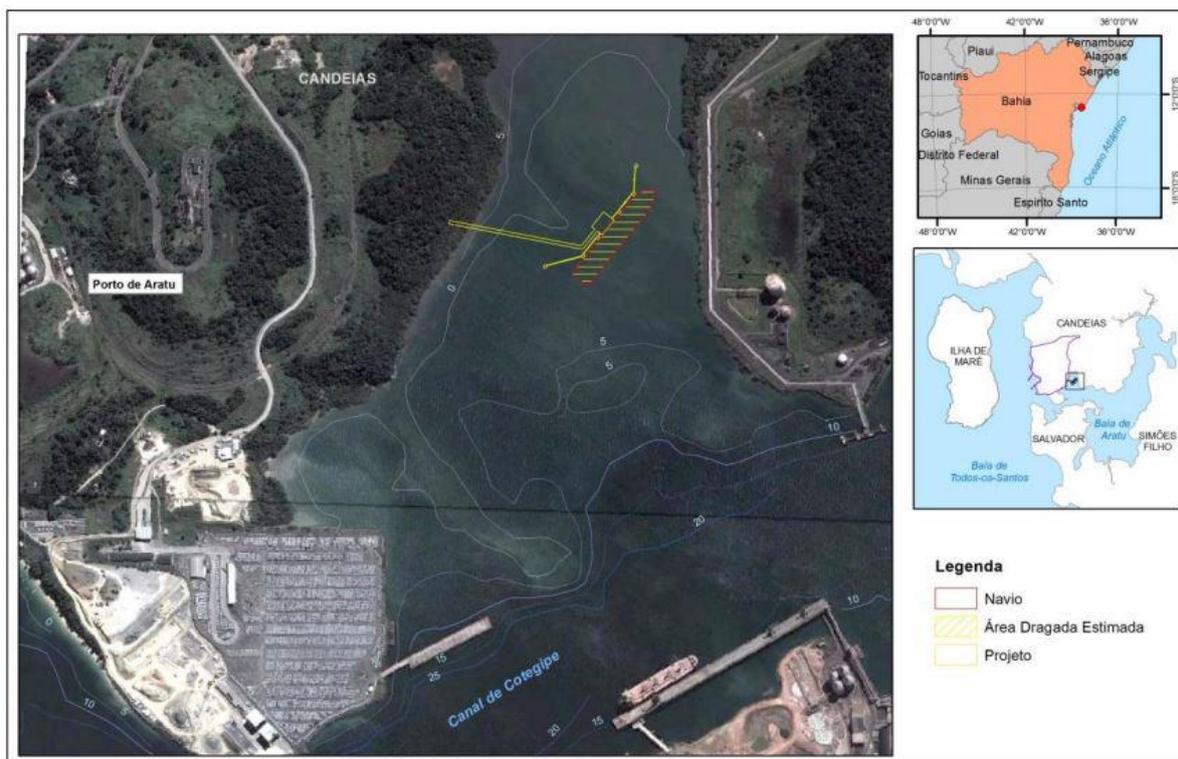
Fonte: Adaptado de Leopold et al. (1971)

3.2.2 Método da Sobreposição de Mapas

A falta de vínculo dos impactos com suas áreas de influencia é um problema nos métodos de avaliação de impacto ambiental, ainda que a maioria dos impactos apresentam uma clara possibilidade de espacialização. O método da sobreposição de mapas está associado ao SIG e, como o próprio nome diz, sobrepõe mapas que representam uma característica física, biológica ou socioeconômica, simulando a implantação do

empreendimento em diferentes localizações a fim de identificar a região dos seus impactos em cada uma delas (PEREIRA et al., 2014). Quando mapas são sobrepostos, produzem uma síntese da situação ambiental da região. Este método é muito utilizado para a análise locacional de EIAs ou para complementar outras metodologias de AIA (CREMONEZ et al., 2014). A Figura 3 exemplifica a utilização deste método na análise locacional, posto que não foi encontrado na literatura pesquisada exemplos de sobreposição de mapas que fogem de uma imagem encontrada em qualquer livro de SIG.

Figura 3 – Alternativa locacional para o terminal de uso privativo da Braskem – Candeias/BA



Fonte: Retirado de Bourscheid (2016)

Nos anos 60, a sobreposição de dados gráficos era realizada através do uso de papel transparente ou translúcido sobre um mapa ou fotografia, com o objetivo de realçar detalhes que requeriam ênfase. Os dados significativos sobre os principais fatores ambientais eram ordenados e registrados em mapas transparentes, com diferentes graus de sombreamento para serem, posteriormente, sobrepostos. (IBAMA, 1995)

Utilizando a sobreposição de mapas, ocorre a visualização espacial da extensão do impacto, sendo fácil comparar alternativas. Este método se tornou extremamente ágil a partir da universalização do SIG. Entretanto, não quantifica magnitude do impacto, é de difícil exposição de dados socioeconômicos, não considera a dinâmica do ambiente e os resultados são subjetivos. Dá destaque ao meio físico e pouco ao biótico (PEREIRA et al., 2014; CREMONEZ et al., 2014).

3.3 Exemplo de aplicação dos métodos

Mavroulidou, Hughes e Hellowell (2004) desenvolveram uma técnica de análise da qualidade do ar utilizando matriz de interação e sobreposição de mapas. O propósito era mapear as áreas de vulnerabilidade, a fim de obter uma rápida análise da qualidade do ar para a cidade de Guildford/UK.

A matriz utilizada no trabalho de Mavroulidou, Hughes e Hellowell (2004) é inspirada na matriz de Leopold, que demonstra grande potencial de ser utilizada em um sistema multi-disciplinar como a poluição atmosférica. Porém, alterações foram realizadas na metodologia de Leopold et al. (1971) a fim de alcançar os objetivos propostos. A matriz desenvolvida lista os parâmetros influenciadores da qualidade do ar na maior diagonal da matriz, a fim de estudar a combinação, interação e influência de um parâmetro no outro, valorando suas interações (Figura 4). Os pesos utilizados para identificar as interações foram obtidos em estudos paramétricos, modelos numéricos ou por experiência.

Figura 4 – Matriz de interação para a qualidade do ar

	$j = 1$	$j = 2$	$j = 3$	$j = 4$	$j = 5$	$j = 6$	$j = 7$	Cause, Σ_j
$i = 1$	Traffic	0	0	0	0	0	4	4
$i = 2$	1	Wind	2	0	0	2	4	9
$i = 3$	0	4	Stability	0	0	0	2	6
$i = 4$	0	2	2	Roughness	0	1	3	8
$i = 5$	1	2	1	0	Topography	1	1	6
$i = 6$	0	2	1	4	0	Buildings	3	10
$i = 7$	0	0	0	0	0	0	Air quality	0
Effect Σ_i	2	10	6	4	0	4	17	43

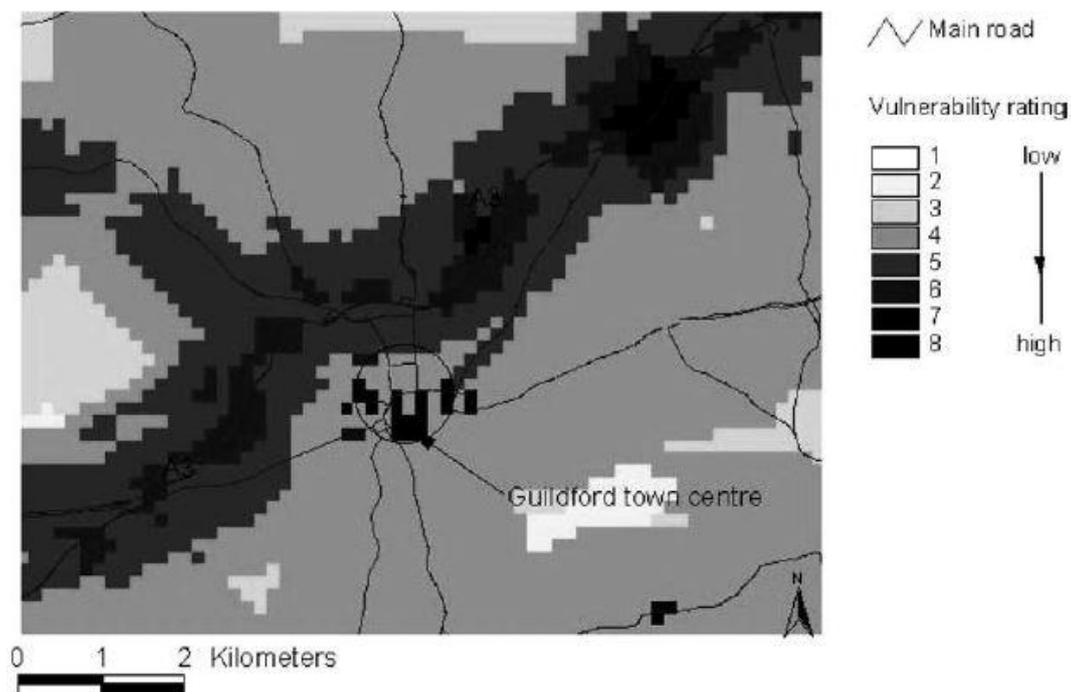
Fonte: Retirado de Mavroulidou, Hughes e Hellowell (2004)

As últimas coluna e linha desta matriz são, respectivamente, causa e efeito, representando a soma das interações. A causa é a influência dos parâmetros no sistema. O

efeito é a influência do sistema no parâmetros. Uma vez que as somas são determinadas e os valores de causa e efeitos são combinados para cada parâmetro, os pesos são importados para o programa de SIG, a fim de criar uma imagem do padrão de poluição atmosférica da região.

Para cada parâmetro da matriz, existe uma base de dados no ambiente SIG. Mavroulidou, Hughes e Hellowell (2004) escolheram tráfego, vento, estabilidade, rugosidade da superfície, topografia e construções como alteradores da qualidade do ar, ou seja, como parâmetros. A soma dos pesos obtidos na matriz multiplicam estes dados para representar o mapa da qualidade do ar da região. O resultado é representado em forma de uma mapa de vulnerabilidade, que destaca as áreas susceptíveis a má qualidade do ar (Figura 5). Este mapa é comparado, favoravelmente, a padrões de concentração de poluentes obtidos por modelos de dispersão, técnica que apresenta uma boa representação da realidade, porém demanda mais tempo.

Figura 5 – Mapa de vulnerabilidade à poluição atmosférica para a cidade de Guildford



Fonte: Retirado de Mavroulidou, Hughes e Hellowell (2004)

3.4 Da revisão à metodologia

Os principais conteúdos para o entendimento do trabalho foram abordados nas seções anteriores. A sobreposição de mapas e a matriz de Leopold são métodos de avaliação de impacto ambiental que serão constantemente manuseados neste trabalho. Uma pergunta relevante que surge neste cenário é se, ao unir estes métodos, existe a possibilidade de agregar suas vantagens e diminuir desvantagens.

Métodos de AIA são costumeiramente empregados em conjunto, pois nenhum consegue representar a total realidade de uma região. Quando reunidos, é possível obter maior representação e entendimento de um impacto, sendo visto com bons olhos pelos órgãos ambientais. Diferentemente de outros métodos utilizados em conjunto, há pouca literatura que apresenta como a sobreposição de mapas pode ser utilizada com outros métodos. Um dos poucos encontrados está descrito na seção anterior a esta.

A realidade é que grande parte dos métodos de AIA apresentam artigos, estudos e livros que os profissionais podem se basear. Na pesquisa realizada para este trabalho, muita literatura foi encontrada sobre matriz de Leopold, o que não aconteceu com sobreposição de mapas. Tampouco para este método aliado a outros. O que existe são trabalhos genéricos sobre SIG, porém nenhum é aplicado especificamente para AIA. Quem analisa o impacto ambiental tende a preferir outros métodos que já estão extensivamente explicados e aplicados.

A sobreposição de mapas é tradicionalmente utilizada na avaliação locacional em EIAs. Esta é uma aplicação menos complexa, que pode ser desenvolvida em programas como *Google Earth*. Este estudo procura demonstrar, ainda, que existe a possibilidade de inserção de um método mais completo na análise locacional.

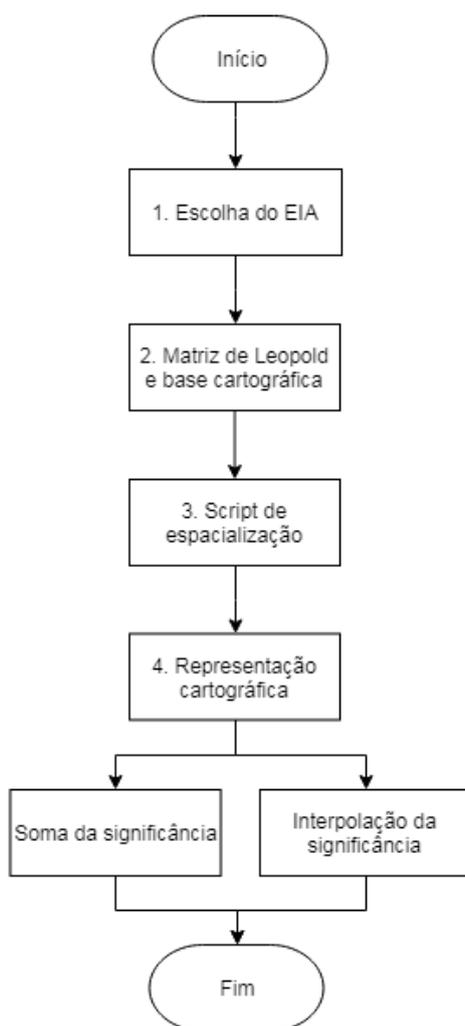
SIG é a única plataforma onde é possível realizar manejo de informações utilizando atributos espaciais, ou seja, álgebra de mapas. Toda a metodologia deste trabalho aconteceu no ambiente SIG, portanto, a matriz de Leopold foi inserida nesta plataforma. A matriz de Leopold e a base cartográfica do EIA de Pai Querê foram as informações de partida deste trabalho para testar a integração dos métodos e verificar se existe valor agregado na sua união.

Sendo assim, este trabalho pode ser referido como uma maneira de atribuir valores quantitativos na sobreposição de mapas, um método de inserir dados geográficos na matriz de Leopold ou, simplesmente, uma interação entre a matriz de Leopold e sobreposição de mapas.

4 Materiais e Métodos

O método adotado dedica-se a analisar a viabilidade da interação entre matriz de Leopold e sobreposição de mapas na avaliação de impacto ambiental. A Figura 6 apresenta os passos seguidos a fim de alcançar o objetivo proposto.

Figura 6 – Passos para atingir os objetivos



A partir do Estudo de Impacto Ambiental escolhido, analisaram-se todas as informações disponibilizadas para que, então, a matriz de Leopold e a base cartográfica fossem inseridas no script de espacialização desenvolvido neste trabalho para o ArcGIS. Com

os resultados do script, foram estabelecidos dois métodos de representação cartográfica: soma da significância e interpolação da significância. Os mapas finais foram derivados dos dois métodos de representação.

4.1 Empreendimento

O Estudo de Impacto Ambiental do Aproveitamento Hidrelétrico Pai Querê foi o trabalho escolhido para analisar a viabilidade da integração entre matriz de Leopold e sobreposição de mapas. Uma grande quantidade de informações sobre este empreendimento está disponibilizadas no site do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente (IBAMA), representado na Figura 7. O Estudo de Pai Querê apresentou toda base cartográfica em formato vetorial e matriz de Leopold em formato quantitativo. Seu processo de licenciamento ambiental junto ao IBAMA está sob o número 02001.002831/2001.

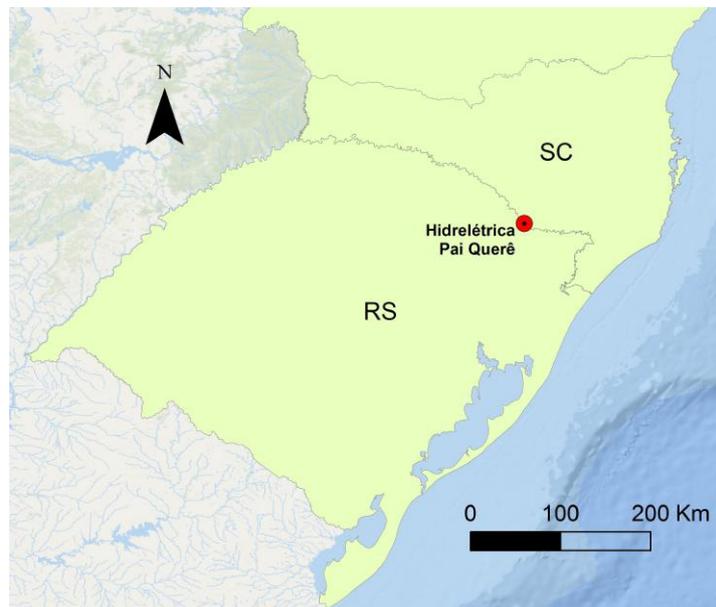
Figura 7 – Consulta de Estudos Ambientais (EIA/RIMA) - Pai Querê



Fonte: Página *online* do IBAMA

O empreendimento hidrelétrico Pai Querê está localizado na divisa do Rio Grande do Sul e Santa Catarina (Figura 8), abrangendo os municípios de Bom Jesus (RS), Lajes (SC) e São Joaquim (SC). Este projeto foi idealizado para o Rio Pelotas e possuiria potência instalada de 292 MW se estivesse em operação, entretanto, não obteve licença prévia.

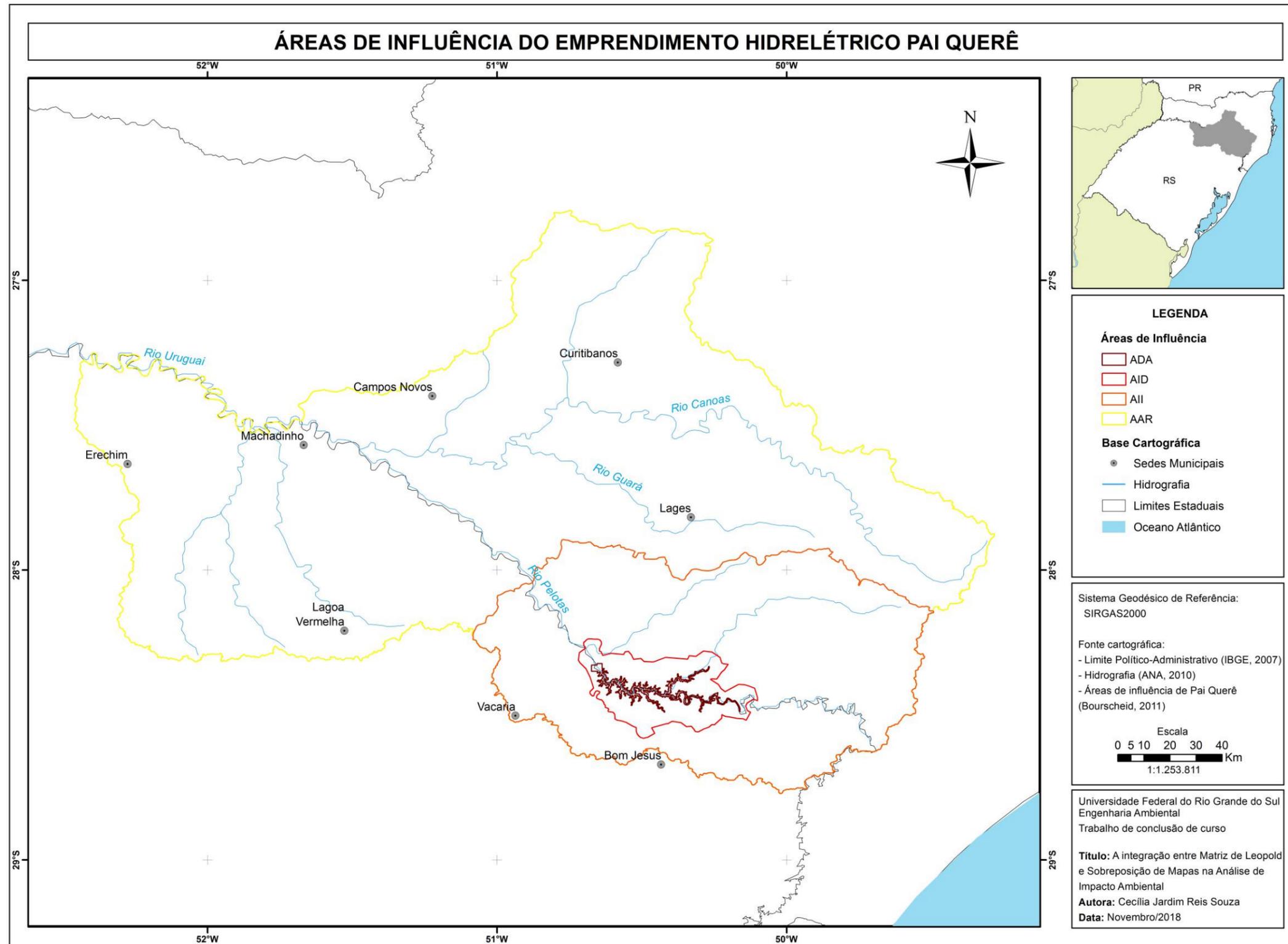
Figura 8 – Localização de Pai Querê



Fonte: Adaptado de Esri (2009), Bourscheid et al. (2011) e IBGE (2007)

O EIA de Pai Querê apresenta quatro áreas de influência para o meio físico: AAR, AII, AID e ADA. Área de Abrangência Regional (AAR) é um conceito que não foi encontrado em referencial bibliográfico consultado, pois foi estabelecido pelo Termo de Referência (TR) do empreendimento. A AAR é definida pela área ocupada pelas bacias do rio Canoas e do rio Apuaê-Inhandava, abrangendo a totalidade da bacia hidrográfica do rio Pelotas e agregando as Unidades de Conservação adjacentes. A AII foi definida pela bacia de contribuição do rio Pelotas no trecho entre suas nascentes e a foz do rio Vacas Gordas. A AID foi delimitada em função das ottobacias disponibilizados pela Agência Nacional das Águas (ANA). A ADA, por fim, corresponde às porções de terra que serão desapropriadas para implantação do empreendimento, ou seja, as áreas ocupadas para a construção da usina, para formação do reservatório e para a Área de Proteção Permanente (APP). Em suma, as áreas de influência para o meio físico estão inseridas na sub-bacia 70 do Rio Uruguai, à exceção da AAR, que abrange, além da sub-bacia 70, as sub-bacias 71, 72 e 73 (BOURSCHEID et al., 2011). A Figura 9 apresenta as áreas de influências de Pai Querê.

Figura 9 – Áreas de influência do empreendimento hidrelétrico Pai Querê



4.2 Informações do EIA

Os impactos físicos da fase de operação são o enfoque da espacialização deste trabalho. Os impactos do meio físico, em comparação com biótico e socioeconômico, possuem mais significado quando espacializados pois apresentam uma correspondência geográfica. Por outro lado, os impactos na fase de operação são mais dispersos na região quando confrontados com os impactos das fases de implantação e de planejamento. Enquanto que na fase de operação ocorrem impactos que abrangem a AAR e AII, nas fases de implantação e de planejamento os impactos são, majoritariamente, localizados na ADA.

A identificação dos impactos ambientais feita pelas consultorias ambientais consideraram os acontecimentos de cada fase. Para a fase de operação, que é a etapa relevante neste trabalho, as seguintes ações foram elencadas: a) Alagamento, b) Operação do sistema de manutenção da vazão remanescente, c) Operação do reservatório, d) Operação da usina para geração de energia, e) Transmissão de energia, e f) Manutenção e controle do patrimônio (BOURSCHEID et al., 2011). Como consequência, os seguintes impactos para o meio físico na fase de operação foram previstos:

1. Alterações no microclima local
2. Movimentos de massa nas encostas do reservatório
3. Erosão das margens do reservatório e instabilidade dos taludes
4. Formação de sismos induzidos
5. Interferências no patrimônio espeleológico
6. Alteração do regime hidráulico no reservatório
7. Alteração no regime hidráulico a jusante
8. Restrições de uso no reservatório
9. Restrições de uso a jusante
10. Assoreamento do reservatório
11. Alteração da vazão sólida a jusante
12. Degradação do leito e margens a jusante

13. Alteração da qualidade da água no reservatório
14. Alteração da qualidade da água a jusante
15. Alteração do nível do lençol freático
16. Alteração na qualidade das águas subterrâneas
17. Interferência sobre áreas de recarga do aquífero

4.2.1 Matriz de Leopold

A matriz de Leopold deste empreendimento é quantitativa, portanto, emprega valores numéricos para avaliar os efeitos de suas ações no ambiente. Ela apresenta variações da versão original (Tabela 1), a fim de torná-la menos subjetiva.

De acordo com a consultoria ambiental que desenvolveu o EIA de Pai Querê, foram utilizadas simulações matemáticas para avaliar as influências do empreendimento na região, sempre que possível. Esta é uma das variações apresentadas na matriz de Leopold do EIA. Esta modificação é um bom exemplo de como dois métodos de AIA funcionam quando unidos. A partir de simulações, que são métodos eficientes em representar o mundo real, derivou-se valores para diminuir a subjetividade da matriz de Leopold. Possivelmente, a utilização da simulação sozinha não representaria a totalidade dos impactos no mesmo contexto, enquanto que a matriz realiza isso com facilidade. Desta forma, percebe-se a união de vantagens e diminuição de desvantagens dos métodos de AIA, quando unidos.

Os critérios definidos para avaliação de valores numéricos estão descritos a seguir:

Natureza	Efeitos do impacto no meio ambiente. “Positivo” quando favorável e “negativo” quando adverso.
Localização	Área de influência do impacto. “ADA”, “AID”, “AII” e “AAR”. Impactos localizados na ADA não devem refletir na AID, assim como impactos na AID não podem ser sentidos na AII. Este raciocínio se mantém para AII e AAR.
Espacialização	Disposição do impacto. “Pontual” quando os efeitos são restritos a uma pequena área e “disperso” quando abrange uma região maior.

Incidência	O que produz o efeito no ambiente. Impactos classificados como “diretos” são decorrentes da ação do empreendimento. Impactos “indiretos” são causados por outros impactos.
Duração	Período de tempo que os efeitos se manifestam. São “temporários” quando se manifestam por um período de tempo determinado, “permanentes” quando continuam por um tempo definitivo ou “cíclicos” quando se repetem em determinados intervalos de tempo.
Temporalidade	Permanência do impacto. Impacto de “curto prazo” inicia no período de obras e termina no início da geração de energia. Impacto de “médio prazo” possui duração de 5 anos após o início da geração. Impacto de “longo prazo” permanece além dos primeiros 5 anos de geração.
Reversibilidade	Classifica o impacto como possível ou não de se retornar às condições anteriores após a manifestação dos efeitos. É “reversível” quando, após cessar a ação geradora do impacto, o ambiente retorna à condição incipiente. É “irreversível” quando não acontece este retorno.
Ocorrência	Probabilidade de ocorrência do impacto perante a ação do empreendimento. Classifica-se como “alta” quando possui grande probabilidade de acontecer, “médio” quando é provável e “baixo” quando há poucas chances de ocorrer.
Magnitude	É definida pela soma dos atributos localização, espacialização, duração e temporalidade, portanto, é a grandeza de um impacto em termos absolutos.
Importância	É a soma dos atributos incidência, reversibilidade e probabilidade. Refere-se ao grau de influência do impacto no ambiente.
Significância	É a multiplicação da magnitude pela importância, sendo a combinação de todos os atributos avaliados.

Após a definição dos critérios mencionados, é possível verificar na Tabela 2 os seus valores correspondentes para natureza, localização, espacialização, incidência, duração e temporalidade. Na Tabela 3, encontram-se valores de magnitude, importância e significância, além das suas faixas de classificação. Todos estes valores foram inseridos na matriz de Leopold pela consultoria ambiental.

Tabela 2 – Critérios de avaliação dos impactos ambientais e respectivo valores

Critérios de Avaliação		Valor
Natureza	Positivo	+
	Negativo	-
Localização	ADA	1
	AID	2
	AII	3
	AAR	4
Espacialização	Pontual	1
	Disperso	2
Incidência	Indireta	1
	Direta	2
Duração	Temporário	1
	Cíclico	2
	Permanente	3
Temporalidade	Curto Prazo	1
	Médio Prazo	2
	Longo Prazo	3
Reversibilidade	Reversível	1
	Irreversível	2
Ocorrência	Baixa	1
	Média	2
	Alta	3

Fonte: Bourscheid et al. (2011)

Tabela 3 – Faixas de valores para classificação de magnitude, importância e significância

Natureza	Classificação	Magnitude	Importância	Significância
-	Alta	Abaixo de -9	Abaixo de -6	Abaixo de -57
	Média	Entre -9 e -6	Entre -6 e -4	Entre -28 e -57
	Baixa	Acima de -6	Acima de -4	Acima de -28
+	Baixa	Até 6	Até 4	Até 28
	Média	Entre 6 e 9	Entre 4 e 6	Entre 28 e 57
	Alta	Acima de 9	Acima de 6	Acima de 57

Fonte: Bourscheid et al. (2011)

Como destacado anteriormente, o EIA de Pai Querê apresentou variações da versão original da Matriz de Leopold. Além da utilização de modelos matemáticos para diminuir a subjetividade, o EIA tratou o conceito de importância e significância como distintos, quando Leopold et al. (1971) definiu ambos como sinônimos. Ainda, foram apresentadas 17 matrizes de impactos físicos na fase de operação, ou seja, uma matriz

para cada impacto, enquanto que Leopold et al. (1971) apresentou apenas uma com todos os impactos agrupados. A Tabela 4 exemplifica o modelo apresentado no EIA para o impacto “Alteração do Microclima Local”. Percebe-se na coluna denominada “Valor” os valores dos critérios de avaliação representados nas Tabelas 2 e 3.

Tabela 4 – Matriz de Leopold para o impacto “Alteração do microclima local”

Critério	Avaliação	Valor
Natureza	Negativo	-1
Localização	ADA	1
Espacialização	Disperso	2
Incidência	Direto	1
Duração	Cíclico	2
Temporalidade	Longo prazo	3
Reversibilidade	Reversível	1
Probabilidade	Baixa	1
Magnitude	Média	-8
Importância	Média	-4
Significância	Média	-36

Fonte: Bourscheid et al. (2011)

Da união de 17 tabelas com a mesma configuração da Tabela 4, surge a Tabela 5. Esta nova tabela é a matriz de Leopold para os impactos físicos da fase de operação do empreendimento Pai Querê. Ela é o equivalente à Tabela 1 neste trabalho e é um dos dados de entrada para o script de espacialização.

Tabela 5 – Matriz de Leopold para impactos físicos na fase de operação do empreendimento Pai Querê

Impacto	i1	i2	i3	i4	i5	i6	i7	i8	i9	i10	i11
Alterações no microclima local	-1	1	2	1	2	3	1	1	-8	-4	-36
Movimentos de massa nas encostas do reservatório	-1	1	1	2	2	1	2	2	-5	-6	-30
Erosão das margens do reservatório e instabilidade dos taludes	-1	1	2	2	3	3	2	2	-9	-6	-54
Formação de sismos induzidos	-1	4	2	1	2	3	1	1	-11	-4	-44
Interferências no patrimônio espeleológico	-1	4	2	1	2	3	1	1	-11	-4	-44
Alteração do regime hidráulico no reservatório	-1	1	2	2	3	1	1	3	-7	-6	-42
Alteração no regime hidráulico a jusante	-1	3	2	2	3	1	1	3	-9	-6	-54
Restrições de uso no reservatório	-1	1	2	2	3	1	1	2	-8	-6	-48
Restrições de uso a jusante	-1	2	2	2	3	1	1	3	-8	-6	-48
Assoreamento do reservatório	-1	1	2	2	3	1	2	1	-7	-5	-35
Alteração da vazão sólida a jusante	-1	3	2	2	3	1	2	3	-9	-7	-63
Degradação do leito e margens a jusante	-1	3	2	2	3	1	2	1	-9	-5	-45
Alteração da qualidade da água no reservatório	-1	1	2	2	1	1	1	2	-7	-7	-49
Alteração da qualidade da água a jusante	-1	3	2	2	3	1	1	2	-9	-6	-54
Alteração do nível do lençol freático	-1	2	2	2	3	3	2	3	-10	-7	-70
Alteração na qualidade das águas subterrâneas	-1	1	2	1	1	1	1	1	-5	-3	-15
Interferência sobre áreas de recarga do aquífero	-1	2	2	2	3	1	2	2	-8	-6	-48

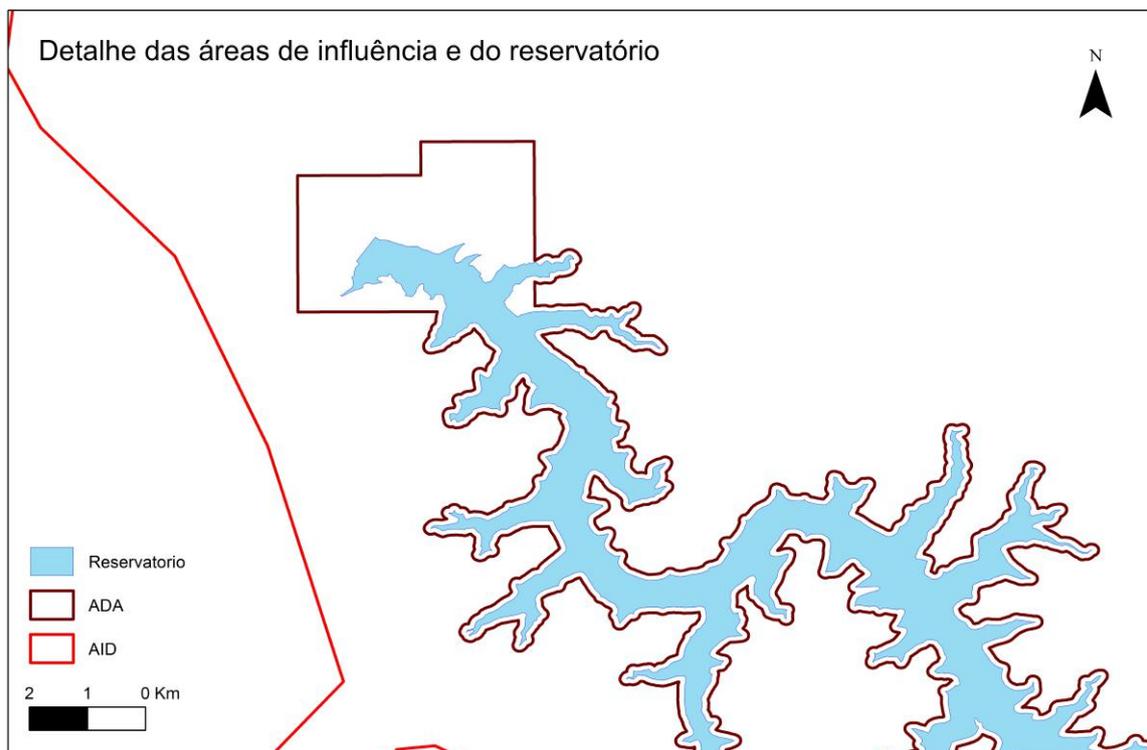
Fonte: Adaptado de Bourscheid et al. (2011)

- i1: Natureza
- i2: Localização
- i3: Espacialização
- i4: Incidência
- i5: Duração
- i6: Temporalidade
- i7: Reversibilidade
- i8: Probabilidade
- i9: Magnitude
- i10: Importância
- i11: Significância

4.2.2 Base Cartográfica

Os dados vetoriais empregados neste trabalho foram retirados da base cartográfica do EIA de Pai Querê e corresponde às áreas de influência (ADA, AID, AII e AAR) e reservatório do empreendimento. A Figura 10 ilustra detalhes dos dados. Estes arquivos foram a segunda e última informação necessária para a espacialização dos impactos, servindo como dado de entrada para o script. O sistema geodésico de referência destes vetores é SIRGAS2000.

Figura 10 – Detalhe da base cartográfica



4.3 Espacialização dos Impactos

A espacialização de impactos manipula as informações retiradas do EIA no programa de geoprocessamento ArcGIS por meio de um *Add-In* em linguagem python, utilizando as funcionalidades do ArcPy. O objetivo deste processo é associar cada linha da matriz de Leopold com o vetor de área de influência correspondente, representado

pelo ícone i2 da Tabela 5. Os dados vetoriais da base cartográfica e a matriz são as informações inseridas no ArcGIS para dar início ao processo de espacialização. A Figura 11 apresenta a lógica de programação descrita nesta seção em forma de fluxograma. O script desenvolvido para o *Add-In* está no apêndice A.

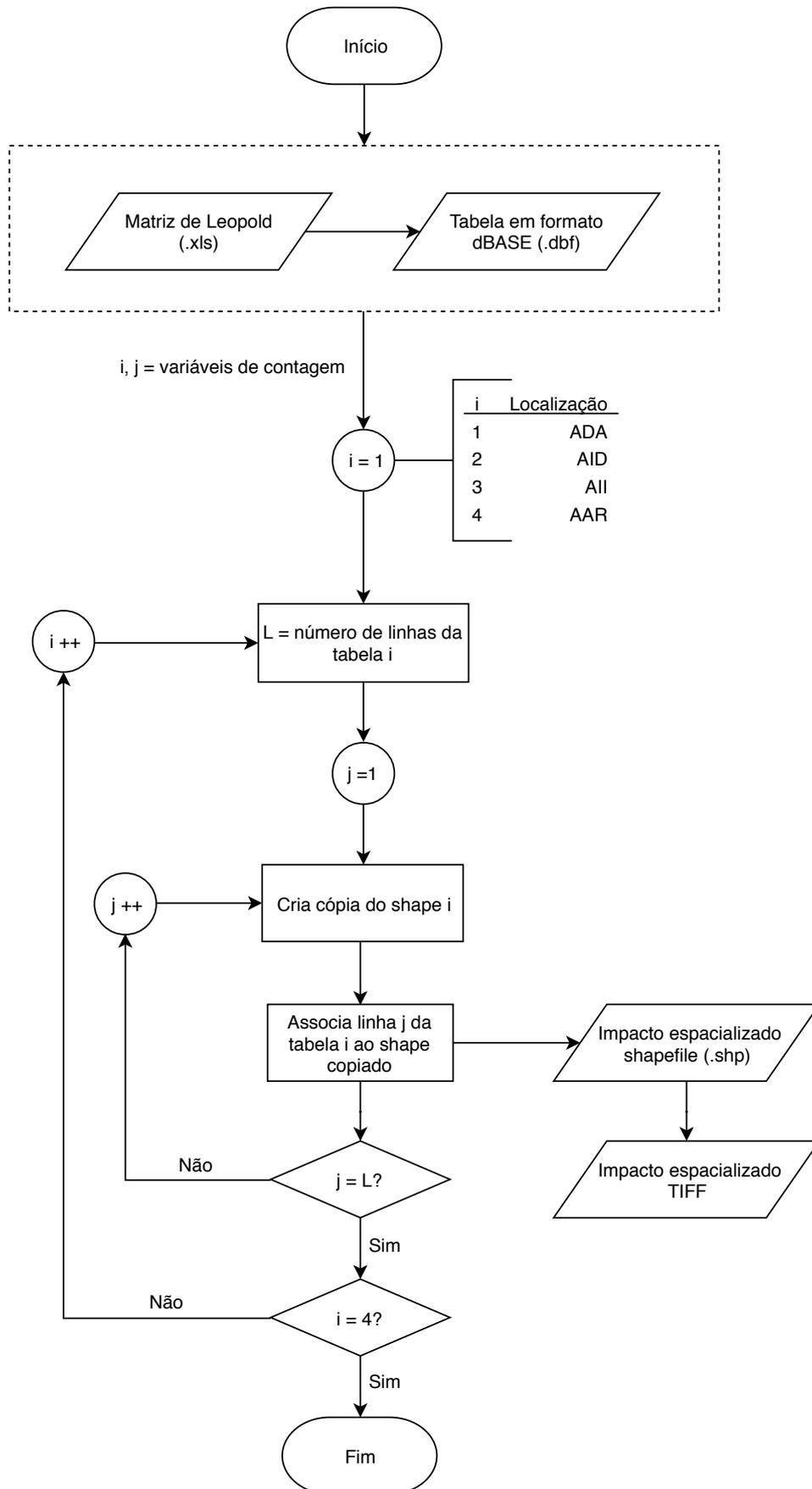
Para iniciar o processo, a matriz (Tabela 5) foi separada em quatro tabelas, diferenciadas por ADA, AID, AII e AAR, empregando a ferramenta *Table Select*. A partir disto, selecionou-se a matriz de localização igual a 1 (ADA) e operando a ferramenta *Get Count*, obteve-se o seu número de linhas como variável de saída. Este dado é utilizado como limite máximo no número de iterações nos próximos passos, criando um laço. A seguir, o *shape* da localização é copiado (ADA) aplicando-se a ferramenta *Copy Features*. Esta ferramenta realiza uma cópia por vez, portanto, houve a necessidade de criar outro laço. O próximo passo é a ferramenta *Table Select*, que cria uma tabela com uma linha, ou seja, um impacto. Com o *shape* de localização criado em *Copy Features* e a tabela com um impacto de *Table Select*, a ferramenta *Join Field* é empregada para associar um ao outro. O resultado é um *shape* da delimitação da ADA tendo como tabela de atributos uma linha da matriz de Leopold.

O resultado de *Join Field* é o impacto espacializado. Entretanto, para realizar as devidas manipulações, foi necessário converter este vetor em raster, empregando a ferramenta *Polygon to Raster*. Ao exportar para o formato TIFF perde-se a tabela de atributos e existe a obrigatoriedade de escolher um *Value Field* para o raster. Neste trabalho, escolheu-se dar o valor de significância aos arquivos raster, visto que este valor é um cálculo de todas as variáveis da matriz de Leopold, sendo pensada como a mais representativa do impacto.

O primeiro laço do script persiste até que todos os impactos da tabela de localização 1 (ADA) sejam exportados para raster. Este laço será finalizado quando o número de vetores criados for igual ao número de linhas da tabela. Se esta condição for afirmativa, entra-se no laço externo do script, onde se realiza os mesmos procedimentos com a tabela de localização 2 (AID). O laço externo finaliza quando o valor de localização for igual a 4 (AAR).

Deste script, ocorrem duas categorias de saída - raster e vetor. O arquivo raster será utilizado na subseção 4.4.1 e o dado vetorial servirá como dado de entrada para a subseção 4.4.2.

Figura 11 – Fluxograma da lógica de espacialização



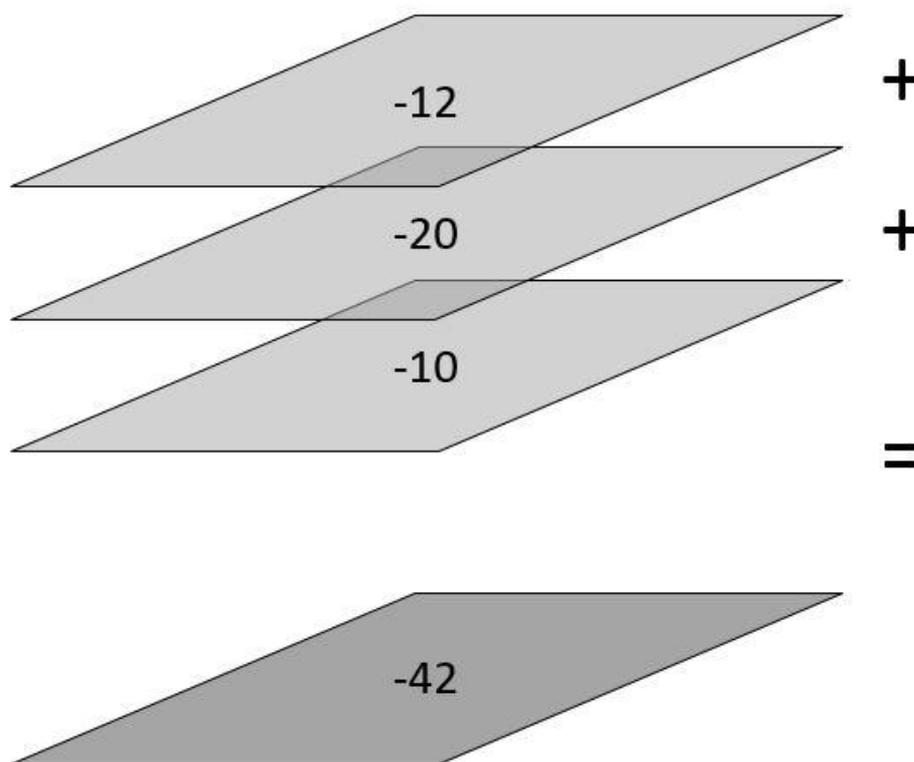
4.4 Representação Cartográfica

Neste item são descritos os métodos de representação cartográfica desenvolvidos para apresentar os resultados do script de espacialização.

4.4.1 Soma da Significância

Este método soma os valores de significância de todos os impactos, empregando a ferramenta *Cell Statistics* e utilizando os 17 arquivos raster como dados de entrada. A Figura 12 exemplifica este método. Cada raster possui o mesmo valor de significância em todos seus pixels, que neste exemplo são -12, -20 e -10. Estes valores são, então, somadas para gerar outro raster com o resultado do somatório.

Figura 12 – Representação da soma da significância



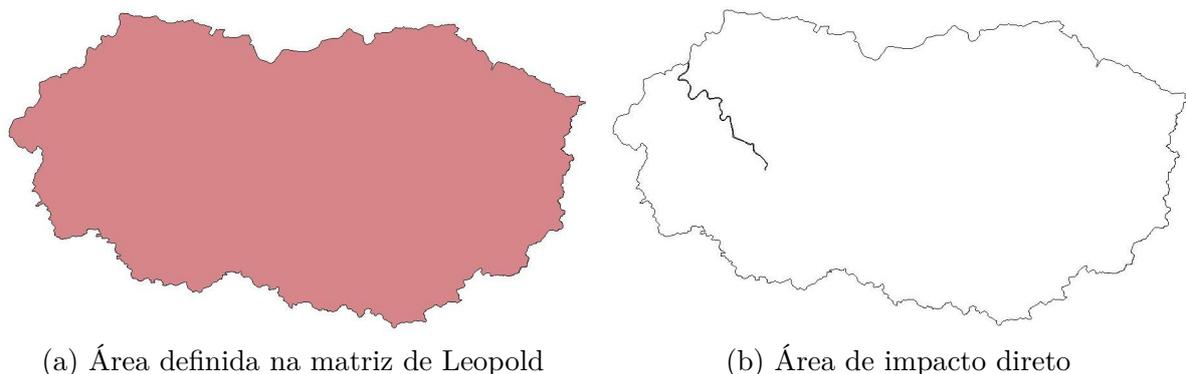
4.4.2 Interpolação da Significância

A intenção deste método é sofisticar a visualização espacial dos impactos, agregando mais informações para o resultado final. Pretende-se analisar a mudança de valor da significância com a distância. Diferentemente do primeiro método, que utiliza os arquivos raster sem modificá-los, esta metodologia emprega os 17 vetores de saída do script e realiza modificações nas feições e nos valores de significância.

A definição das áreas de influência do projeto foi apresentada anteriormente neste trabalho. Espelhando-se neste conceito, que define as regiões que o empreendimento impacta na natureza, a definição de área de influência de impacto é concebida. Esta nova região delimita onde o impacto modifica o ambiente, podendo ser classificados como direto e indireto.

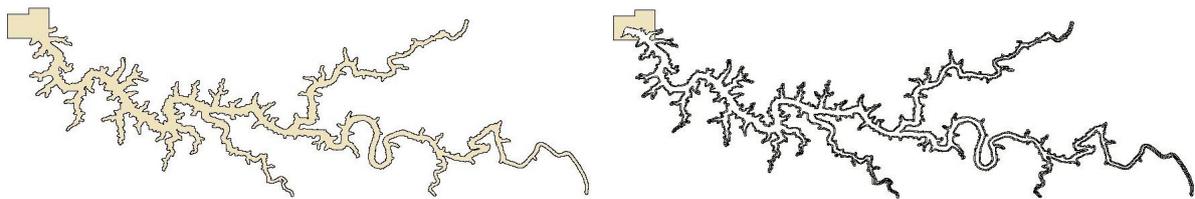
Para explicar esta nova concepção, o impacto de Pai Querê “alteração da vazão sólida a jusante” é utilizado como exemplo. A área de influência prevista na matriz de Leopold para este impacto é AII, portanto, é esperado que um determinado ponto localizado a 20, 30 ou 50 km do reservatório possui a mesma significância que um ponto inserido no leito do rio a jusante. Deste modo, infere-se que a alteração da vazão sólida a jusante tem a mesma significância para um ponto dentro do rio a jusante ou em terra. A área de influência de impacto se insere neste contexto, a fim de modificar a igualdade de significância que ocorre em todos os pontos do reservatório. O leito do rio a jusante inserido na AII é determinado como área de influência de impacto direto - ou apenas impacto direto -, ao mesmo tempo que o restante da região torna-se impacto indireto. A Figura 13 mostra estas modificações.

Figura 13 – Exemplos de mudança de área para o impacto “Alteração da vazão sólida a jusante”



O impacto “erosão das margens do reservatório e instabilidade dos taludes” também é apresentado nesta seção como exemplo. Sua área de influência era ADA, porém, foi modificada para a região inserida dentro da ADA à exceção do reservatório. Deste modo, obtém-se como impacto direto toda área que representa margens e taludes e como impacto indireto a área correspondente ao reservatório. A Figura 14 apresenta a mudança de área descrita.

Figura 14 – Exemplo de mudança de área para o impacto “Erosão das margens do reservatório e instabilidade dos taludes”



(a) Área definida na matriz de Leopold

(b) Área de impacto direto

Sendo assim, os 17 dados vetoriais foram editados para representar apenas as áreas de impactos diretos. A Tabela 6 lista estas mudanças. Para os impactos que continuaram com a mesma área atribuída na matriz de Leopold considerou-se que toda a área de influência é área de impacto direto.

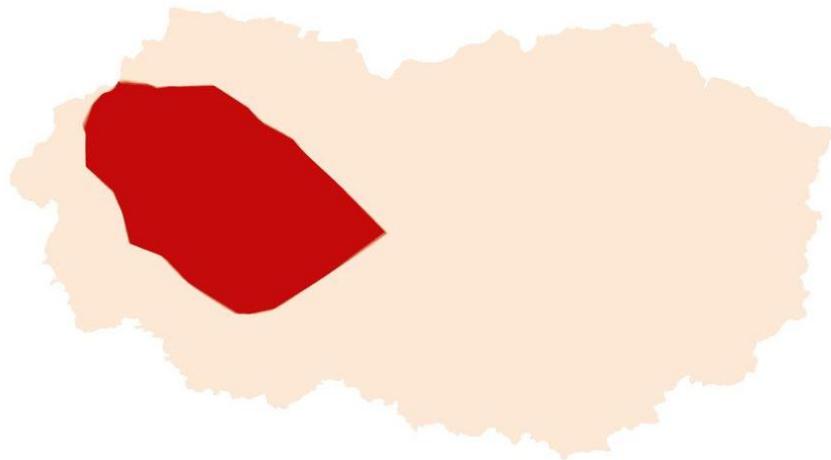
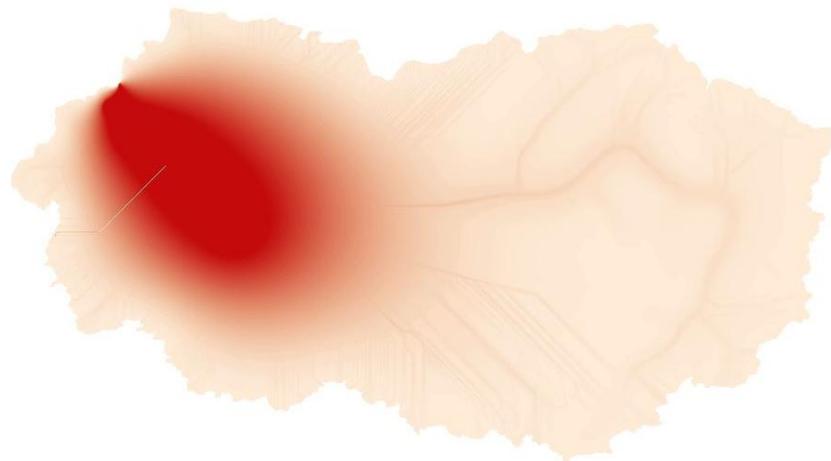
Após a definição das áreas de impactos diretos, a interpolação dos valores de significância para a região de impactos indiretos foi realizada, a fim de estimar a variação da significância com a distância. Para a definição do método de interpolação a ser utilizado na região de impactos indiretos, foram testados os métodos *IDW*, *Natural Neighbor* e *Topo do Raster*. Observou-se uma melhor performance utilizando a ferramenta *Topo do Raster* para impactos inseridos na ADA e *Natural Neighbor* para os demais.

Tabela 6 – Alteração das áreas de influência dos impactos

Impacto do empreendimento	Área matriz de Leopold	Área impacto direto atribuída pelo novo conceito
Alteração do regime hidráulico no reservatório	ADA	Reservatório
Alteração da qualidade da água no reservatório	ADA	Reservatório
Restrições de uso no reservatório	ADA	Reservatório
Alteração do microclima local	ADA	ADA
Movimentos de massa nas encostas do reservatório	ADA	ADA, afora reservatório
Assoreamento do reservatório	ADA	Reservatório
Interferências no patrimônio espeleológico	ADA	ADA
Erosão das margens do reservatório e instabilidade dos taludes	ADA	ADA, afora reservatório
Alteração na qualidade das águas subterrâneas	ADA	ADA
Restrições de uso a jusante	AID	Leito do rio localizado na AID
Alteração do nível do lençol freático	AID	AID
Interferência sobre áreas de recarga de aquífero	AID	AID
Alteração do regime hidráulico a jusante	AII	Leito do rio localizado na AII
Alteração da qualidade da água a jusante	AII	Leito do rio localizado na AII
Alteração da vazão sólida a jusante	AII	Leito do rio localizado da AII
Degradação do leito e margens a jusante	AII	Buffer de 100m do leito do rio localizado da AII
Formação de sismos induzidos	AAR	AAR

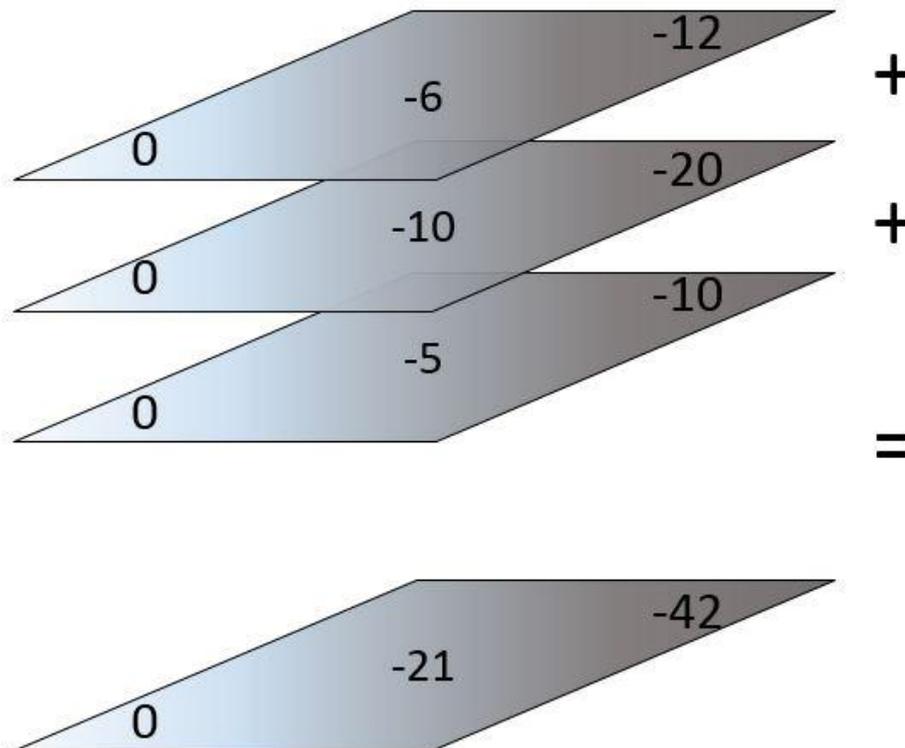
A Figura 15(a) apresenta a interpolação de um impacto na AII utilizando o método IDW. Percebe-se que a variação da significância não foi suave, pois não criou valores intermediários. A Figura 18(b) expõe o resultado da ferramenta *Topo do Raster* para um impacto localizado da AII, na qual pixels vazios e extrapolados foram obtidos. A Figura 18(c) apresenta a interpolação de dados na ADA com a ferramenta *Natural Neighbor*. Este resultado gerou pixels desconexos dos valores ao redor.

Figura 15 – Anomalias nas interpolações

(a) *IDW* na AII(b) *Topo to Raster* na AII(c) *Natural Neighbor* na ADA

Após obter todos os resultados das interpolações, foi utilizada a mesma ferramenta do método anterior, *Cell Statistics*, para somar os arquivos em formato raster. A Figura 16 demonstra a metodologia desta ferramenta aplicada a esta seção. Os valores representados pelo números -12, -20 e -10 seriam os valores totais de significância da matriz de Leopold, por exemplo. O valor intermediário e os zeros são resultado das interpolações. O raster final corresponde a soma destes valores.

Figura 16 – Representação da soma de interpolações da significância



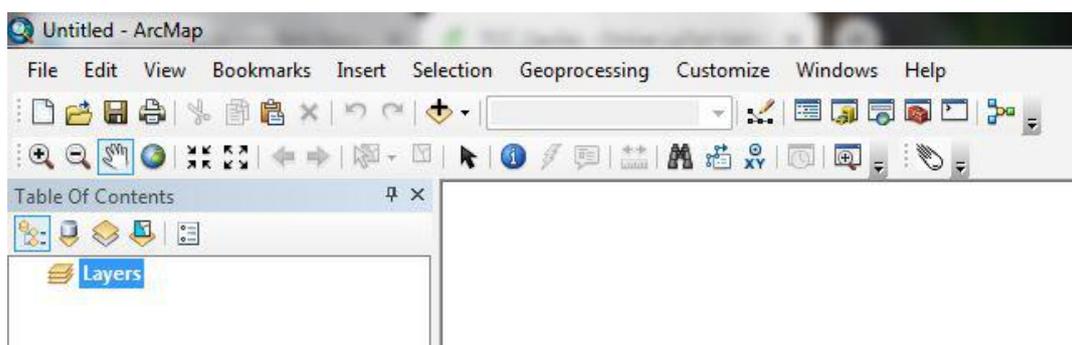
5 Resultados e Discussões

Neste item foram descritos os resultados encontrados no estudo, a partir da apresentação dos mapas gerados pelo script de espacialização e pelas interpolações, bem como as considerações sobre o método utilizado.

5.1 Script de espacialização

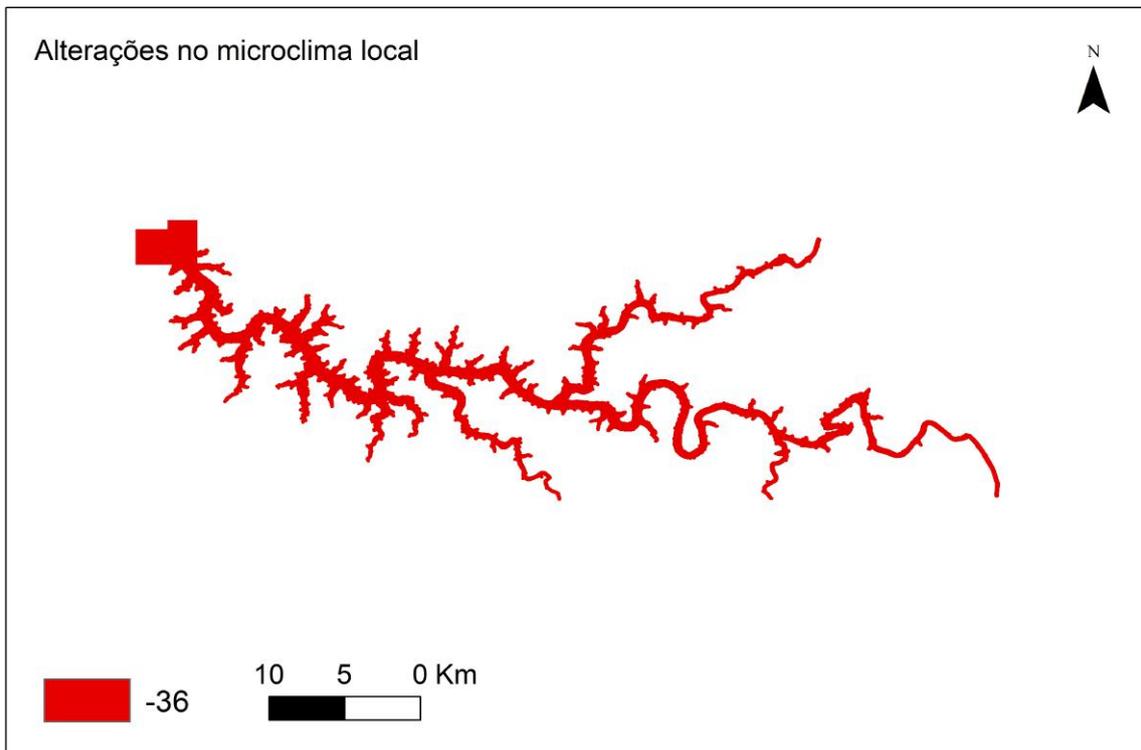
O script de espacialização desenvolvido na forma de *Add-In* para o ArcGIS na linguagem python está apresentado na Figura 17. Ao clicar o botão representado por um meteoro, localizado no lado direito da imagem, o ArcGIS lê o script e processa os dados de entrada, unindo os impactos às suas respectivas áreas indicadas na matriz de Leopold. Como falado anteriormente, o *Add-In* obteve como saída 17 vetores e 17 arquivos raster.

Figura 17 – *Add-In* desenvolvido para o ArcGIS

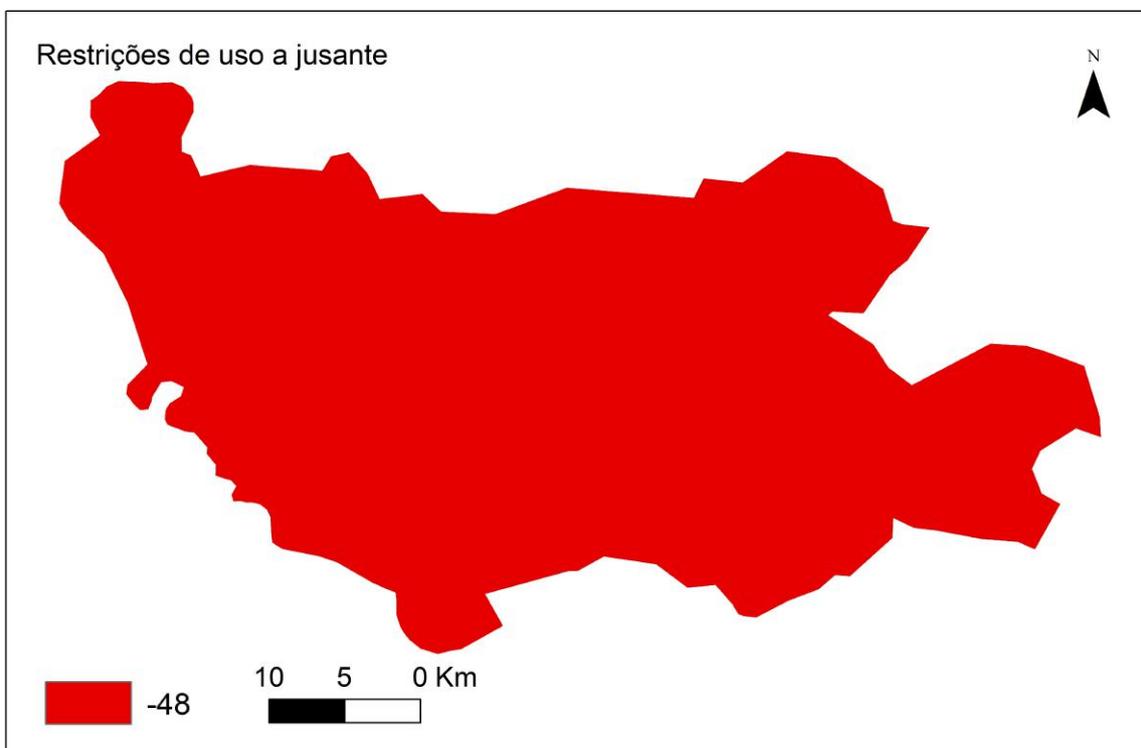


A Figura 18(a) representa o impacto “alterações no microclima local”, localizado na ADA e com significância de -36, conforme exposto na matriz de Leopold. A Figura 18(b) retrata o impacto “restrições de uso a jusante”, que é localizado na AID e possui significância de -48. Estes resultados apresentam valores constantes de significância, ou seja, não há mudança de valor do centro da área até as suas bordas.

Figura 18 – Arquivos raster gerados a partir do *Add-In*



(a) Impacto localizado na ADA



(b) Impacto localizado na AID

5.2 Interpolações

As Figuras 19, 20, 21 e 22 apresentam resultados das interpolações descritas na seção 4.4.2. Quanto mais avermelhada a cor, menores os valores de significância, e maior é o impacto negativo. A região que apresenta cor vermelha uniforme foi a escolhida como impacto direto, enquanto que as zonas onde percebem-se variação de cores são as áreas indicadas como impacto indireto. Assim, verifica-se a variação espacial dos valores de significância. No Apêndice B, estão colocados, para os 17 impactos, os resultados do script de espacialização ao lado dos resultados das interpolações, a fim de facilitar comparações.

Figura 19 – Interpolação na ADA

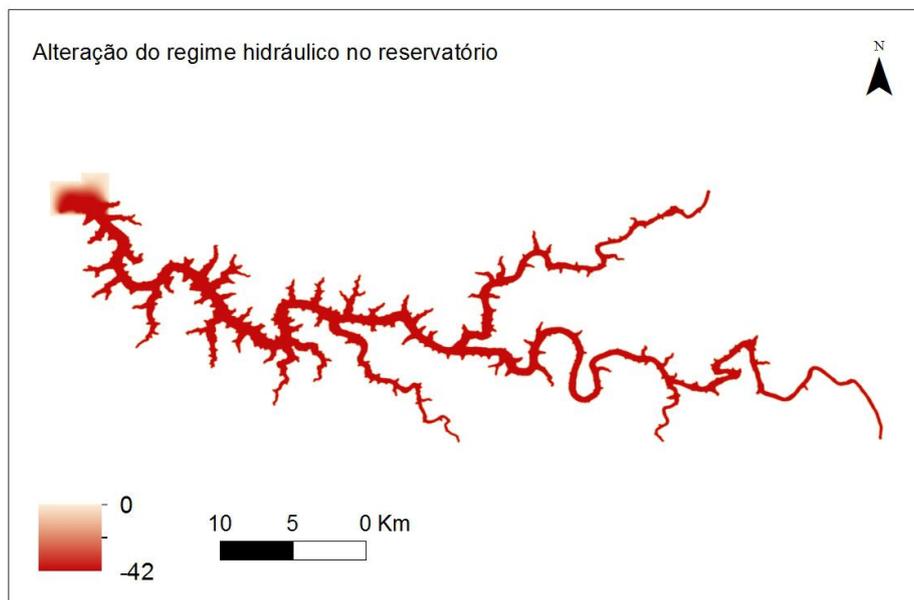


Figura 20 – Interpolação na AID

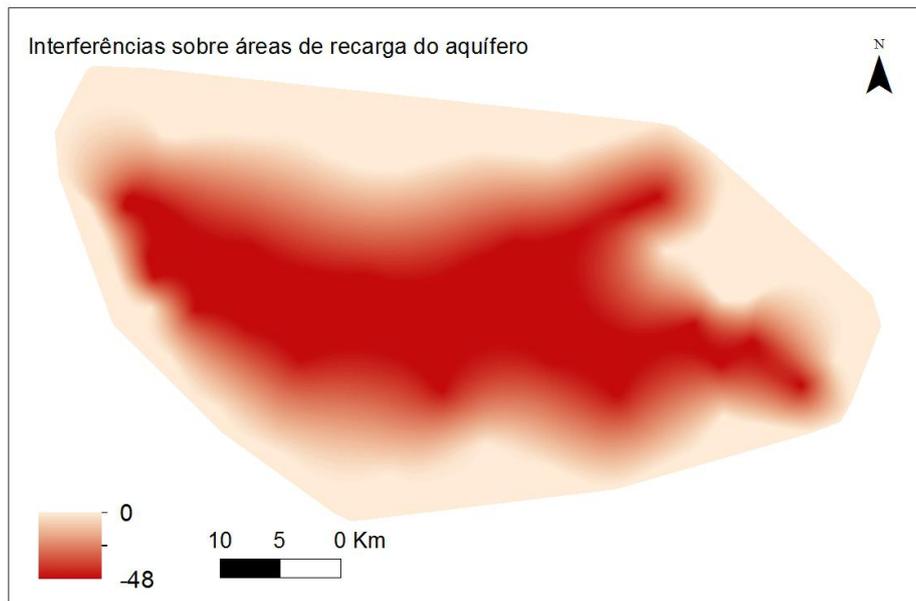


Figura 21 – Interpolação na AII

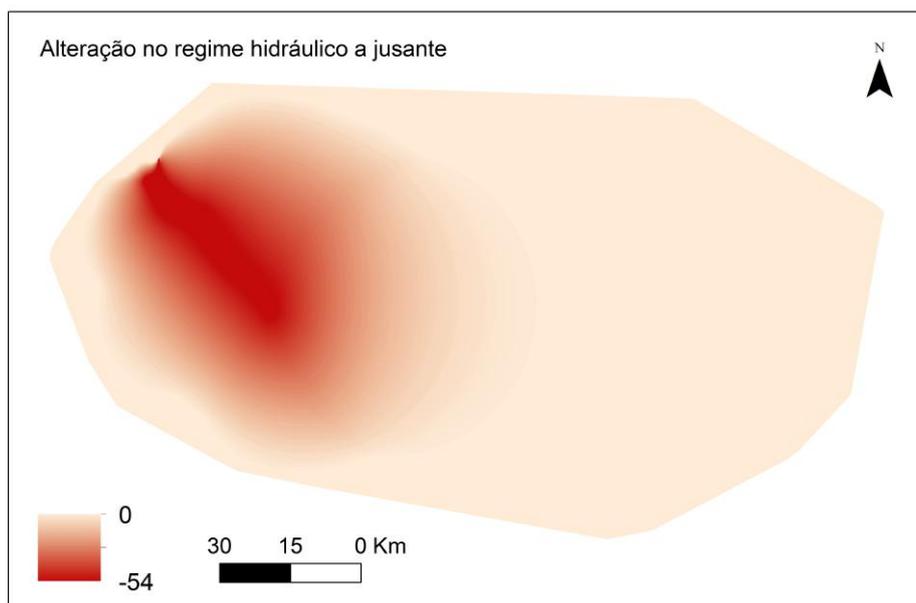
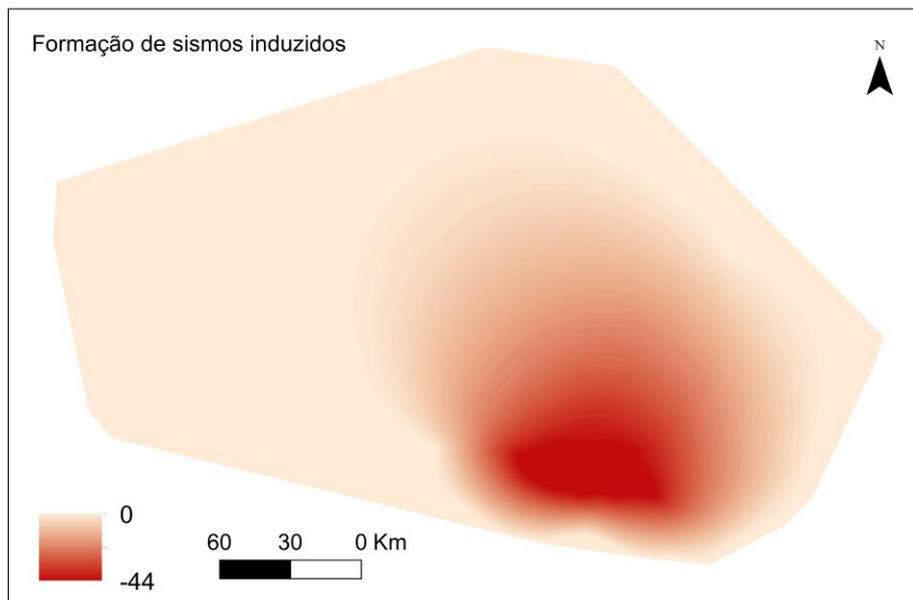


Figura 22 – Interpolação na AAR



5.3 Mapas Finais

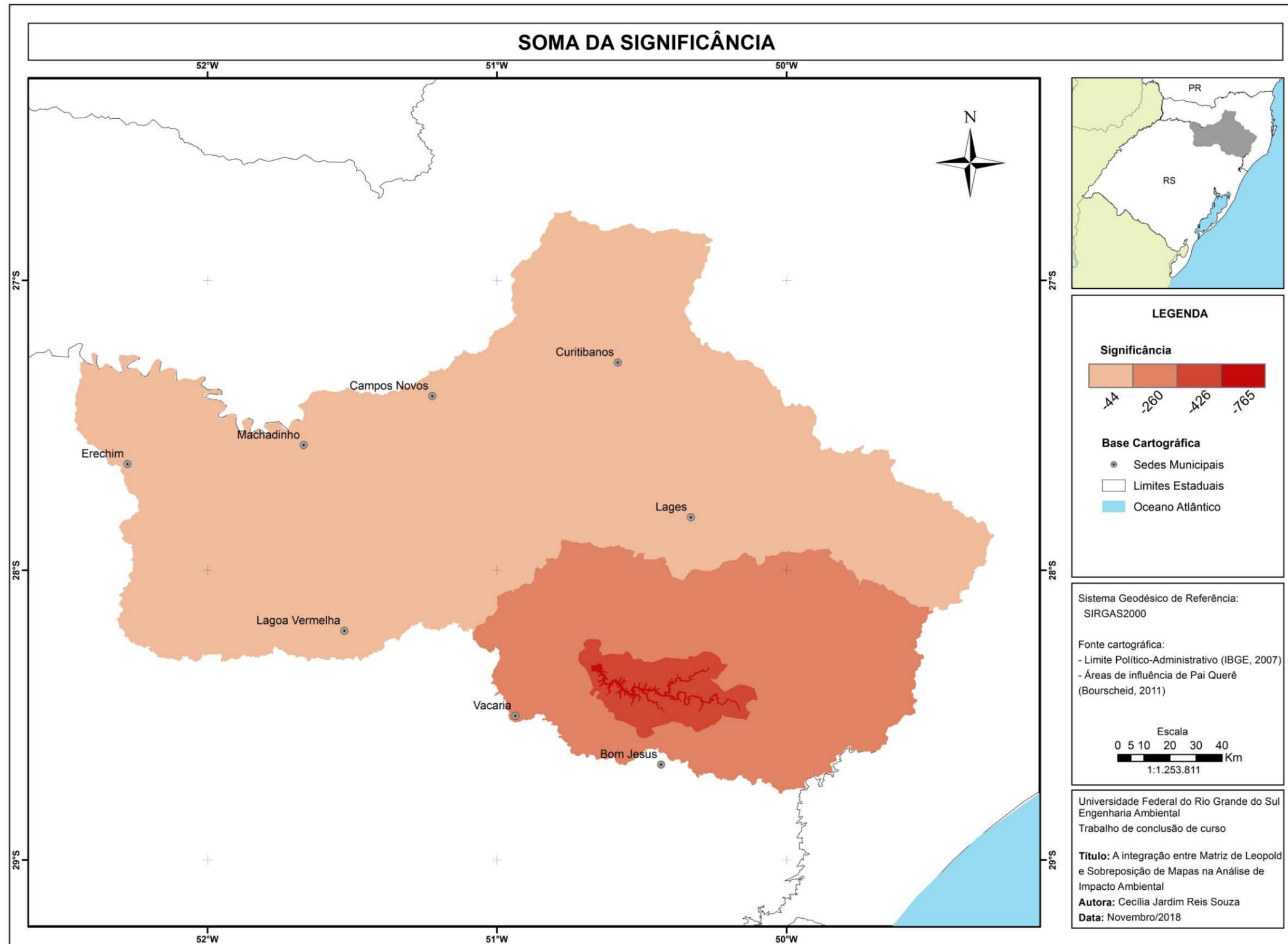
Os produtos finais tratam-se de mapas que localizam as zonas mais impactadas pelo empreendimento hidrelétrico Pai Querê.

5.3.1 Resultado 1 - Soma da Significância

O resultado final da soma dos valores de significância (Figura 23), conforme a matriz de Leopold, apresentou variações de -44 a -765 e se demonstrou limitado às áreas de influência e, conseqüentemente, às bacias hidrográficas da região. ADA apresentou o valor de -765, que é o valor da soma de todos os impactos do empreendimento, visto que todos são percebidos nesta área. -426 representa o valor da soma dos impactos que ocorrem na AID e nas áreas a qual esta região se sobrepõe. -260 é o valor da soma dos impactos localizados na AII e em parte da AAR. -44 é a significância localizada em toda a AAR.

As informações que mais chamam a atenção neste resultado são a mudança de valor de significância de forma abrupta nas bordas das áreas de influência e os valores

Figura 23 – Resultado 1



constantes dentro das áreas. Esta constância ocorre pois, para desenvolver este mapa, apenas os valores de significância da matriz de Leopold foram utilizados, que também são constantes. A variação mais abrupta de significância ocorre da ADA para AID, seguida de AID para AII, AII para fora da área, AII para AAR e AAR para fora da área.

A estabilidade da significância se reflete nas localidades inseridas na região. Sedes urbanas, que não possuem a mesma distância do empreendimento, podem apresentar o mesmo impacto, por conta da significância uniforme. Bom Jesus e Vacaria estão próximas da borda da AAR, porém, a primeira está fora da influência e dista 26.5 km do centro do reservatório. Vacaria está dentro da AAR, influenciada por um valor de significância de -44 e localiza-se a 36,6 km do centro do reservatório. Ambas estão próximas do reservatório e próximas entre si, porém, os impactos são refletidos de maneiras diferentes. Isto acontece pois as bacias hidrográficas foram consideradas para a definição das áreas de influência. Vacaria está dentro da bacia do rio Pelotas; Bom Jesus, não.

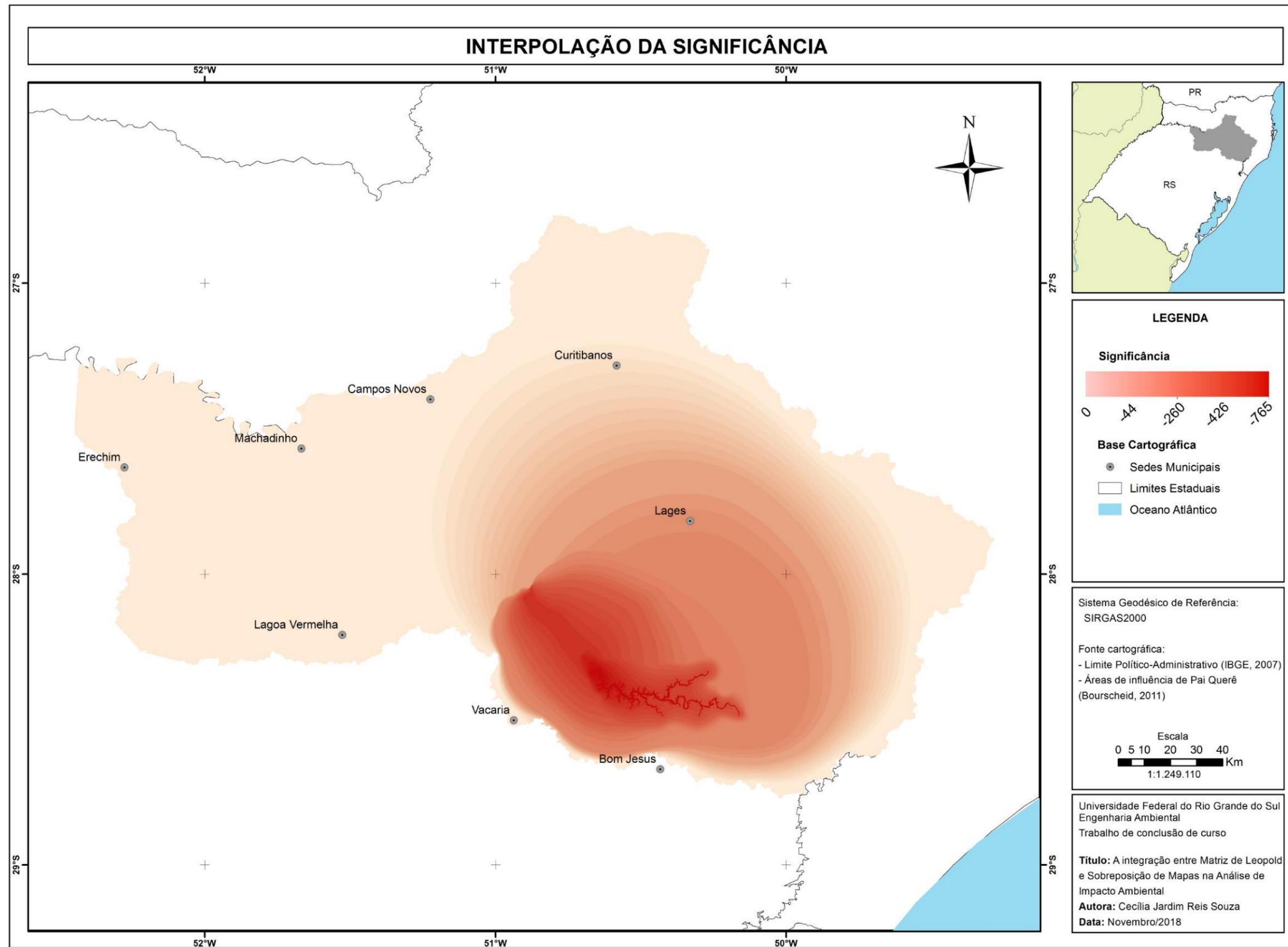
Da mesma maneira, sedes municipais como Lages e Erechim, ambas na AAR, possuem o mesmo valor de significância, porém, suas distâncias do reservatório são 67 km e 181 km, respectivamente. O mapa expõe que o mesmo impacto refletido em Lages será refletido em Erechim. Estas localidades distam 192 km entre si.

5.3.2 Resultado 2 - Ponderação da Significância

O mapa final (Figura 24), resultado da soma de interpolações da significância, apresenta círculos circunscritos ao reservatório de Pai Querê, com variação de valores de significância de 0 a -765. Esta metodologia ameniza as bordas das áreas de influência pois varia continuamente os valores de significância. Os menores valores são representados pelo vermelho escuro em torno do reservatório, enquanto que valores mais próximos de zero são representados pelo vermelho claro. A variação da significância foi maior neste resultado em comparação ao anterior, pois houve aumento dos valores no limite superior. Não ocorreram valores acima de zero, o que implicaria em impactos positivos e poderiam indicar erros na metodologia ou nas interpolações.

A região mais impactada é a contida e circundante à ADA. A menos impactada é AAR. Essa constatação é esperada ao comparar com o resultado anterior e ao verificar a matriz de Leopold. Regiões próximas ao empreendimento são as que sofrem mais interferências no meio físico. Regiões distantes, representadas pela cor bege, apresentaram significância zero.

Figura 24 – Resultado 2



A rampa de cores deste mapa foi gerada pelo gradiente de significância, que, por sua vez, foi criado pelas interpolações. Repara-se que próximo ao reservatório é onde existe o maior gradiente, pois as linhas estão acumuladas e são quase imperceptíveis quando comparado com o resto do mapa. O maior gradiente é aquele entre o reservatório e a sede municipal de Bom Jesus; o menor, entre o reservatório e a sede de Erechim. Isto acontece devido à distância do reservatório até estas localidades. Quanto mais perto um ponto está do reservatório, maior o gradiente.

É possível identificar algumas regiões com significância constante neste mapa, como por exemplo, partes da ADA e a região a jusante do barramento. Estas regiões foram consideradas inúmeras vezes como áreas de impactos diretos e, por consequência, suas delimitações ficaram bem claras no mapa. Em contrapartida, AID e AII tiveram suas bordas amenizadas para deixar a transição da significância suave, tornando a visualização das suas formas pouco evidente. Outra parte que chama a atenção é a área bege que representa grande parte do mapa e possui significância zero. Foi experimentado diminuí-la, porém o método de interpolação não possibilitou a alteração de parâmetros que modificam o tamanho desta região.

Diferentemente do mapa criado a partir da soma da significância, as sedes municipais de Lages e de Erechim não são afetadas da mesma forma pelo empreendimento Pai Querê. Ainda, Bom Jesus e Vacaria apresentam valores parecidos. Na interpolação da significância, pontos próximos ao empreendimento sofreram mais impactos quando comparados aos mais distantes. A variação espacial alcançada pela interpolação da significância é o grande êxito deste trabalho, pois desta forma chega-se mais perto em representar de forma fidedigna as percepções dos impactos em cada localidade.

O mapa final é produto da sobreposição de outros mapas, de tomadas de decisão e de valores subjetivos, sendo assim, sua principal limitação é que ele se configura como soma de erros intrínsecos. Qualquer alteração nos dados de entrada pode alterar o resultado final deste trabalho. Além disto, ao resumir o território em pixels, quando utiliza-se arquivos raster, existe a possibilidade de não traduzir satisfatoriamente a realidade. Outra limitação deste método é que não foram analisados fatores ambientais que alterariam a significância na região, como hidrologia, geologia, clima e etc.

5.3.3 Considerações sobre o método de interpolação

A avaliação de impactos ambientais é um trabalho complexo, pois lida com processos simultâneos e interligados na natureza. Aliar a matriz de Leopold, ou qualquer

outra matriz de interação, à sobreposição de mapas, aplicando a etapa de interpolação, apresenta potencialidades e grande abrangência. Matrizes são um método conhecido em AIA e sobreposição de mapas apresenta uma crescente popularidade devido ao SIG. O método deste trabalho foi desenvolvido para diferentes empreendimentos e busca auxiliar tomadores de decisão e órgãos ambientais e esclarecer o público em geral.

Por ser derivado de dois métodos conhecidos, a integração da matriz de Leopold à sobreposição de mapas, quando realizada até a etapa de interpolação, requer certo grau de experiência ou uma equipe multidisciplinar para atribuir o valores de significância na matriz. Necessita, também, de conhecimento prévio para utilizar o programa de geoprocessamento. Exige, ainda, matriz de Leopold completa e dados cartográficos das áreas de influência pré-determinadas.

A integração pode ser concluída no tempo de execução de um EIA e este método é facilmente replicado por outros profissionais. Alguém que conheça sobre os métodos e sobre SIG é capaz de realizar a metodologia deste trabalho. Esta ferramenta é, também, flexível, pois pode ser adaptada para outros tipos de empreendimento, sendo possível inserir diferentes dados cartográficos e matrizes ao mudar apenas o script de espacialização.

Este método é quantitativo e centrado na identificação, espacialização e sintetização de impactos. O papel da identificação é atribuído à matriz de Leopold, enquanto que a espacialização é realizada pela sobreposição de mapas. A sintetização é observada no resultado final, quando há visualização espacial da matriz. A compreensão e interpretação da matriz de Leopold é mais complexa quando comparado a seu formato espacializado, afinal, um desenho ou mapa é naturalmente mais entendível do que uma tabela com linhas e colunas.

Além disso, os impactos são avaliados em valores, havendo proporcionalidade entre si e com a distância do empreendimento. Uma utilização deste mapa é avaliar qual o valor de significância encontrado em um raio de 20 km do empreendimento. Ou em um raio de 50 km. É possível quantificar com mais facilidade, por exemplo, o quanto que uma determinada unidade de conservação sofreria na operação de um empreendimento qualquer.

Como já falado anteriormente, o método distribui espacialmente os impactos. Sendo assim, permite uma comparação detalhada, completa e com bom entendimento das alternativas locais do projeto. Isto já acontece com sobreposição de mapas, porém, empregando este método, é possível identificar a total significância do empreendimento e como ela se modifica com a distância.

Praticamente todo o método pode ser automatizado. O script gerado neste trabalho abrange até a etapa da espacialização, porém, também é exequível realizar um script para a interpolação. A única etapa que deve ter interferência humana é na definição das áreas de impactos diretos, já que muda para cada caso. Neste método, é criada uma grande quantidade de informação e de base de dados, o que pode ser útil ao empreendedor e ao órgão ambiental.

Como todo método de AIA, a integração da matriz de Leopold e sobreposição de mapas contém limitações e possui um grau de incerteza. Sua subjetividade varia conforme o método de atribuição de valores na matriz de Leopold. É necessário baseá-la em indicadores, não apenas na opinião especialista. Ademais, não é possível identificar impactos advindos de outros impactos e não há escala temporal - como o impacto muda com o tempo.

6 Conclusões e Recomendações

A interação entre matriz de Leopold e sobreposição de mapas na AIA foi testada neste trabalho e mostrou-se como uma forma de avaliação de impactos ambientais. Foi possível espacializar a matriz de Leopold e, ao mesmo tempo, adicionar valores quantitativos ao mapa. Notou-se não só a extensão dos impactos no espaço, o que não seria possível apenas com a matriz, como também a quantificação de valores nos mapas, o que não era realizado com sobreposição de mapas. Existe valor agregado neste método, que é permitir a visualização espacial da matriz e ponderar a significância com a distância.

Dados vetoriais e arquivos raster foram gerados por meio de um script de espacialização e a partir deles, dois métodos foram criados para permitir a visualização espacial da matriz. O primeiro método realiza a soma da significância dos arquivos raster, gerando um resultado cujos valores são constantes, porém mudam abruptamente quando atravessam a fronteira de alguma área. O segundo resultado advém da soma de interpolações de significância, valorando as áreas de impactos diretos com o valor total da significância e ponderando este valor dentro da área de impactos indiretos. No segundo mapa, não percebe-se a delimitação das áreas de influências e não há mudanças abruptas de valores. É possível verificar que existe valor agregado na espacialização: os menores valores de significância estão próximos à região do empreendimento e atingem zero quando aproximam-se das bordas das áreas de influência.

As abordagens de representação cartográfica exibem diferenças entre si. A primeira representa a matriz de Leopold espacializada respeitando seus limites. O segundo método permite avaliar a variação de significância com a distância, percebendo como esse valor se comporta no ambiente e, assim, tornando o valor de significância mais parecido com a realidade. Além disso, este método permite o entendimento rápido de como os impactos se comportam no ambiente, ajudando órgãos licenciadores e o público em geral.

Os métodos que foram testados podem ser amplamente aplicados em outros trabalhos, inclusive a partir do script disponibilizado neste texto. Além disso, é possível obter resultados diferentes ao mudar os métodos de interpolação. Sugere-se testar o método krigagem a fim de avaliar o comportamento e distribuição da significância.

Referências Bibliográficas

- BOURSCHEID. *Terminal de Uso Privativo da Braskem - Baía de Aratu/Bahia*. [S.l.], 2016. Citado 2 vezes nas páginas 23 e 26.
- BOURSCHEID et al. *Estudo de Impacto Ambiental - AHE Pai Querê*. [S.l.], 2011. Consórcio Empresarial Pai Querê. Disponível em: <licenciamento.ibama.gov.br/Hidretricas/Pai%20Quere/>. Citado 5 vezes nas páginas 32, 34, 37, 38 e 39.
- CONAMA. *Resolução do CONAMA nº 1, de 23 de janeiro de 1986. Dispõe sobre critérios básicos e diretrizes gerais para a avaliação de impacto ambiental*. [S.l.], 1986. Diário Oficial da União, 17 de fevereiro de 1986, páginas 2548 - 2549. Citado na página 21.
- CREMONEZ, F. E. et al. Avaliação de impacto ambiental: metodologias aplicadas no brasil. *REMOA/UFMS*, v. 13, p. 3821 – 3830, 2014. Citado 4 vezes nas páginas 22, 24, 26 e 27.
- ESRI. *World Imagery*. 2009. Em 01/10/2018. Disponível em: <<https://www.arcgis.com/home/item.html?id=10df2279f9684e4a9f6a7f08febac2a9>>. Citado na página 32.
- GLASSON, J.; THERIVEL, R.; CHADWICK, A. *Introduction to environmental impact assessment*. 3. ed. [S.l.]: Routledge, 2005. 448 p. Citado na página 24.
- IBAMA. *Avaliação de Impacto Ambiental: Agentes Sociais, Procedimentos e Ferramentas*. Brasília, 1995. Citado 3 vezes nas páginas 22, 23 e 26.
- KOCH, T. The map as intent: Variations on the theme of john snow. *Cartographica*, v. 39, 2004. Citado 2 vezes nas páginas 18 e 19.
- LAW, M.; COLLINS, A. *Getting to Know ArcGIS for DESKTOP*. 3. ed. [S.l.]: Esri Press, 2013. Citado 2 vezes nas páginas 18 e 19.
- LEOPOLD, L. et al. *A Procedure for Evaluating Environmental Impact*. [S.l.], 1971. Citado 6 vezes nas páginas 16, 24, 25, 27, 37 e 38.
- LORENZ, E. Predictability: Does the flap of a butterfly's wings in brazil set off a tornado in texas? 1972. Citado na página 6.
- MAVROULIDOU, M.; HUGHES, S.; HELLAWELL, E. A qualitative tool combining an interaction matrix and a gis to map vulnerability to traffic induced air pollution. *Journal of Environmental Management*, v. 70, p. 283–289, 2004. Citado 2 vezes nas páginas 27 e 28.
- MENDES, C.; CIRILO, J. *Geoprocessamento em Recursos Hídricos: Princípios, Integração e Aplicação*. 1. ed. [S.l.]: ABRH, 2001. 536 p. Citado 2 vezes nas páginas 18 e 19.

MOREIRA, I. *Avaliação de impacto ambiental*. [S.l.]: FEEMA/RJ, 1985. Citado na página 20.

ONU, O. das N. U. O futuro que queremos. *Conferência das Nações Unidas sobre Desenvolvimento Sustentável. Rio + 20.*, p. 59p, 2012. Citado na página 15.

PEREIRA, J. et al. *Fundamentos da Avaliação de Impactos Ambientais com estudo de caso*. [S.l.]: Universidade Federal de Lavras, UFLA, 2014. Citado 8 vezes nas páginas 15, 20, 21, 22, 23, 24, 26 e 27.

SANCHEZ, L. E. Os papéis da avaliação de impacto ambiental. *Avaliação de impacto ambiental: situação atual e perspectivas.*, p. 15–33, 1993. Citado na página 20.

SANCHEZ, L. E.; LIMA, A. L. B. R.; TEIXEIRA, H. R. *A Efetividade do Processo de avaliação de Impacto Ambiental no Estado de São Paulo: uma análise a partir de estudos de caso*. [S.l.]: Governo do Estado de São Paulo, Secretaria do Meio Ambiente, 1995. Citado 2 vezes nas páginas 16 e 20.

Apêndices

APÊNDICE A – Script de espacialização

```

import arcpy
import pythonaddins

class ButtonClass1(object):

    """Implementation for TCC_Python_addin.button (Button)"""

    def __init__(self):
        self.enabled = True
        self.checked = False
    def onClick(self):

        # Importa tabela Excel para ArcGIS
        arcpy.ExcelToTable_conversion(r'path\to\matriz_impacto.
            xls', r'path\to\save.dbf', 'nome')

        # Seleciona localizacoes = [1, 2, 3, 4] e separa
            impactos por area
        for i in range(1,5):

            arcpy.TableSelect_analysis('nome', r'path\to\split'
                + str(i) + '.dbf', '"Localizaca"=' + str(i))

            # Conta numero de linhas das tabelas criadas
            count=arcpy.GetCount_management('split' + str(i))

            # Copia shapes das localizacoes
            for j in range(0,int(count[0])):
                arcpy.CopyFeatures_management(['ADA_SIRGAS',
                    AID_SIRGAS', 'AII_SIRGAS', 'AAR_SIRGAS'][i-1],
                    r'path\to\copy'+str(i)+'_'+str(j), '#', '0'
                    , '0', '0')

```

```
arcpy.TableSelect_analysis('split'+str(i), r:  
    'path\to\split'+str(i)+'_'+str(j), '"OID" =  
    '+str(j))
```

```
arcpy.JoinField_management('copy'+str(i)+'_'+  
    str(j), 'Valor', 'split'+str(i)+'_'+str(j),  
    'LOCALIZACA', '#')
```

```
arcpy.PolygonToRaster_conversion('copy'+str(i)+  
    '+'_'+str(j), 'SIGNIFICAN', r'path\to\impacto'  
    '+'_'+str(i)+'_'+str(j)+'.tif', 'CELL_CENTER', '  
    NONE', '0,0001')
```

APÊNDICE B – Interpolações

Figura 25 – Arquivo raster de “Alteração do regime hidráulico do reservatório”

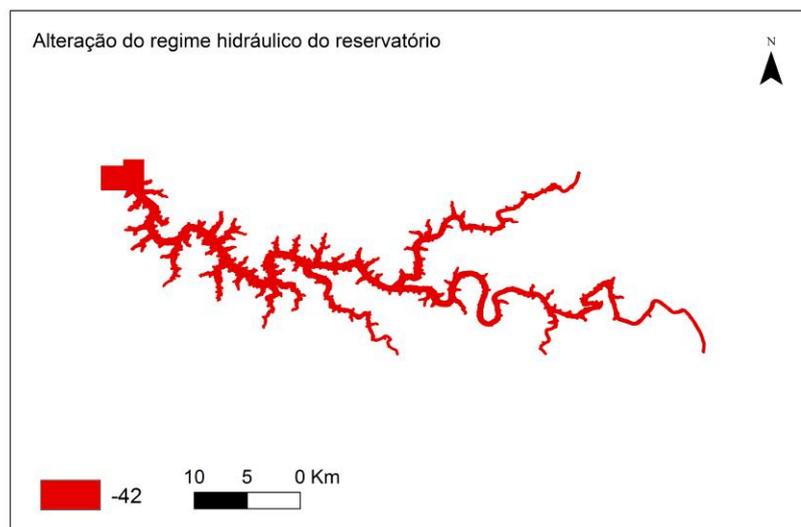


Figura 26 – Interpolação de “Alteração do regime hidráulico do reservatório”

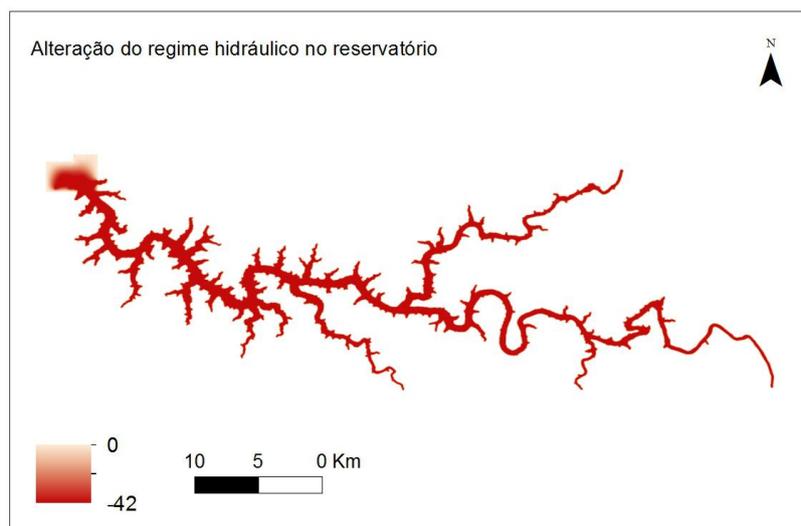


Figura 27 – Arquivo raster de “Movimento de massa nas encostas do reservatório”

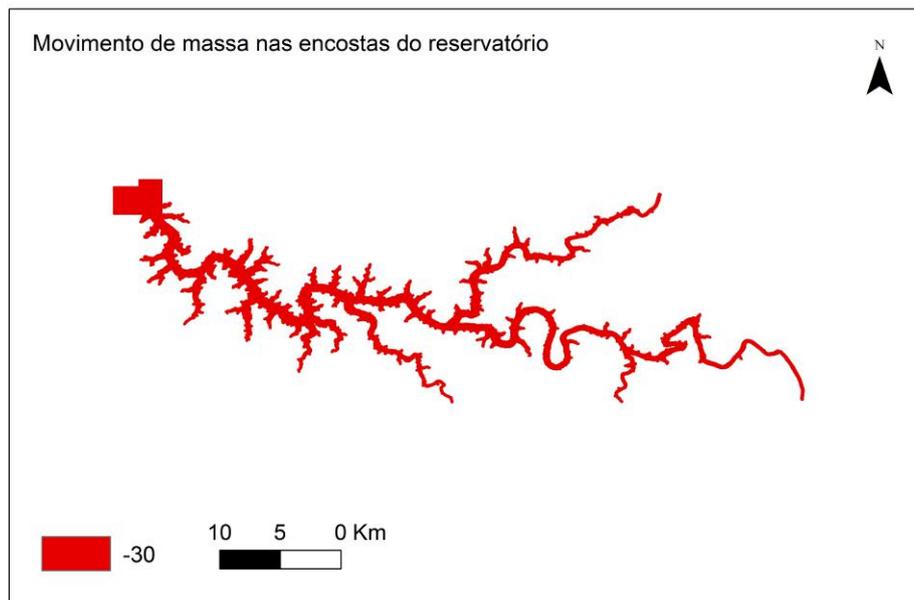


Figura 28 – Interpolação de “Movimento de massa nas encostas do reservatório”

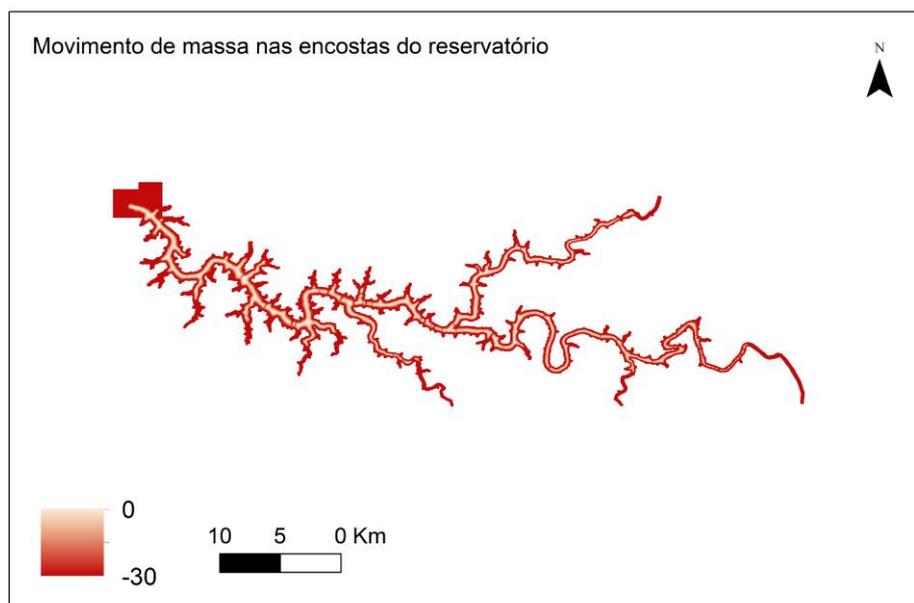


Figura 29 – Arquivo raster de “Alterações no microclima local”

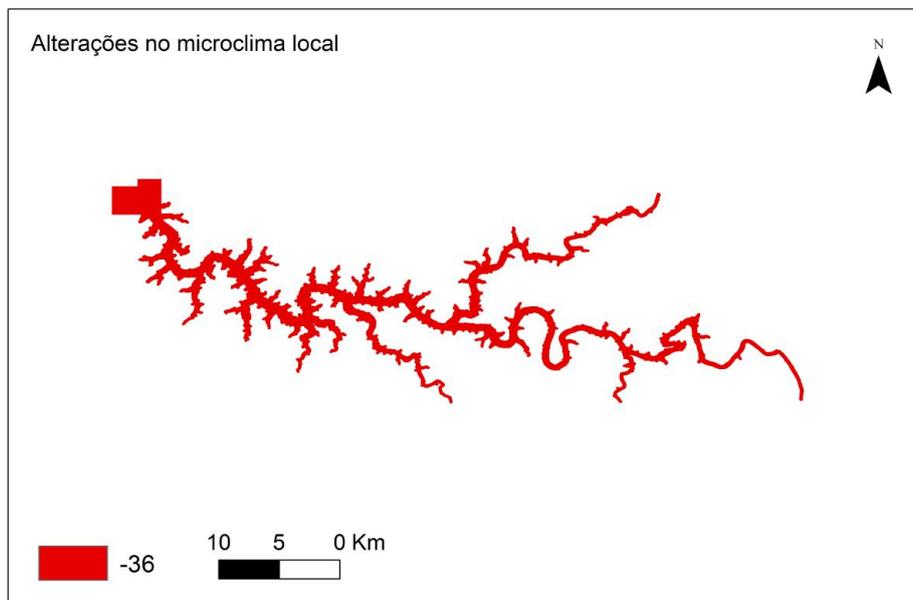


Figura 30 – Interpolação de “Alterações no microclima local”

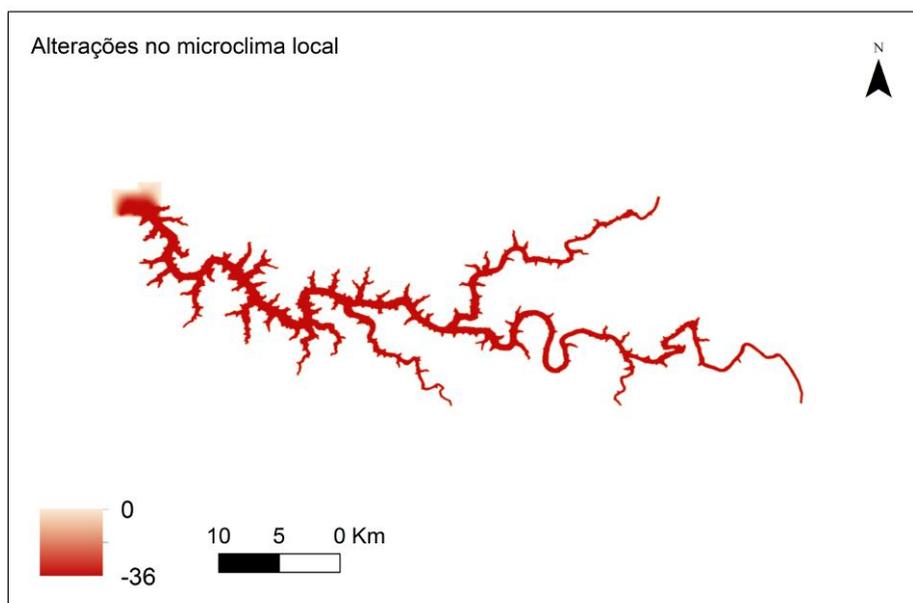


Figura 31 – Arquivo raster de “Erosão das margens do reservatório e instabilidade dos taludes”

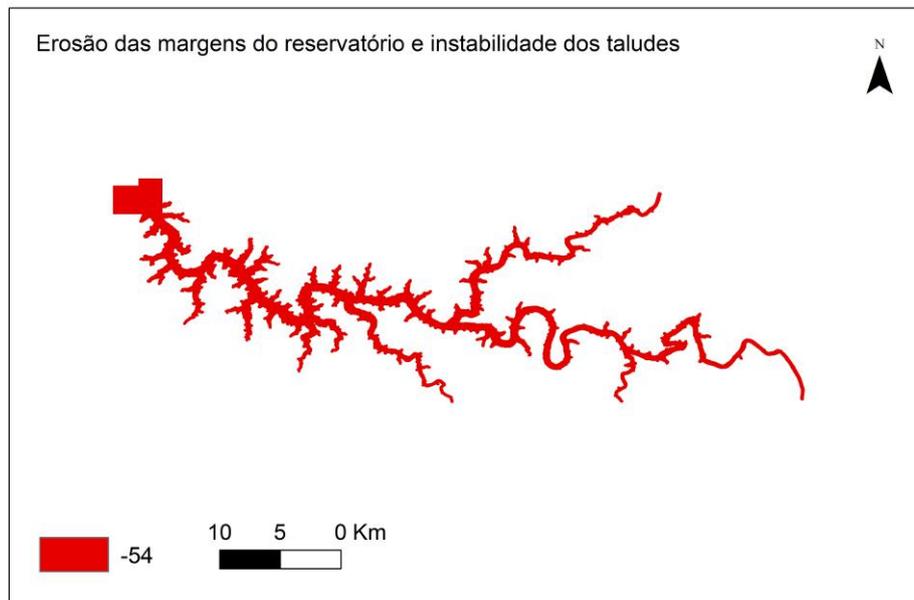


Figura 32 – Interpolação de “Erosão das margens do reservatório e instabilidade dos taludes”

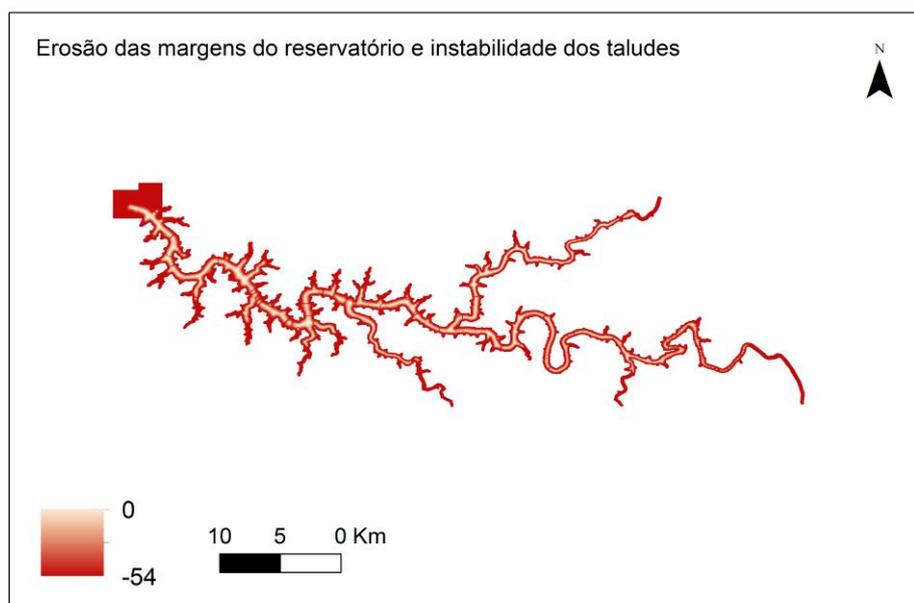


Figura 33 – Arquivo raster de “Restrições de uso no reservatório”

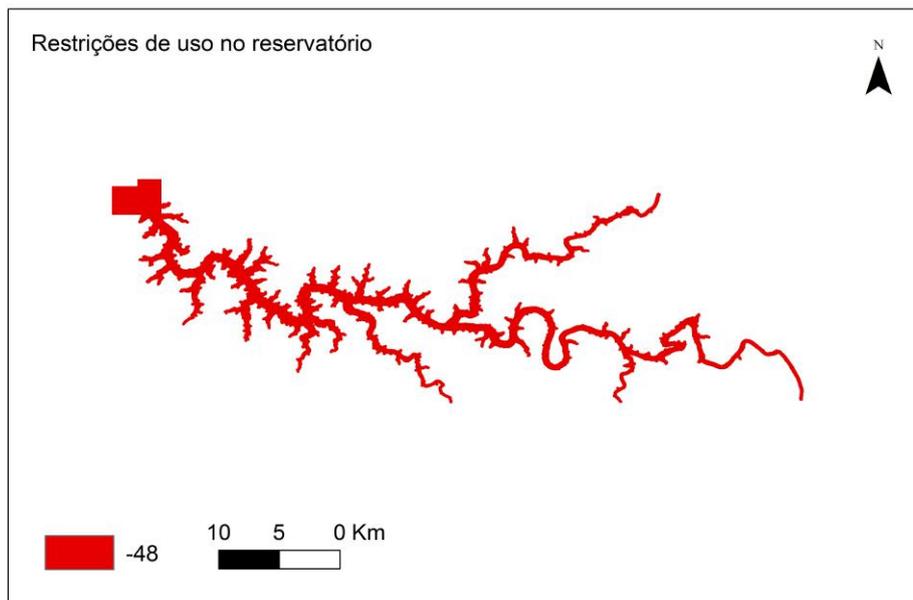


Figura 34 – Interpolação para o impacto “Restrições de uso no reservatório”

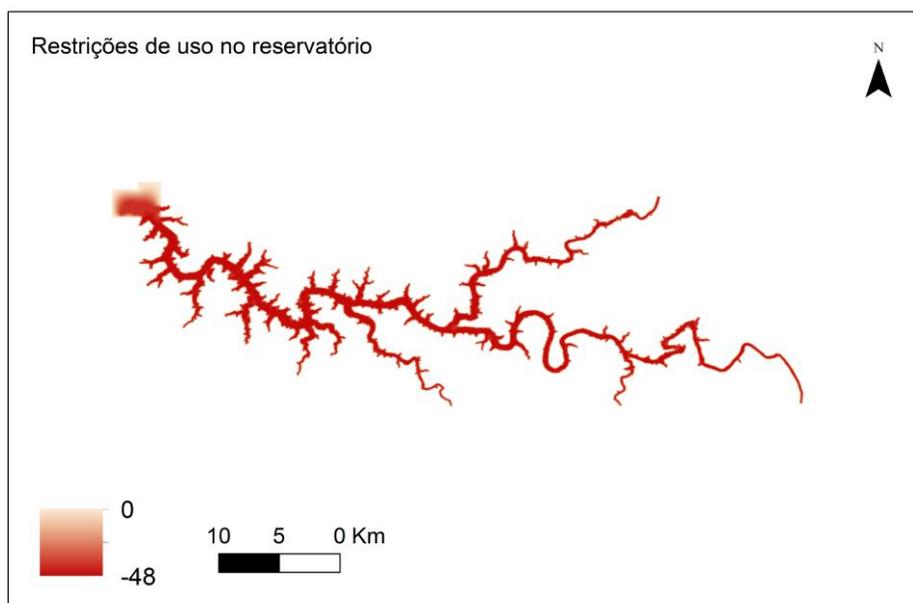


Figura 35 – Arquivo raster de “Assoreamento do reservatório”

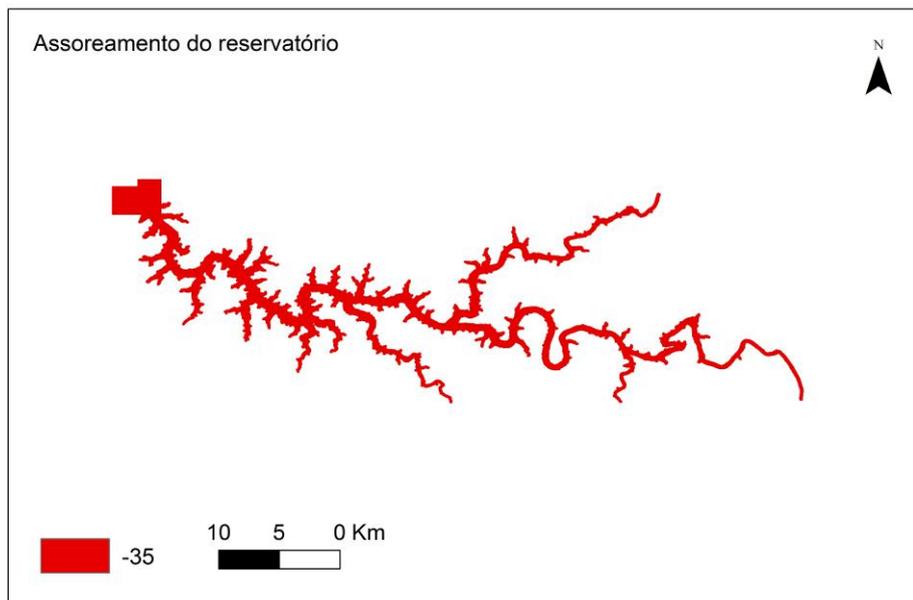


Figura 36 – Interpolação para o impacto “Assoreamento do reservatório”

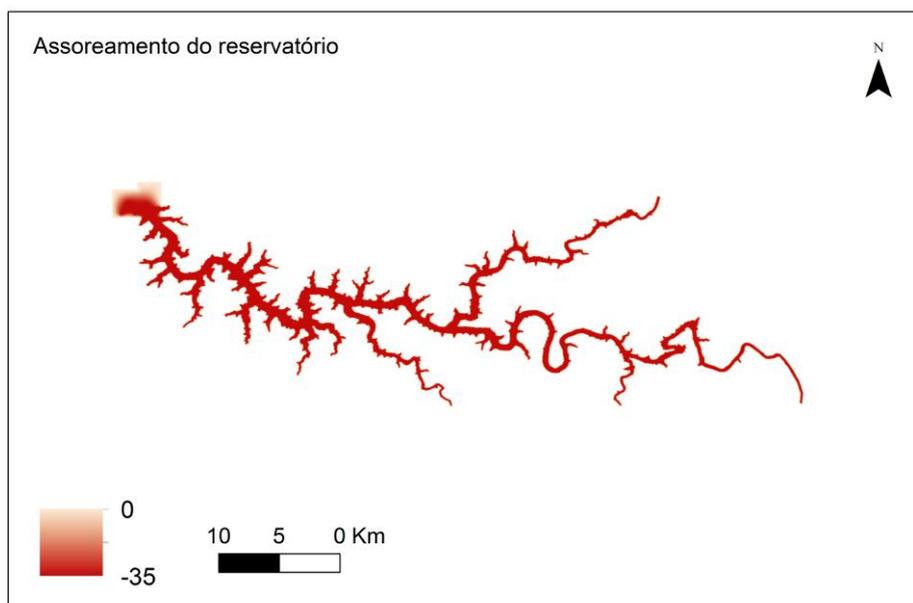


Figura 37 – Arquivo raster de “Alteração da qualidade da água no reservatório”

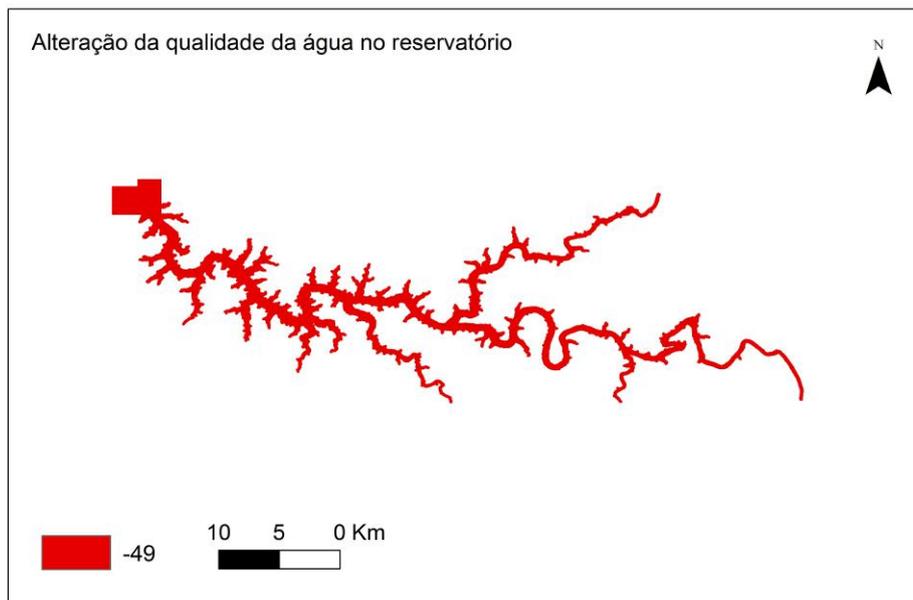


Figura 38 – Interpolação para o impacto “Alteração da qualidade da água no reservatório”

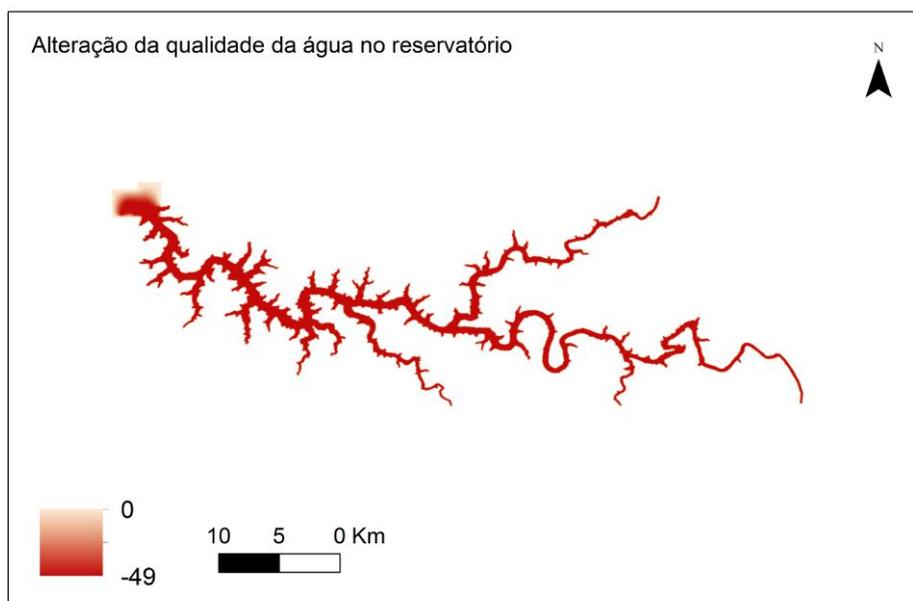


Figura 39 – Arquivo raster de “Alteração na qualidade das águas subterrâneas”

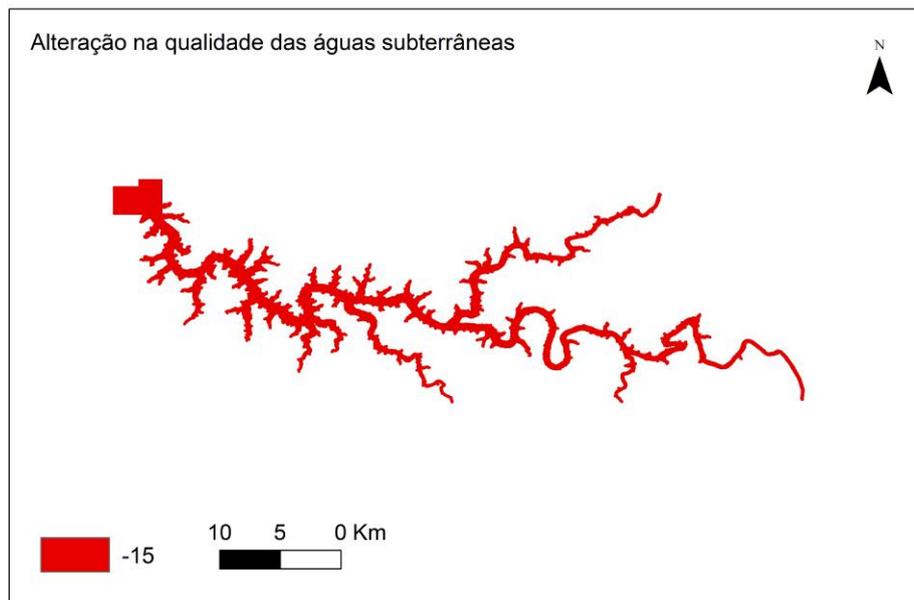


Figura 40 – Interpolação para o impacto “Alteração na qualidade das águas subterrâneas”

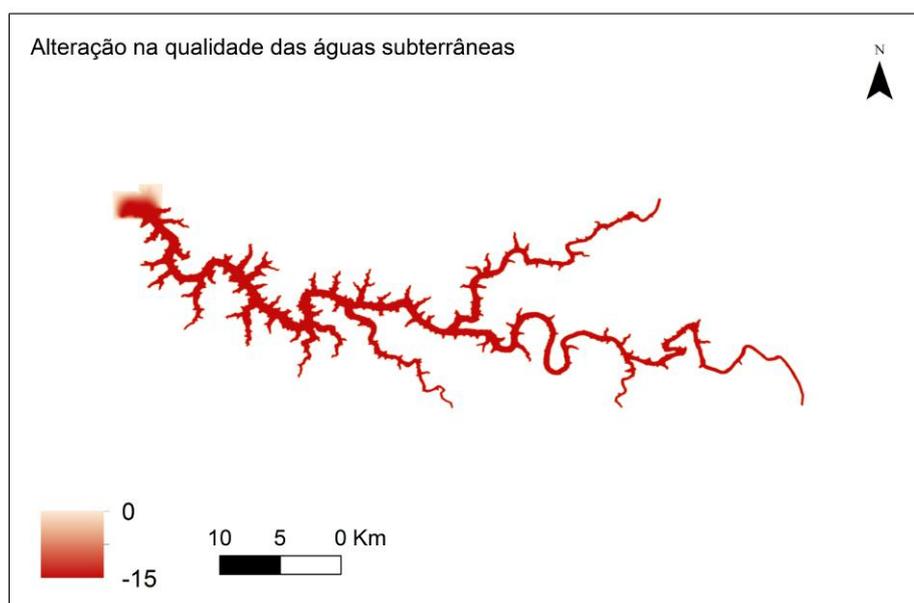


Figura 41 – Arquivo raster de “Restrições de uso a jusante”



Figura 42 – Interpolação para o impacto “Restrições de uso a jusante”

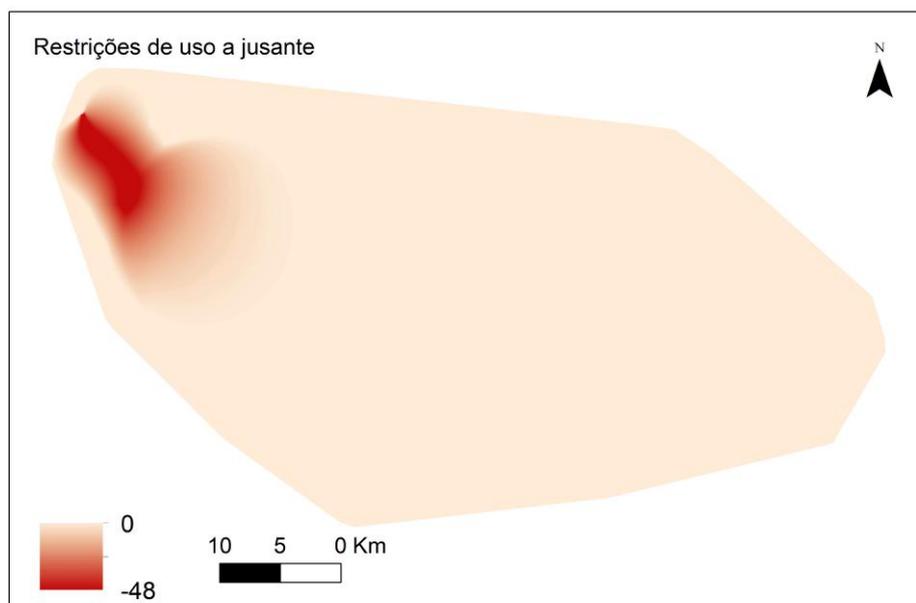


Figura 43 – Arquivo raster de “Alteração do nível do lençol freático”

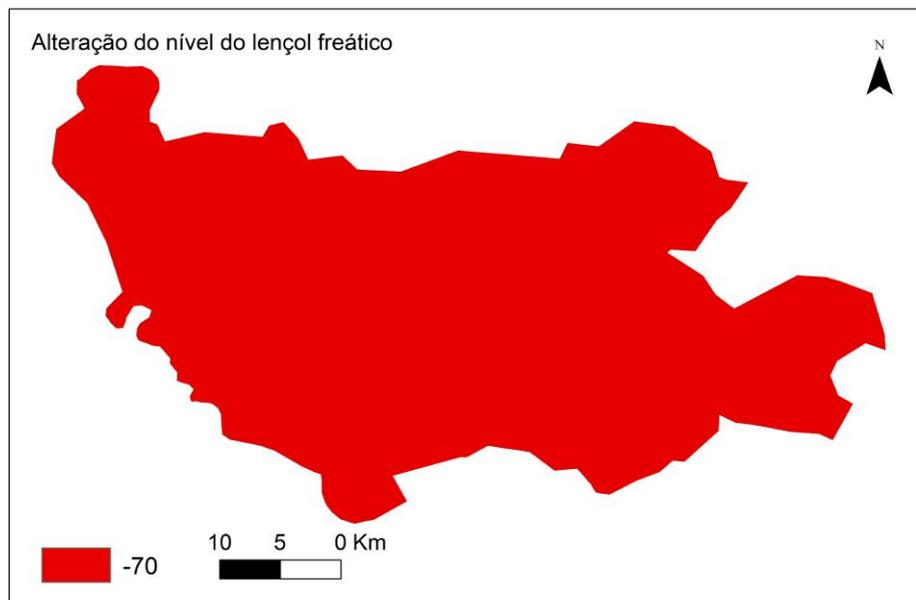


Figura 44 – Interpolação para o impacto “Alteração do nível do lençol freático”

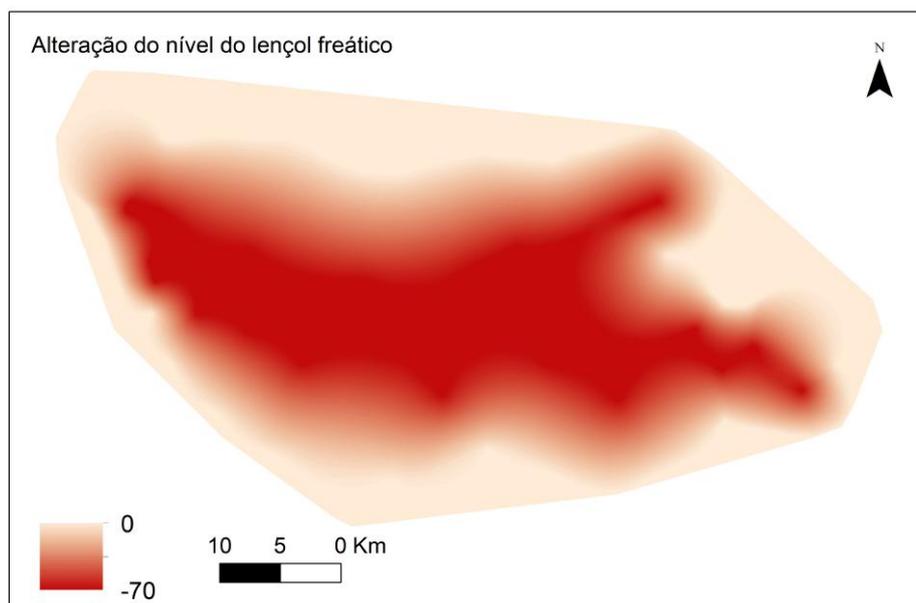


Figura 45 – Arquivo raster de “Interferências sobre áreas de recarga do aquífero”



Figura 46 – Interpolação para o impacto “Interferências sobre áreas de recarga do aquífero”

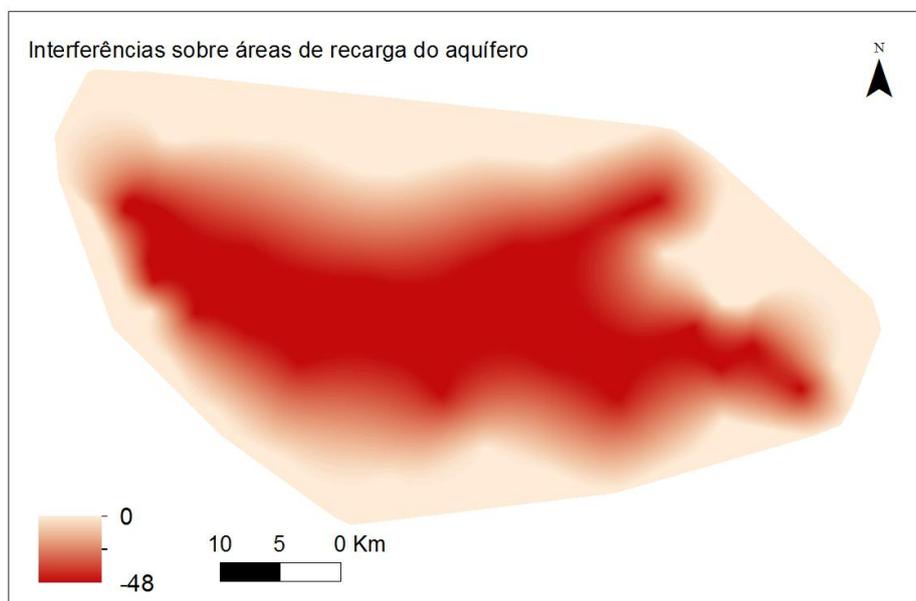


Figura 47 – Arquivo raster de “Alteração da vazão sólida a jusante”

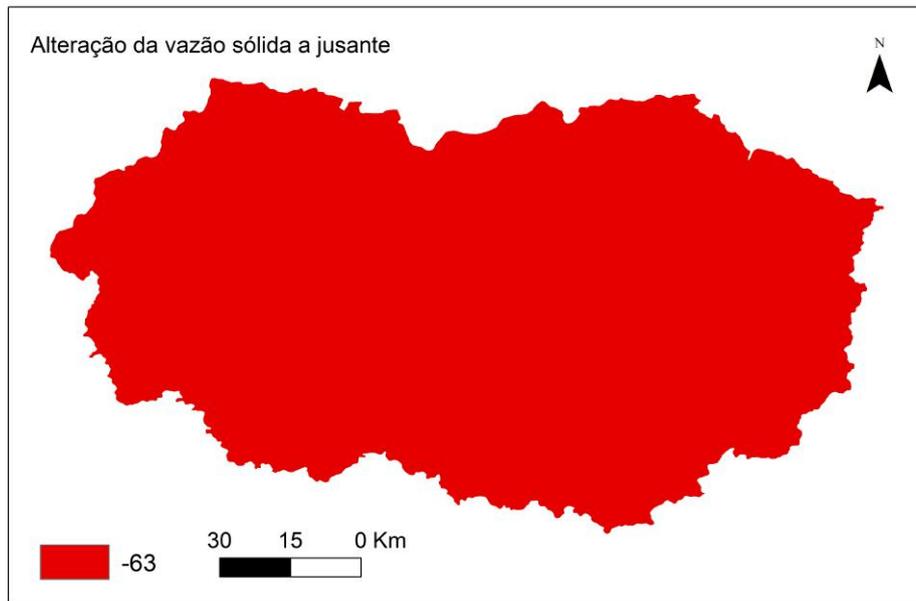


Figura 48 – Interpolação para o impacto “Alteração da vazão sólida a jusante”

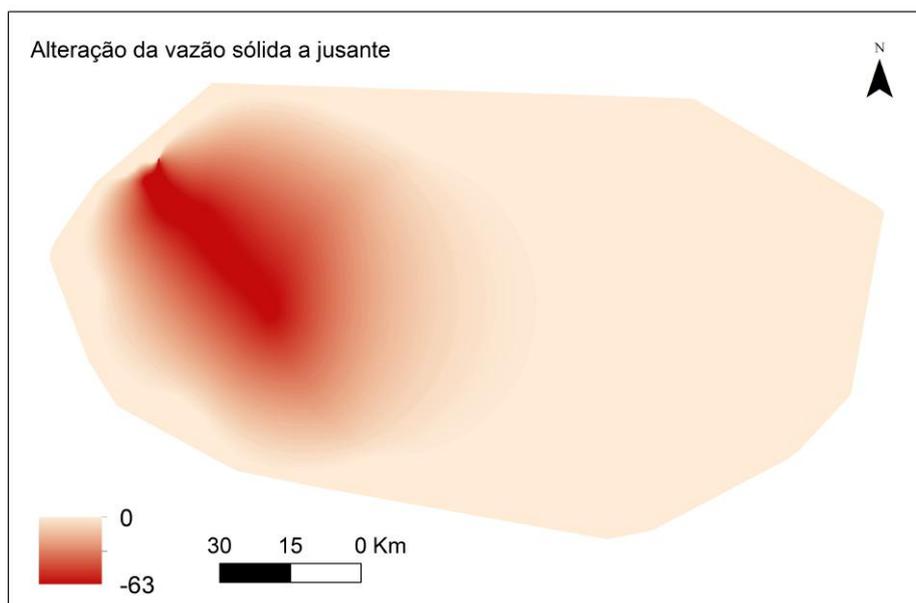


Figura 49 – Arquivo raster de “Degradação do leito e margens a jusante”

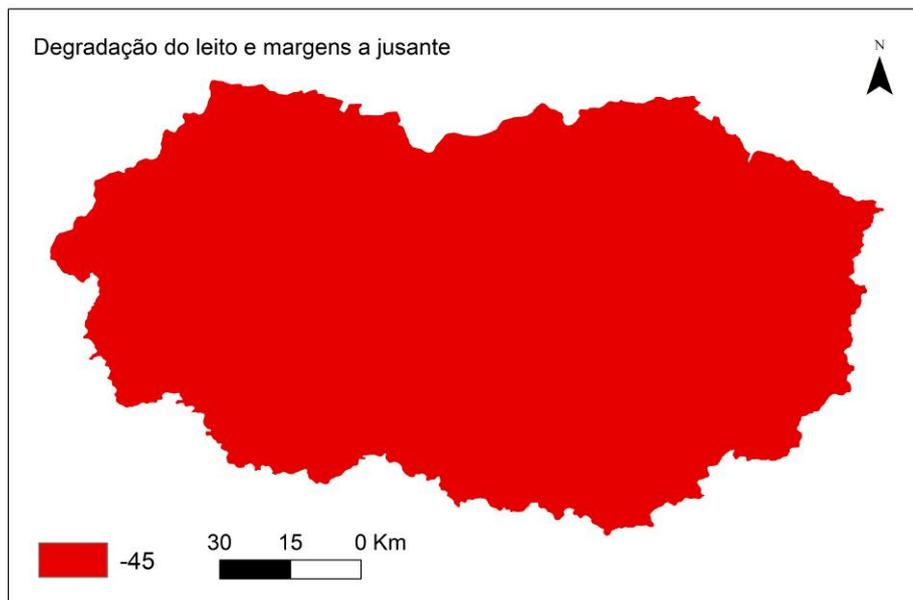


Figura 50 – Interpolação para o impacto “Degradação do leito e margens a jusante”

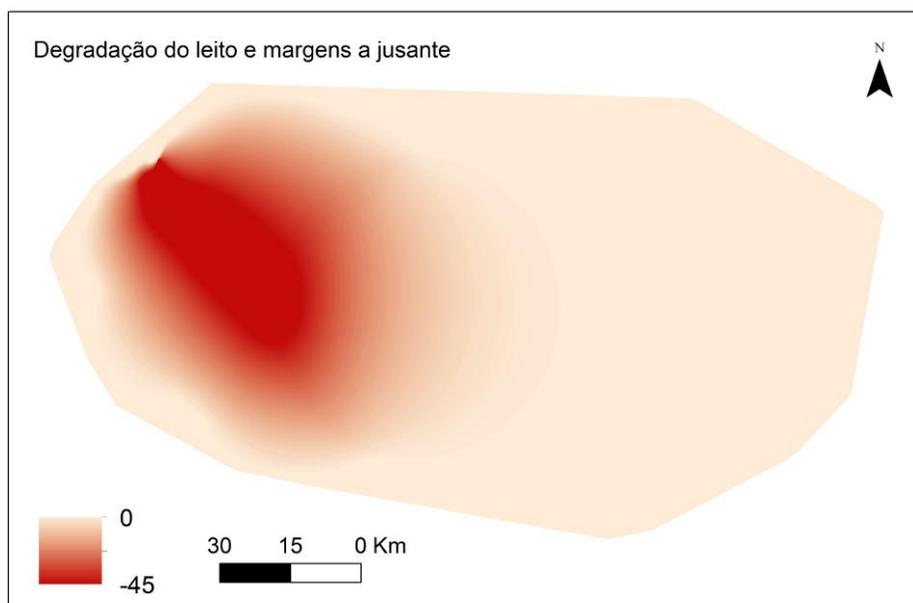


Figura 51 – Arquivo raster de “Alteração no regime hidráulico a jusante”

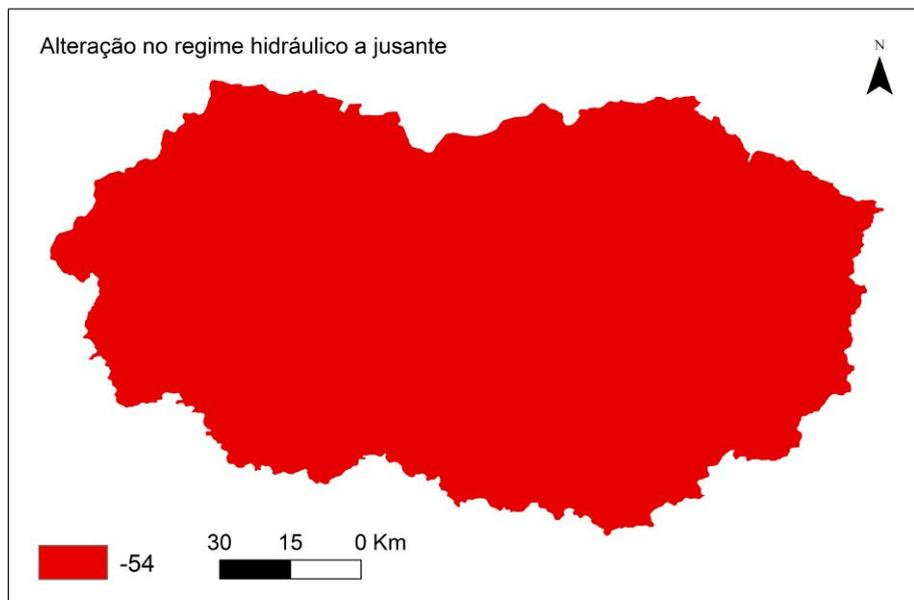


Figura 52 – Interpolação para o impacto “Alteração no regime hidráulico a jusante”

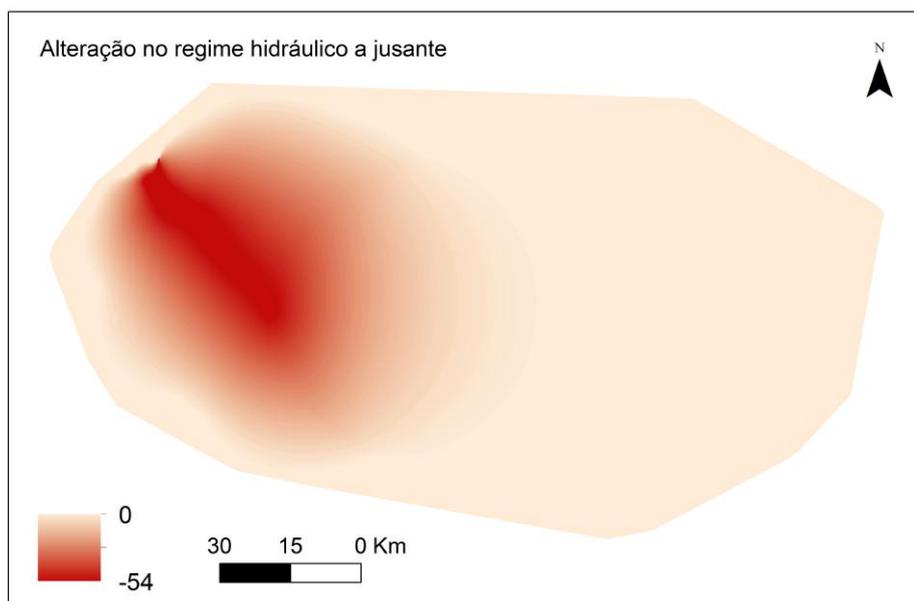


Figura 53 – Arquivo raster de “Alteração da qualidade da água a jusante”

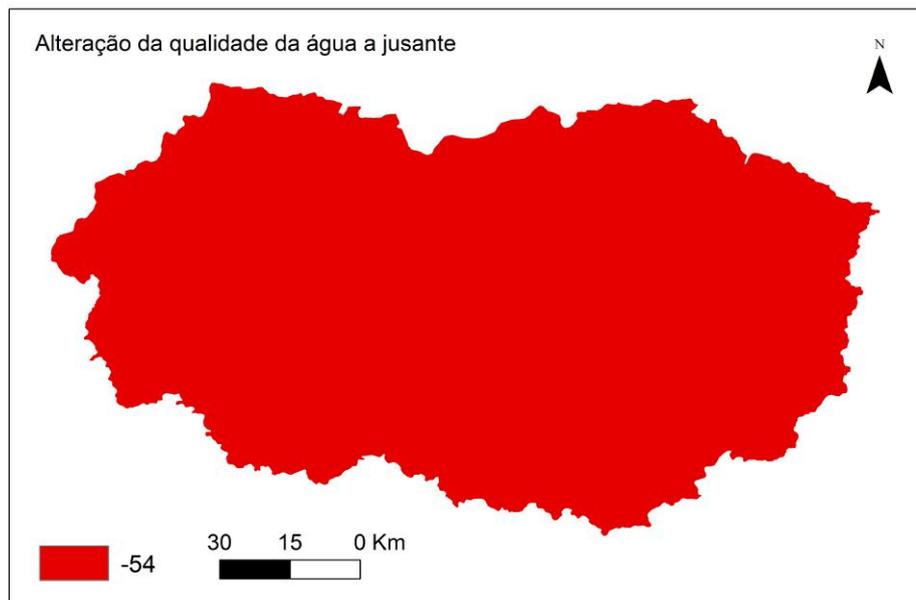


Figura 54 – Interpolação para o impacto “Alteração da qualidade da água a jusante”

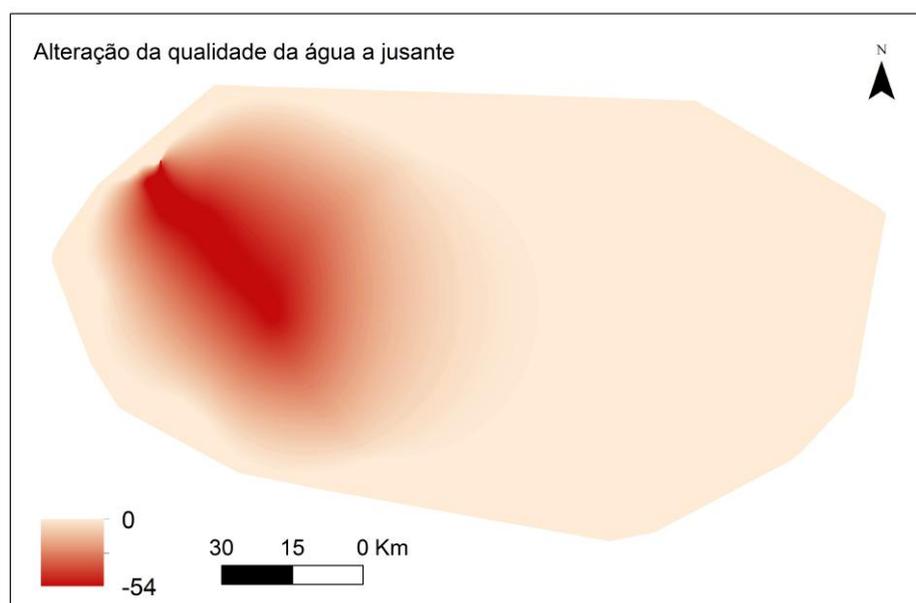


Figura 55 – Arquivo raster de “Formação de sismos induzidos”

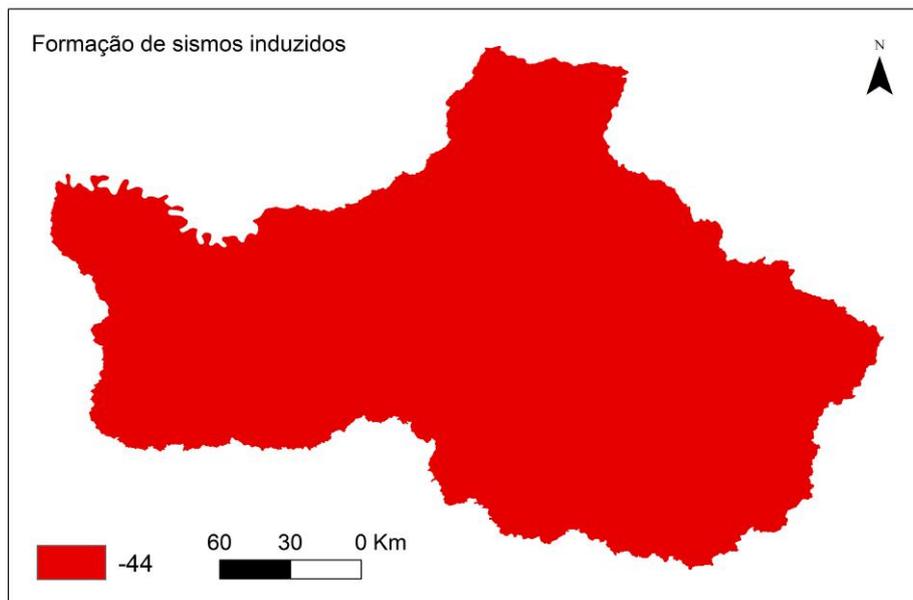


Figura 56 – Interpolação para o impacto “Formação de sismos induzidos”

