

ZONEAMENTO AMBIENTAL APLICADO À ATIVIDADE DE MINERAÇÃO DE AREIA NO RIO JACUÍ/RS

Rafael Midugno – rafael-midugno@fepam.rs.gov.br

Fundação de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler – FEPAM/RS, Dpto de Qualidade Ambiental
Av. Borges de Medeiros, 261/908
CEP 90020-021 – Porto Alegre – RS

Clebes Brum Pinheiro – clebes-pinheiro@fepam.rs.gov.br

FEPAM/RS, Departamento de Qualidade Ambiental

Luciana Anele – luciana-anele@fepam.rs.gov.br

FEPAM/RS, Departamento de Qualidade Ambiental

Rafael Fernandes e Silva – rafael-silva@fepam.rs.gov.br

FEPAM/RS, Departamento de Qualidade Ambiental

Claudia Bos Wolff – claudia-wolff@fepam.rs.gov.br

FEPAM/RS, Departamento de Qualidade Ambiental

Resumo: O presente trabalho versa sobre a realização de Zoneamento Ambiental, dirigido à atividade de mineração de areia no rio Jacuí, mais especificamente nos cursos médio e baixo deste recurso hídrico. O instrumento de Gestão Ambiental elaborado visa subsidiar tarefas atinentes ao Controle Ambiental por parte do Órgão Ambiental Estadual, que passa a contar com diretrizes técnicas, a serem observadas durante o processo de Licenciamento Ambiental. A metodologia aplicada ao Zoneamento Ambiental é centrada na análise integrada e multidisciplinar de dados primários e secundários, relativos aos meios físico, biótico e socioeconômico, em ambiente SIG e com apoio de rotina computacional para análise de “hotspots” e de Processo Analítico Hierárquico (AHP). O resultado é o mapeamento de zonas de diferentes classes de sensibilidade ambiental, bem como identificação de áreas de proteção e áreas impróprias para a execução da atividade de mineração em leito de recurso hídrico, associadas a medidas de proteção aos ambientes e múltiplos usos existentes em suas margens. Trata-se de estudo pioneiro do ponto de vista científico, pois a metodologia foi testada em área de formato singular, cujas dimensões são 270:1 km, e seus resultados foram validados através da análise comparativa com dados de mapeamento constantes nos diagnósticos de cada meio.

Palavras-chave: Rio Jacuí, Mineração, Areia, Zoneamento ambiental, Diretrizes ambientais.

ENVIRONMENTAL ZONING APPLIED TO SAND MINING ACTIVITIES IN THE JACUÍ RIVER, SOUTHERN BRAZIL

Abstract: This paper deals with the implementation of an Environmental Zoning for sand mining activities in the Jacuí River, more specifically in their middle and lower courses. The Environmental Management instrument developed aims to support tasks related to Environmental Control by the Environmental Agency of the State of Rio Grande do Sul, Southern Brazil, which now has technical guidelines to be observed during the Environmental Licensing process. The methodology applied to Environmental Zoning is centered on integrated and multidisciplinary analysis of primary and secondary data, related to the physical, biotic and socioeconomic environments, in a GIS environment

Realização

 ABES-RS

 PUCRS

 UFRGS
UNIVERSIDADE FEDERAL
DO RIO GRANDE DO SUL



abes-rs@abes-rs.org.br

(51) 999330700

www.abes-rs.org.br



and with the support of a computational routine for the analysis of hotspots and the Analytic Hierarchy Process (AHP). The result is the mapping of zones of different classes of environmental sensitivity, as well as the identification of protection areas and areas unsuitable for the execution of mining activities on the streambed, associated with measures to protect the environments and multiple uses existing on the river banks. This is a pioneering study from a scientific point of view, as the methodology was tested in a uniquely shaped area, whose dimensions are 270:1 km, and its results were validated through comparative analysis with mapping data contained in the diagnoses of each environment..

Keywords: Jacuí river, Mining, Sand, Environmental zoning, Environmental guidelines

1. INTRODUÇÃO

Zoneamento é ferramenta de planejamento surgida na Europa Ocidental durante o século XIX. Um dos pioneiros a tratar com planejamento urbano foi o engenheiro alemão Reinhard Baumeister, que desenvolveu sistema de separação do uso do solo similar aos zoneamentos atuais. Contemporâneo de Baumeister, o arquiteto austríaco Camillo Sitte produziu trabalhos que inspiraram zoneamentos realizados nos Estados Unidos da América e na Grã-Bretanha nos anos seguintes (HECKMANN-UMHAU, 2023).

No Brasil, Zoneamento Ambiental é instrumento de Gestão Ambiental Territorial, instituído pela Lei nº 6.938/1981 (BRASIL, 1981), também chamada de Política Nacional do Meio Ambiente (PNMA), tendo como finalidades principais o planejamento do uso e ocupação do território e regulação de atividades econômicas, especialmente as que envolvem exploração de recursos naturais, buscando compatibilizá-las e dirimir eventuais conflitos. Trata-se de ferramenta de planejamento integrado, auxiliando no ordenamento do uso racional dos recursos e na manutenção da biodiversidade, de processos naturais e de serviços ambientais ecossistêmicos (LOPES, 2015). Um dos primeiros zoneamentos ambientais direcionados à regulação da atividade de mineração foi realizado em trecho da bacia hidrográfica do rio Paraíba do Sul, município de Tremembé/SP (SMA/SP, 1999).

No Rio Grande do Sul, o primeiro zoneamento minerário é este, realizado nos cursos médio e inferior do rio Jacuí (ZAMJ), o principal curso de água da Região Hidrográfica do Guaíba. Decorrente de Ação Civil Pública de 2006, na qual é apontado que danos em margens de ilhas, situadas no Baixo Jacuí, teriam relação direta com a atividade minerária, a Justiça Federal determinou em 2013 a suspensão das atividades de mineração no rio Jacuí. Esta suspensão foi posteriormente levantada em virtude da adoção de medidas de controle mais rígidas por parte do órgão ambiental estadual, em conjunto com a determinação que o Estado do Rio Grande do Sul realizasse o zoneamento ambiental da atividade (TRF4, 2021). A Fundação de Proteção Ambiental do Rio Grande do Sul (FEPAM), órgão vinculado à Secretaria de Meio Ambiente, foi, desta forma, designada para conduzir os trabalhos. O Estado optou por contratar empresa de consultoria para executar diagnósticos e elaborar, sob acompanhamento da Fundação, o zoneamento ambiental. O trabalho técnico foi apresentado em 2022, disponibilizado para Consulta Pública no final do mesmo ano e finalizado em 2023 (FEPAM, 2023).

2. ÁREA DE ESTUDO

Os cursos médio e baixo do rio Jacuí banham os municípios de Cachoeira do Sul, Rio Pardo, Pantano Grande, Minas do Leão, Vale Verde, Butiá, General Câmara, São Jerônimo, Triunfo, Charqueadas e Eldorado do Sul, dentro dos limites listados a seguir:

- Longitudinal: entre a barra do rio Vacacaí (lat -29,930961°; long -53,081593°) e a foz do rio Jacuí (lat -29,949127°; long -51,307772°); dividido em 3 (três) subtrechos:

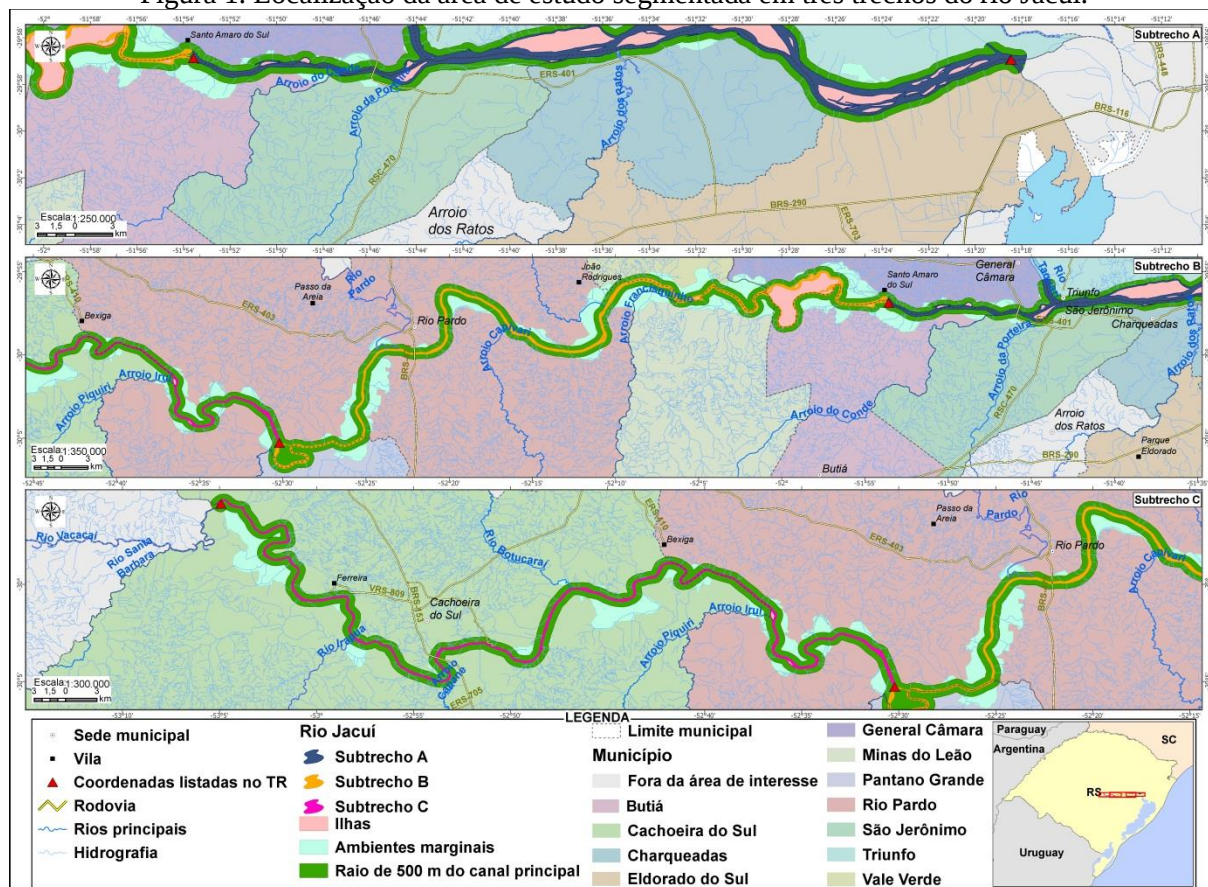
- Subtrecho A: da foz do rio Jacuí (lat -29,949127°; long -51,307772°) até a eclusa de Amarópolis (lat -29,9477948°; long -51,8928938°);



- Subtrecho B: da eclusa de Amarópolis (lat -29,9477948°; long -51,8928938°) até a eclusa do anel de Dom Marco (lat -30,0931760°; long. -52,5038530°);
- Subtrecho C: da eclusa do anel de Dom Marco (lat -30,0931760°; long -52,5038530°) até a barra do rio Vacacaí (lat -29,930961°; long. -53,081593°).
- Transversal: Faixa de 500 m para cada lado do canal principal do rio Jacuí, bem como os ambientes marginais (lagoas, meandros abandonados, áreas úmidas e mosaicos de florestas. Na área de estudo estão incluídas as APPs do canal principal, de acordo com a Lei nº 12.651/2012 (BRASIL, 2012), conhecida como Novo Código Florestal Brasileiro, e de canais secundários (p. ex. trecho a montante da eclusa de Amarópolis).

Considerando esses limites, é possível delimitar a área de estudo, propriamente dita, à calha atual e às margens do rio Jacuí, conforme mostra a Figura 1, abaixo:

Figura 1. Localização da área de estudo segmentada em três trechos do rio Jacuí.



Fonte: FEPAM, 2023.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

O Zoneamento Ambiental da Mineração no Jacuí (ZAMJ) foi executado de acordo com arcabouço teórico-metodológico elaborado pela FEPAM. Baseia-se na utilização de dados secundários, levantamentos de dados primários, análise multicritério e processamento de dados em ambiente SIG.

No que diz respeito aos dados secundários do meio físico, foram utilizados estudos climatológicos, geológicos, hidrogeológicos, geomorfológicos, pedológicos, hidrográficos, hidroquímicos e hidrossedimentológicos.



Para o meio biótico, dados relativos à fauna e flora, aquática e terrestre, bem como ecossistemas foram processados.

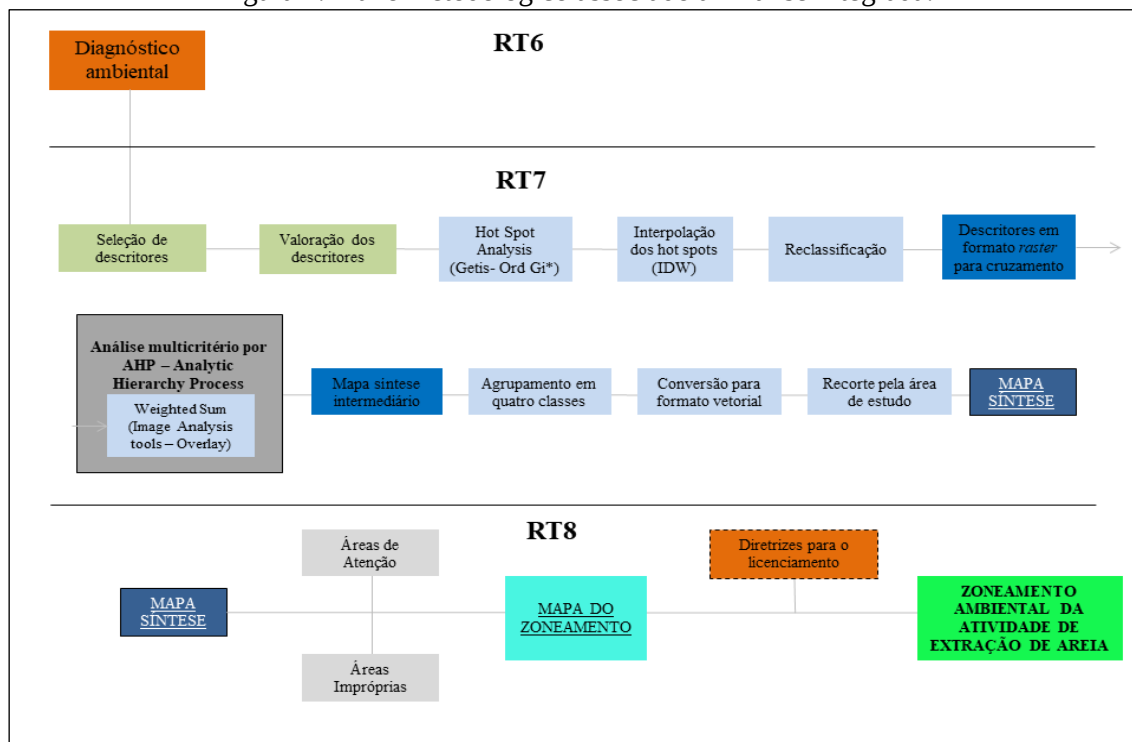
No que tange ao meio socioeconômico, foram considerados dados de uso do solo e da água, indicadores socioeconômicos, de saúde e saneamento, de padrões culturais e antropológicos, infraestrutura hídrica e de lazer, atividades econômicas, tais como pesca e mineração.

Os dados primários de meios físico e biótico foram obtidos com base em vinte e cinco sessões de referência, transversais ao rio Jacuí, bem como ambientes marginais associados. Os levantamentos executados incluem topografia da planície de inundação, sonografia do leito do rio, geofísica por método sísmico, hidrometria (*i.e.* descargas líquida e sólida), sondagens geotécnicas do tipo SPT, coletas de amostras de sedimentos em suspensão e de fundo, água bruta, macroinvertebrados bentônicos, plantônicos (fito e zoo) e de perifíton (algas epifíticas e epipélicas), ictiofauna e fauna terrestre (anfíbios, répteis, aves e mamíferos).

Quanto aos levantamentos de dados primários do meio socioeconômico, foram realizadas inspeções de campo, vistorias, aplicação de entrevistas e pesquisas junto a instituições sociais e atores envolvidos com a atividade de mineração.

A síntese do ZAMJ consta na Figura 2, a seguir:

Figura 2. Fluxo metodológico associado à Análise Integrada.



Fonte: FEPAM, 2023.

Fazem parte da metodologia uma série de processamento de dados em ambiente SIG: (i) utilização do modelo computacional hidrossedimentométrico HEC-RAS, sigla de Hydrologic Engineering Center; River Analysis System (USACE, 2016), análise comparativa entre dois cenários, decorrentes de variações topobatimétricas e de geometria do leito; (ii) elaboração de mapas temáticos por meio da análise de *hotspots* (*i.e.* pontos com grande concentração de registros) com interpolador de ‘ponderação do inverso das distâncias’ (do inglês IDW) e análise estatística, realizada através da ferramenta Getis-Ord G_i^* (GETIS & ORD, 1992), rotina que se propõe a identificar relações de dependência entre dados não exibida na análise de *hotspot* convencional e que faz parte dos recursos do programa computacional ArcGis Pro; e (iii) análise multicritério via ‘Processo de Análise Hierárquica’.



(do inglês AHP) e geração de matriz de apoio à decisão (SAATY, 1977) com emprego da ferramenta ‘Soma com Pesos’ (do inglês, *weighted sum*) do ArcGis Pro, para elaboração de mapa síntese, considerando descritores utilizados na análise multicritério.

A etapa final da metodologia de elaboração do ZAMJ consiste na definição de diretrizes gerais e de diretrizes específicas para cada uma das cinco classes de sensibilidade ambiental (muito baixa, baixa, média, alta e impróprias) e para as áreas de atenção e restrição temporárias.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O diagnóstico da área de estudo permitiu o reconhecimento de condicionantes importantes para a realização ambientalmente adequada da atividade minerária.

Ao longo do leito do rio Jacuí, de suas margens e sua faixa transversal, ocorrem rochas vulcânicas (graníticas), hipabissais (diques de diabásio) e sedimentares (argilitos, siltitos, arenitos e conglomerados) de origens eólica e fluvioacustre, além de depósitos sedimentares inconsolidados na calha atual do rio Jacuí e sua planície de inundação. A presença de sistema de falhas, que seccionam o curso do rio Jacuí, provoca a formação de desníveis naturais no seu leito e que a estes se associaram barragens para auxiliar a navegação.

A área de estudo, abrangendo os cursos médio e inferior do rio Jacuí, foi definida considerando a curva hipsométrica, na qual se associa o relevo ao percentual acumulado da área referente a cada cota. Observou-se elevação mínima de 1 m, elevação máxima de 1.293 m e elevação média de 633 m acima do nível do mar.

O monitoramento das seções PTS-S1 a PTS-S25 foi dividido entre duas campanhas de campo realizadas nos meses de outubro e dezembro de 2019. No mês de outubro foram feitas as seções PTS-S1 a PTS-S10 e no mês de dezembro as seções PTS-S11 a PTS-S25. A síntese do resultado para as seções monitoradas, considerando as informações das duas campanhas para medição de vazão, nível, concentração de sólidos em suspensão (CSS) e arraste (CSA), bem como as cargas de sólidos, pode ser acompanhada na Tabela 1.

Tabela 1. Resultados do monitoramento de vazão, concentração de sedimentos em suspensão e sedimentos em arraste em duas campanhas de monitoramento e 25 seções de referência.

Perfil	Camp.	Data	Nível	CSS	Q	Qss	Qsa	Qst
PTS-S1	1	28/02/19	1,06		709,81			
	2	31/10/19	3,12	61,7	4.854,64	25.879,50	1,33	25.880,83
PTS-S2	1	28/02/19	1,12		251,80 (MD)			
		28/02/19	1,13		553,67 (ME)			
		28/02/19	1,12		805,47			
	2	27/10/19	2,94	54,5	2.231,06	10.505,60	1,89	10.507,49
PTS-S3	1	28/02/19	1,14		1039,70			
	2	27/10/19	2,90	47,4	2.373,10	9.718,70	2,41	9.721,11
PTS-S4	1	28/02/19	1,18		541,99 (MD)			
		28/02/19	1,18		473,65 (ME)			
		28/02/19	1,18		1.015,64			
	2	28/10/19	2,78	63,2	2.604,41	14.221,32	0,15	14.221,47
PTS-S5	1	08/03/19	0,92		254,22 (MD)			
		08/03/19	0,90		505,07 (ME)			
		08/03/19	0,91		759,29			
	2	28/10/19	2,68	52,9	2.927,22	13.379,05	4,22	13.383,27
PTS-S6	1	08/03/19	0,93		985,05			
	2	29/10/19	2,78	50,9	2.790,43	12.271,65	0,01	12.271,66
	1	01/03/19	1,18		520,74			



Perfil	Camp.	Data	Nível	CSS	Q	Qss	Qsa	Qst
PTS-S7	2	29/10/19	2,78	44,9	2.759,44	10.704,86	0,01	10.704,87
PTS-S8	1	01/03/19	1,20		440,78			
	2	29/10/19	2,92	41,2	1.189,63	4.234,70	0,32	4.235,02
PTS-S9	1	01/03/19	1,39		526,00			
	2	30/10/19	3,06	60,9	1.818,48	9.568,41	0,01	9.568,42
PTS-S10	1	01/03/19	1,64					
	2	30/10/19	3,06	62	1.892,40	10.137,21	0	10.137,21
PTS-S11	1	22/01/19	5,55		2.286,80			
	2	04/12/19	1,54	29,4	554,73	1.409,10	0,04	1.409,14
PTS-S12	1	23/01/19	7,13		676,87 (RV)			
		23/01/19	7,01		1.656,20 (RN)			
		23/01/19	7,07		2.333,07			
	2	05/12/19	3,62	18,6	607,26	975,89	0,42	976,31
PTS-S13	1	23/01/19	7,80		2.551,66			
	2	05/12/19	4,65	29,7	542,62	1.392,41	0,75	1.393,16
PTS-S14	1	05/02/19	5,19		1.192,94			
	2	05/12/19	5,65	17,4	563,05	846,47	0,12	846,59
PTS-S15	1	05/02/19	5,54		1.263,30			
	2	05/12/19	6,65	18,3	545,36	862,28	0,52	862,80
PTS-S16	1	05/02/19	5,95		1.608,40			
	2	06/12/19	6,73	21,2	561,30	1.028,12	0,07	1.028,19
PTS-S17	1	21/01/19	11,07		2.988,30			
	2	06/12/19	6,73	17,8	617,94	950,34	0,52	950,86
PTS-S18	1	21/01/19	11,97		2.685,50			
	2	06/12/19	6,69	19	566,74	930,36	0,32	930,68
PTS-S19	1	21/01/19	13,88		2.777,60			
	2	07/12/19	8,58	24	502,23	1.041,42	0,04	1.041,46
PTS-S20	1	05/02/19	13,74		2.634,80			
	2	07/12/19	10,08	17,1	486,56	718,86	0,10	718,96
PTS-S20	1	05/02/19	13,74		2.634,80			
	2	07/12/19	10,08	17,1	486,56	718,86	0,10	718,96
PTS-S21	1	04/02/19	14,40		1.416,30			
	2	07/12/19	10,00	10,8	469,58	438,17	0,13	438,30
PTS-S22	1	03/02/19	15,35		1.085,00			
	2	07/12/19	13,00	21,9	440,05	832,65	0	832,65
PTS-S23	1	02/02/19	15,86		602,21			
	2	08/12/19	14,98	19,4	433,27	726,23	0,15	726,38
PTS-S24	1	01/02/19	17,76		1.325,20			
	2	08/12/19	18,40	27,9	436,84	1.053,03	0,30	1.053,33
PTS-S25	1	01/02/19	17,92		1.348,20			
	2	08/12/19	19,40	28,6	418,27	1.033,56	0,19	1.033,75

Legenda: CSS (mg/L) = concentração de sedimentos em suspensão; Q (m³/s) = Vazão líquida; Qss (t/d) = Descarga sólida em suspensão; Qsa (t/d) = Descarga sólida em arraste; Qst (t/d) = Descarga sólida total; MD = Margem direita; ME = Margem Esquerda. Fonte: FEPAM, 2023.

Observa-se maiores valores de transporte de sedimentos nas seções PTS-S1 a PTS-S10. Por sua vez, as seções PTS-S11 a PTS-S25 apresentaram valores reduzidos em relação às 10 primeiras



seções, fato esse explicado pelo monitoramento dessas seções terem ocorrido em condições estáveis do manancial, além de estarem localizadas a montante dos pontos monitorados inicialmente, o que implica em uma menor área de captação natural. Ressalta-se que os valores encontrados estão condizentes com a literatura em geral, que informa que a maior parte da quantidade de sedimentos é transportada durante eventos de cheia. A Figura 3 apresenta as vazões medidas nas duas campanhas e as vazões médias. De acordo com a classificação granulométrica dos sedimentos, predominam areia e cascalho e, subordinadamente, mistura de areia e lama, nas vinte e cinco seções de referência.

No que tange às taxas de transporte de sedimentos, os resultados são apresentados considerando as 25 seções de referência e para os dois cenários simulados, conforme Tabela 2, a seguir:

Tabela 2. Taxas de transporte de sedimentos para o os cursos médio e baixo do rio Jacuí.

Taxas de Transporte de Sedimentos (t/a)			Taxas de Transporte de Sedimentos (t/a)		
Seções	Cenário 1	Cenário 2	Seções	Cenário 1	Cenário 2
Seção 1	116.605	116.556	Seção 14	68.408	-62.433
Seção 2	72.218	71.593	Seção 15	-181.681	-234.726
Seção 3	-10.863	-34.477	Seção 16	-9.875	2.019
Seção 4	14.540	13.614	Seção 17	8.123	11.406
Seção 5	9.865	8.513	Seção 18	21.117	33.761
Seção 6	11.019	24.560	Seção 19	53.761	56.284
Seção 7	2.072	62.053	Seção 20	-51.323	-51.072
Seção 8	200.172	207.770	Seção 21	-2.177	-2.172
Seção 9	65.315	79.306	Seção 22	-6.281	-6.270
Seção 10	99.213	106.641	Seção 23	41.518	41.757
Seção 11	-65.305	-34.714	Seção 24	14.992	15.064
Seção 12	62.241	81.462	Seção 25	30.107	30.132
Seção 13	-21.823	3.032			

Fonte: FEPAM, 2023.

Com relação ao balanço de massa acumulado total de sedimentos resultante da simulação, foi registrado saldo positivo nos dois cenários, sendo 2.546.033 ton/ano para o Cenário 1 e 2.548.526 ton/ano para o Cenário 2. Esses resultados demonstram que ao longo dos cursos médio e baixo do rio Jacuí, a tendência é de deposição de sedimento ao longo de um ano hidrológico simulado.

No que se refere à qualidade da água, nota-se padrão homogêneo ao longo do curso de água e sem variação significativa entre períodos de estiagem e cheia, sendo classificadas segundo a resolução CONAMA nº 357/2005, predominantemente, na Classe 1 (>70% das amostras).

A coleta de amostras para o meio biótico teve como objetivo principal estabelecer critérios com base em estrutura da biota aquática e de critérios ecológicos para subsidiar o zoneamento da atividade de extração de areia rio Jacuí. Para isso, buscou-se diagnosticar a estrutura da comunidade periférica, planctônica e da fauna de macroinvertebrados em habitats de área de interesse, identificar padrões de zonação longitudinal e transversal no rio Jacuí com base nas comunidades bióticas e nas variáveis limnológicas e verificar efeitos da dragagem sobre a comunidade fitoplantônica.

Em relação a ictiofauna, a extensão do rio Jacuí definida como área de estudo envolve grande heterogeneidade de ambientes aquáticos e as interações entre a calha principal do rio, afluentes, lagoas marginais, braços e áreas de transição multiplicam a variabilidade ambiental de habitats ocupados pela ictiofauna. Portanto, todos os microambientes do rio são potencialmente ocupados pela fauna íctica.



Desta forma, foi realizada primeiramente uma análise exploratória em imagens de satélite identificando ambientes reconhecidamente importantes para a ictiofauna para posterior atividade de campo.

Os resultados obtidos através das campanhas de amostragem foram analisados sob os seguintes aspectos: riqueza, abundância, similaridade e curva de acúmulo de espécies. A riqueza de espécies foi abordada através do número total de espécies registradas em cada ponto e para a área de estudo como um todo, constituindo-se em um parâmetro puramente qualitativo. A abundância de exemplares foi abordada de duas maneiras: Abundância Absoluta e Abundância Relativa. A similaridade entre as taxocenoses de peixes encontradas em cada ponto de amostragem foi aferida através do Índice de Similaridade de Bray-Curtis (1957), escolhido por incorporar as abundâncias relativas das espécies em sua fórmula (além da presença ou ausência de espécies), constituindo-se em um índice qualiquantitativo e desta forma mais completo.

A fauna terrestre foi abordada considerando o levantamento de informações bibliográficas e a realização de expedições de vistoria. As atividades de campo foram nas mesmas áreas de avaliação da ictiofauna e tiveram o propósito de analisar vestígios da fauna terrestre, o estado de conservação da mata ciliar e sua conectividade.

Em referência aos ecossistemas terrestres e de transição, previamente ao ingresso nos resultados obtidos, é imprescindível registrar que o elo de impacto negativo encontrado entre a mineração de areia no leito do rio Jacuí e os ecossistemas terrestres consiste na perda e/ou alteração de habitats resultante de processos erosivos de margens, tais como solapamentos, os quais afetam diretamente a mata ciliar do rio Jacuí e conseqüentemente os elementos da fauna terrestre que nela habitam.

Com referência aos aspectos socioeconômicos e culturais, os estudos evidenciaram a dependência da população em relação ao rio Jacuí, considerando diversos usos da água. No entanto, existe uma baixa presença de organizações sociais, voltadas diretamente ao rio Jacuí, nos municípios abrangidos pelo zoneamento. Por exemplo, as instituições de pesca estão atreladas, sobretudo, à orientação e à organização documental de seus associados. Observa-se que o uso das margens engloba um mosaico de diferentes atividades, por vezes associadas a cadeias econômicas com maior amplitude – tais como silos para armazenagem de grãos, portos para escoamento de produtos, empresas de depósito e comércio de areias – até usos mais restritos à população local e de municípios próximos, a exemplo de pequenos comércios, bares, balneários e turismo.

Quanto à análise multicritério, foi empregada metodologia AHP, que hierarquiza critérios/descriptores por peso relativo (importância relativa atribuída em fórum de especialistas) e os cruza em matriz de Saaty (1977). Foram empregados seis descritores e atribuídos os seguintes pesos, definidos pelos especialistas responsáveis pela elaboração do ZAMJ, bem como número de registros de campo, suas características fundamentais e a valoração correspondente, conforme Tabela 3. A geração de mapas para cada descritor se baseou em dados de diagnósticos e na análise de *hotspots*, sendo os resultados apresentados na Tabela 4.

A análise multicritério é indispensável para a elaboração de mapa síntese, pois a integração da espacialização de cada descritor considera os pesos relativos atribuídos nessa etapa. A utilização da ferramenta denominada soma de pesos (do inglês, *weighted sum*), no ambiente SIG do programa computacional ArcGis Pro, processa a sobreposição de mapas de cada descritor, os pesos relativos de cada descritor e estabelece o valor final de cada célula e a redefinição de feições e limites unificados. No caso do ZAMJ, nessa etapa foi realizada a reclassificação dos intervalos de valores em quatro classes e gerada uma quinta classe que corresponde, na verdade, às áreas impróprias.

Tabela 3. Lista de descritores, pesos relativos, número de observações em campo, descrição de cada classe utilizada para mapeamento dos temas e respectiva valoração.



Descritor	Peso (%)	Nº pontos	Características	Valor
Morfodinâmica das margens	29,6	316	Margem com rocha	1
			Margem com solo e vegetação ciliar sem erosão	2
			Margem com solo, vegetação ciliar e princípio de erosão	3
			Margem com solo, pouca vegetação e/ou princípio de erosão	4
			Margem com erosão ou sem vegetação	5
Leito estável (<i>bedrock</i>)	8,3	166	Mais de 5 m de espessura de sedimentos acima do <i>bedrock</i>	1
			Entre 3 e 5 m de espessura	2
			Entre 1 e 3 m de espessura	3
			Espessura de sedimentos acima do <i>bedrock</i> menor do que 1 metro	4
Ambientes da Ictiofauna	22,0	358	Praias	1
			Foz de arroio	2
			Foz de rio	3
			Ambientes marginais	4
Mesohabitats bentônicos	27,7	357	Mesohabitats com elevada instabilidade (<i>Run</i>), na calha principal, com granulometria grosseira (areia, seixo ou lajeado), e riqueza reduzida. Centro do canal do trecho meandrante e anastomosado	1
			Mesohabitats com instabilidade moderada (<i>Run</i>), na calha principal, com granulometria predominantemente arenolodosa, e riqueza reduzida. Centro do canal no trecho retilíneo e entrelaçado	2
			Mesohabitats na planície de inundação, transicionais, com estabilidade moderada, com maior conectividade à calha (ex.: <i>backwater</i> , <i>forewater</i> embaçamento), com predominância de sedimentos arenosos; Foz de rio	3
			Mesohabitats na planície de inundação, transicionais, com elevada estabilidade, com pouca ou nenhuma conectividade à calha (ex.: piscinas isoladas), exceto em período de cheia, com predominância de sedimentos finos; Mesohabitats marginais como áreas deposicionais (ex.: barras em pontal, margens de Ilhas e barras longitudinais, ou praias), com registros de organismos bentônicos, especialmente escavadores; Foz de arroio	4
Conectividade de manchas de	4,1	100	Manchas isoladas ou com conexão limitada à área de estudo	1



Descritor	Peso (%)	Nº pontos	Características	Valor
vegetação para a fauna terrestre			Manchas com conexão que extrapola a área de estudo, mas não se estende por longas distâncias	2
			Manchas com conexão que extrapola a área de estudo a longas distâncias	3
Socioeconomia	8,3	98	Pontos de captação industrial, para irrigação ou para dessedentação animal	1
			Aglomerados populacionais	2
			Pontos de captação para abastecimento público, balneários, praias e áreas urbanas	3

Fonte: FEPAM, 2023.

Tabela 4. Características dos descritores empregadas para a análise de *hotspots*.

Descritor	Pontos	Valor	Tolerância da pesquisa de vizinhança (m)*
Leito Estável (<i>bedrock</i>)	166	1 - 4	17.288,54
Morfodinâmica das Margens	316	1 - 5	2.431,90
Ambientes da Ictiofauna	358	1 - 4	5.615,11
Conectividade de manchas de vegetação para a fauna terrestre	100	1 - 3	6.646,83
Mesohabitats bentônicos	357	1 - 4	9.822,38

Fonte: FEPAM, 2023.

Ao mapa do zoneamento estão associados os seguintes quantitativos em termos de classes de sensibilidade, desconsiderando as ilhas fluviais (19,7% da área), onde a atividade de mineração não é permitida (Tabela 5), bem como áreas consideradas impróprias (21,6% da área) pelo ZAMJ.

Tabela 5 .Distribuição espacial das classes do mapa síntese

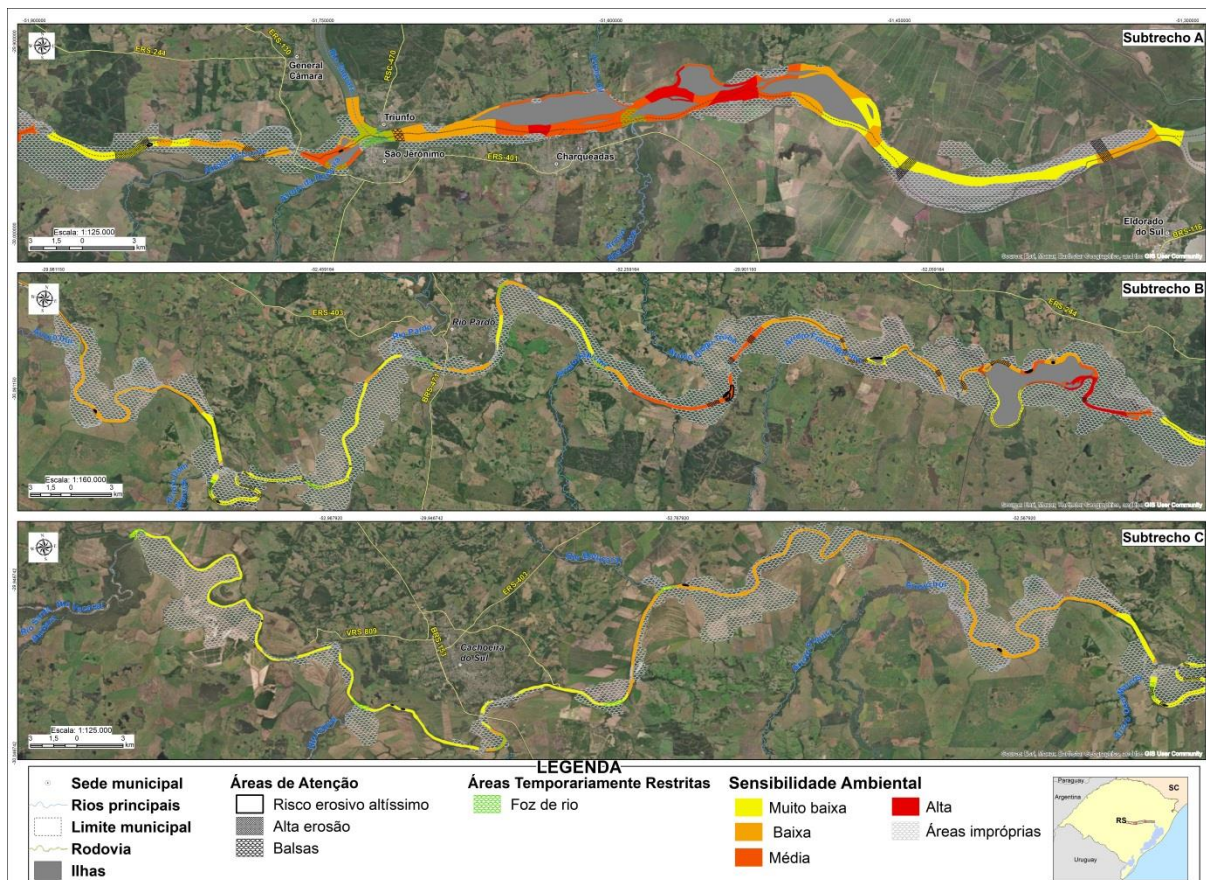
Classe	Área (ha)	Área relativa (%)
1 – Muito Baixa	2.818,1	34,5
2 – Baixa	3.173,2	38,7
3 – Média	1.567,2	19,1
4 – Alta	622,7	7,6
TOTAL	8.181,2	100

Fonte: FEPAM, 2023.

O mapa final do ZAMJ é apresentado na Figura 3, com a delimitação de zonas de sensibilidade, áreas impróprias e de atenção. Além disso, foram elaboradas diretrizes gerais e diretrizes associadas a cada uma dessas classes.

Figura 3. Mapa do Zoneamento Ambiental para a atividade de mineração de areia nos cursos médio e baixo do rio Jacuí.





Fonte: FEPAM, 2023.

Dentre as gerais, destaque para manutenção da faixa de proteção de margens de 50 metros, já adotada no Licenciamento Ambiental pela FEPAM, manutenção de 1 metro de depósito de sedimento sobre o leito estável (do inglês, *bedrock*), execução de estudo de dispersão de pluma de sedimentos nas áreas de mineração durante dragagem visando à extração de minério, afastamento de 100 metros entre atividade minerária e assentamentos humanos, de 200 metros em relação a pontes e demais estruturas civis, 450 metros de áreas de lazer, balneários e praias e 200 metros de pontos de captação de água para abastecimento humano.

Das específicas, destaque para avaliação da estabilidade de margens, contaminação de sedimentos em locais com altos teores de metais e análise da probabilidade de impactos da atividade minerária sobre locais de importância para manutenção das comunidades aquáticas.

5. CONCLUSÃO/CONSIDERAÇÕES FINAIS

O diagnóstico realizado permitiu caracterizar adequadamente o ambiente fluvial e sistemas associados aos cursos médio e baixo do rio Jacuí. A partir dele, foi possível elencar os descritores mais importantes dos meios físico, biótico e socioeconômico e, através de metodologia de análise integrada multicritério (AHP), chegar a uma síntese em termos de sensibilidade ambiental e características homogêneas. Através de rotinas computacionais também foi possível estimar o comportamento hidrodinâmico do rio e sua competência para transportar, erodir e depositar sedimentos em cada trecho e cenário modelado.



Na contextualização geológico-estrutural, foi possível reconhecer os principais condicionantes que afetam o escoamento superficial de água e o transporte e deposição de sedimentos. Na maior parte dos pontos de levantamento de dados primários, verificou-se uma relação direta entre erosão das margens do rio Jacuí, padrão de canal (margem erosiva vs. margem deposicional) e direção e velocidade de escoamento da água. Apesar da presença de perfis de solo bem formados, a ausência de vegetação ciliar e a presença de atividades antrópicas junto à margem contribuem para a desestabilização de perfis de solo ao longo dos cursos médio e baixo do Jacuí.

Quanto ao meio biótico, concluiu-se que os locais mais relevantes são as fozes de cursos de água e os ambientes marginais associados, pois estão associados à ictiofauna, sua reprodução, abundância e diversidade, bem como à atividade de pesca. Outro grupo de importância ambiental na área é o de macroinvertebrados bentônicos, especialmente bivalves nativos escavadores, no leito maior do rio, isto é, na planície de inundação. Por fim, a fauna terrestre contribuiu para a definição da sensibilidade ambiental, através da análise da largura e da conectividade da mata ciliar ao longo da área de estudo.

Verificou-se, também, que a estrutura econômica da maior parte dos municípios, banhados pelos cursos médio e baixo do rio Jacuí, está diretamente atrelada ao setor primário. Confirmou-se forte dependência da população ao rio Jacuí, decorrente de diferentes usos da água, incluindo captações para abastecimento público, agricultura, pecuária, pesca, navegação, mineração, turismo e lazer. Por conta disso, o ZAMJ incorporou áreas impróprias para a mineração e diretrizes ambientais específicas, somando-se às delimitações de classes de sensibilidade, objetivando analisar, de forma mais robusta, a viabilidade dos empreendimentos minerários em relação aos múltiplos usos das margens e do rio.

De posse desse Zoneamento Ambiental, o Licenciamento Ambiental aplicado pela FEPAM, órgão de gestão ambiental estadual, deverá ocorrer de forma mais segura, visto que está ancorado em base de dados e diretrizes técnicas consolidadas por especialistas multidisciplinares. Dessa forma, o processo de análise de empreendimentos minerários, atuais e futuros, fica mais otimizado, eficiente e rigoroso tecnicamente. Com isso, almeja-se a proteção adequada do meio ambiente e previne-se que casos de dano ambiental associados a atividades potencialmente causadoras de degradação ambiental ocorram.



REFERÊNCIAS

BRASIL. **Lei 6.938, de 31 de agosto de 1981**. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. Brasília, 1981.

BRASIL. **Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012**. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nºs 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nºs 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória nº 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. Brasília, 2012.

BRAY, J.R.; CURTIS, J.T. An ordination of the upland forest communities of Southern Wisconsin **Ecological Monographs**, v. 27, n. 4. p. 325-349. 1957.

FUNDAÇÃO ESTADUAL DE PROTEÇÃO AMBIENTAL HENRIQUE LUIS ROESSLER – FEPAM. **Zoneamento Ambiental para a Atividade de Mineração de Areia nos Cursos Médio e Baixo do Rio Jacuí**. 2023. Disponível em <<https://fepam.rs.gov.br/zoneamento-ambiental-jacui>> Acesso em 29 ago. 2024.

GETIS, A.; ORD, J.K. The Analysis of Spatial Association by Use of Distance Statistics. **Geographical Analysis**, v. 24, n. 3. p. 189-206. 2012.

HECKMANN-UMHAU, P. The Development of Modern Urban Planning: The Case of Strasbourg, 1871-1918. **Journal of Urban History**. 2023.

LOPES, P. **Zoneamento ambiental e sua importância para o Desenvolvimento Sustentável**. 2015. Disponível em <<https://www.jusbrasil.com.br/artigos/zoneamento-ambiental-e-sua-importancia-para-o-desenvolvimento-sustentavel/184253243>> Acesso em: 29 ago. 2024.

SAATY, T.L. A scaling method for priorities in a hierarchichal structure. **Journal of Mathematical Psychology**, v. 15, n. 3, p. 234-281. 1977.

SECRETARIA DE MEIO AMBIENTE DO ESTADO DE SÃO PAULO – SMA/SP. **Resolução SMA nº 028/99, de 22 de setembro de 1999**. Dispõe sobre o zoneamento ambiental para mineração de areia no subtrecho da bacia hidrográfica do Rio Paraíba do Sul inserido nos municípios de Jacareí, São José dos Campos, Caçapava, Taubaté, Tremembé e Pindamonhangaba. São Paulo, 1999.

TRIBUNAL REGIONAL FEDERAL DA 4ª REGIÃO. **JFRS estipula prazo de dois anos para Fepam elaborar zoneamento ecológico-econômico no Rio Jacuí**. 2021. Disponível em <https://www.trf4.jus.br/trf4/controlador.php?acao=noticia_visualizar&id_noticia=25111> Acesso em: 29 ago. 2024.

US Army Corps of Engineers – USACE. **River Analysis System. Hydraulic Reference Manual, version 5.0**. Washington DC, 2016.

