



MINISTÉRIO DA  
CIÊNCIA, TECNOLOGIA  
E INOVAÇÕES



sid.inpe.br/mtc-m21d/2021/10.08.16.52-TDI

**SERVIÇOS ECOSSISTÊMICOS E A GEODIVERSIDADE  
NO ENCERRAMENTO DE CICLO DE MINERAÇÃO DE  
AREIA: VÁRZEA DO RIO PARAÍBA DO SUL, PORÇÃO  
PAULISTA**

Luciana Maria Ferrer

Tese de Doutorado do Curso de Pós-Graduação em Ciência do Sistema Terrestre, orientada pelos Drs. Daniel Andrés Rodriguez, e Maria Cristina Forti, aprovada em 24 de junho de 2021.

URL do documento original:

<http://urlib.net/8JMKD3MGP3W34T/45J6BSS>

INPE  
São José dos Campos  
2021

**PUBLICADO POR:**

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE  
Coordenação de Ensino, Pesquisa e Extensão (COEPE)  
Divisão de Biblioteca (DIBIB)  
CEP 12.227-010  
São José dos Campos - SP - Brasil  
Tel.:(012) 3208-6923/7348  
E-mail: pubtc@inpe.br

**CONSELHO DE EDITORAÇÃO E PRESERVAÇÃO DA PRODUÇÃO INTELLECTUAL DO INPE - CEPPII (PORTARIA Nº 176/2018/SEI-INPE):**

**Presidente:**

Dra. Marley Cavalcante de Lima Moscati - Coordenação-Geral de Ciências da Terra (CGCT)

**Membros:**

Dra. Ieda Del Arco Sanches - Conselho de Pós-Graduação (CPG)  
Dr. Evandro Marconi Rocco - Coordenação-Geral de Engenharia, Tecnologia e Ciência Espaciais (CGCE)  
Dr. Rafael Duarte Coelho dos Santos - Coordenação-Geral de Infraestrutura e Pesquisas Aplicadas (CGIP)  
Simone Angélica Del Ducca Barbedo - Divisão de Biblioteca (DIBIB)

**BIBLIOTECA DIGITAL:**

Dr. Gerald Jean Francis Banon  
Clayton Martins Pereira - Divisão de Biblioteca (DIBIB)

**REVISÃO E NORMALIZAÇÃO DOCUMENTÁRIA:**

Simone Angélica Del Ducca Barbedo - Divisão de Biblioteca (DIBIB)  
André Luis Dias Fernandes - Divisão de Biblioteca (DIBIB)

**EDITORAÇÃO ELETRÔNICA:**

Ivone Martins - Divisão de Biblioteca (DIBIB)  
André Luis Dias Fernandes - Divisão de Biblioteca (DIBIB)



MINISTÉRIO DA  
CIÊNCIA, TECNOLOGIA  
E INOVAÇÕES



sid.inpe.br/mtc-m21d/2021/10.08.16.52-TDI

**SERVIÇOS ECOSSISTÊMICOS E A GEODIVERSIDADE  
NO ENCERRAMENTO DE CICLO DE MINERAÇÃO DE  
AREIA: VÁRZEA DO RIO PARAÍBA DO SUL, PORÇÃO  
PAULISTA**

Luciana Maria Ferrer

Tese de Doutorado do Curso de Pós-Graduação em Ciência do Sistema Terrestre, orientada pelos Drs. Daniel Andrés Rodriguez, e Maria Cristina Forti, aprovada em 24 de junho de 2021.

URL do documento original:

<<http://urlib.net/8JMKD3MGP3W34T/45J6BSS>>

INPE  
São José dos Campos  
2021

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

---

Ferrer, Luciana Maria.

F414s Serviços ecossistêmicos e a geodiversidade no encerramento de ciclo de mineração de areia: várzea do Rio Paraíba do Sul, porção paulista / Luciana Maria Ferrer. – São José dos Campos : INPE, 2021.

xxii + 105 p. ; (sid.inpe.br/mtc-m21d/2021/10.08.16.52-TDI)

Tese (Doutorado em Ciência do Sistema Terrestre) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2021.

Orientadores : Drs. Daniel Andrés Rodriguez, e Maria Cristina Forti.

1. Serviços Ecossistêmicos. 2. Geodiversidade. 3. Indicadores socioambientais. 4. Risco de infraestruturas tecnológicas. 5. Vulnerabilidade hídrica. I.Título.

CDU 574.1:622.841(815.6)

---



Esta obra foi licenciada sob uma Licença [Creative Commons Atribuição-NãoComercial 3.0 Não Adaptada](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/).

This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial 3.0 Unported License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/).



**INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS**  
Serviço de Pós-Graduação - SEPGR

**DEFESA FINAL DE TESE DE LUCIANA MARIA FERRER**  
**BANCA Nº 180/2021 REG 144274/2017**

No dia 24 de junho de 2021, as 14h00min, por teleconferência, o(a) aluno(a) mencionado(a) acima defendeu seu trabalho final (apresentação oral seguida de arguição) perante uma Banca Examinadora, cujos membros estão listados abaixo. O(A) aluno(a) foi APROVADO(A) pela Banca Examinadora, por unanimidade, em cumprimento ao requisito exigido para obtenção do Título de Doutora em Ciência do Sistema Terrestre. O trabalho precisa da incorporação das correções sugeridas pela Banca Examinadora e revisão final pelo(s) orientador(es).

**Título: "SERVIÇOS ECOSISTÊMICOS E A GEODIVERSIDADE NO ENCERRAMENTO DE CICLO DE MINERAÇÃO DE AREIA: VÁRZEA DO RIO PARAÍBA DO SUL, PORÇÃO PAULISTA"**

Eu, Celso von Randow, como Presidente da Banca Examinadora, assino esta ATA em nome de todos os membros, com o consentimento dos mesmos.

Dr. Celso von Randow - Presidente - INPE

Dr. Daniel Andrés Rodriguez - Orientador - INPE

Dra. Maria Cristina Forti - Orientador - INPE

Dra. Maria Aparecida de Oliveira - Membro Externo - Johns Hopkins Bloomberg School of Public Health

Dra. Maria da Glória Motta Garcia - Membro Externo - USP

Dr. Ricardo Galeno Fraga de Araújo Pereira - Membro Externo - UFBA



Documento assinado eletronicamente por **Celso Von Randow, Chefe da Divisão de Impactos, Adaptação e Vulnerabilidades**, em 02/07/2021, às 11:28 (horário oficial de Brasília), com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Laura de Simone Borma, Pesquisador Titular**, em 07/07/2021, às 19:07 (horário oficial de Brasília), com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site <http://sei.mctic.gov.br/verifica.html>, informando o código verificador **7760462** e o código CRC **BAA68635**.

---

**Referência:** Processo nº 01340.004156/2021-12

SEI nº 7760462

*“O saber a gente aprende com os mestres e os livros. A sabedoria se aprende é com a vida e com os humildes”.*

*Cora Coralina*



*Ao meu filho, meu renascimento, Caetano*



## AGRADECIMENTOS

Ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais e a Pós-graduação em Ciência do Sistema Terrestre (CST), pela oportunidade e apoio na realização deste doutorado.

Com indelével gratidão, aos meus orientadores, Dr. Daniel Andrés Rodriguez e Dra. Maria Cristina Forti pela égide em toda a trajetória da construção deste trabalho.

À CAPES pelo apoio e fomento para o estudo no INPE.

Ao professor Dr. Felix Carriello, pela generosidade no ensinar, responsável por trazer a cor e a imagem, que resultaram no regozijo da leitura deste trabalho.

Ao professor Dr. Diógenes Sala, por desvelar-se no ensinamento da luz do pensamento humano, ao Dr. Donato Nobre por me emprestar seu macroscópio para apreender o Sistema Terra e ao Dr. Kléber Nacaratto, pela disposição na coordenação dos caminhos possíveis para serem percorridos no curso e em Gaia em Jogo.

Aos professores Drs. Jean Ometto, Ivo Karmman, Daniel Atencio e Dra. Valéria Cagnon Quitete por acreditarem em meu potencial científico.

À Ângela Harada e Mariana Santos, pelo precioso cuidado administrativo e gentileza na assistência com os processos do curso.

Ao tutor Dr. Roberto Garcia pela magnanimidade em compartilhar seu saber e seu tempo, comovendo-me pelo privilégio de receber seus ensinamentos e à minha amiga, *teacher* Iara Garcia, pela guarida durante todas as fases deste estudo e pela intervenção assertiva nos momentos mais necessários.

À CETESB através de seus funcionários Marcus Vinicius, Wagner, Marcelo Gutierrez, Schmidt, Ana, Samira, Luiz, Arlete Ohata, Fábio Deodato, Eduardo Jun Shinohara e Sônia Nogueira do IG, pelo pleno apoio e acesso ao material deste trabalho.

Às imprescindíveis ideias geológicas de Akimoto, Eduard, Onissam Agena, Pin Maturana, Artur Jarbas, M<sup>a</sup> da Glória Motta, Maria Oliveira, Fábio Reis e Ricardo Pereira.

Ao meu marido e pesquisador Dr. Marcio Andrade, que como companheiro e professor amparou-me em minhas angústias e trouxe-me ideias e soluções o trabalho.

Aos meus pais, Sr. Aparecido e D. Rosa, pela educação que me trouxe até aqui e à tia Rita, que cuidou de minha família, enquanto eu me dedicava aos estudos.



## RESUMO

O elemento da geodiversidade é determinante do padrão de mineração, porque sua natureza define como será a interação com os seres humanos e a paisagem final dos serviços ecossistêmicos (SE). Os centros urbanos demandam areia para crescer e a infraestrutura das mineradoras traz riscos que precisam ser estudados para apoiar a gestão. Levando isso em consideração, este estudo foi desenvolvido para analisar as mudanças observadas nos SE após 70 anos de exploração, na área do Zoneamento Ambiental para Mineração de Areia, no vale do rio Paraíba do Sul, Brasil. Foram estudadas variáveis socioambientais e aplicado o Método da Análise Hierárquica (AHP), para criar um índice dos SE no fechamento e gerar o Mapa da Reserva da Geodiversidade do Cinturão Quaternário (RGCCQ), analisado sob a égide dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) 6, 8, 9, e 11. Devido a abundância de lagoas de cavas, que incorporou risco tecnológico na paisagem final, foi criado o Índice de Vulnerabilidade Hídrica Social Urbana (IVHSU) e mapeada a segurança hídrica de grupos da população intraurbana de um dos municípios do zoneamento, destacando a dificuldade de acesso à água, causada pela ruptura de uma barragem de areia. Os resultados mostraram o cenário de SE no fechamento, em geral, ligado ao elemento da geodiversidade, tamanho da empresa e cumprimento da lei, o que levou a um padrão de encerramento com predomínio das variáveis *instalações da mina* e *reflorestamento com vegetação nativa*. Este padrão resultou no fornecimento de SE de Conhecimento de educação e emprego, de Regulação de controle da erosão, de Provisão de habitat à fauna e Cultural de recreação. Estes cenários não foram apenas resultado da adequação à legalização ambiental, mas também influenciados pelas mudanças sócio-político-econômicas. Apesar da provisão de SE, a aderência aos ODS foi pequena, limitada principalmente ao uso de cavas como reservatórios de água. O risco tecnológico incorporado à paisagem, resultou em vulnerabilidade hídrica da população com piores condições socioeconômicas na área urbana da cidade. O arcabouço desenvolvido na análise usou indicadores complexos, proporcionando uma visão holística do sistema, que permitiu identificar alternativas para políticas públicas, conformando uma ferramenta poderosa para o processo decisório.

Palavras-chave: Serviços Ecossistêmicos. Geodiversidade. Indicadores socioambientais. Risco de infraestruturas tecnológicas. Vulnerabilidade hídrica.



**ECOSYSTEM SERVICES AND GEODIVERSITY AT THE END OF A SAND  
MINING CYCLE: FLOODPLAIN OF THE PARAÍBA DO SUL RIVER,  
PAULISTA REGION**

**ABSTRACT**

The geodiversity element is a determinant of the pattern of mining, because its nature defines how it will interact with humans and the final landscape of ecosystem services (ES). Urban centers demand sand to grow and the infrastructure of mining companies brings risks that need to be studied to support management. Taking this into consideration, this study was developed to analyze the changes observed in ES after 70 years of exploitation, in the area of Environmental Zoning for Sand Mining, in the Paraíba do Sul river valley, Brazil. Socio-environmental variables were studied and the Hierarchical Analysis Method (AHP) was applied, to create an index of SEs at closure and generate the Quaternary Belt Geodiversity Reserve Map (RGCQ), analyzed under the aegis of Sustainable Development Goals (SDGs) 6, 8, 9, and 11. Due to the abundance of pit ponds, which incorporated technological risk in the final landscape, the Urban Social Water Vulnerability Index (IVHSU) was created and the water security of intra-urban population groups of one of the zoning municipalities was mapped, highlighting the difficulty of access to water, caused by the rupture of a sand dam. The results showed the ES scenario at closure was generally linked to the geodiversity element, company size, and legal compliance, which led to a closure pattern with a predominance of the variables *mine facilities* and *reforestation with native forest*. This pattern resulted in the Knowledge ES of education and employment, Regulating ES of erosion control, Provisioning ES of wildlife habitat, and Cultural ES of recreation. These scenarios were not only the result of compliance with environmental legalization, but also influenced by socio-political-economic changes. Despite the provision of ES, adherence to the SDGs was poor, limited mainly to the use of pits as water reservoirs. The technological risk incorporated into the landscape, resulted in water vulnerability of the population in worst socio-economic conditions in the urban area of the city. The framework developed in the analysis used complex indicators, providing a holistic view of the system, which allowed the identification of alternatives for public policies, forming a powerful tool for the decision-making process.

Keywords: Ecosystem Services. Geodiversity. Socioenvironmental Indicators. Technological infrastructure risk. Water vulnerability



## LISTA DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| Figura 2.1: Estratótipos representantes do antropoceno.....   | 7  |
| Figura 2.2: “Flor da Geodiversidade” .....  | 8  |
| Figura 3.1: Mapa da geologia ocorrente na área de estudo e posição relativa no Estado de São Paulo e no Brasil. Delimitada no mapa da geodiversidade do Estado de São Paulo, destacando o Quaternário como área de relevante interesse mineral pelo potencial para extração de areia.....       | 19 |
| Figura 3.2: Mapa de delimitação da área do Zoneamento Ambiental para Mineração de Areia e posição da área em relação ao Estado de São Paulo e Brasil. Elaborado a partir do <i>Shapefile</i> fornecido pela Secretaria de Infraestrutura e Meio Ambiente do Governo do Estado de São Paulo..... | 21 |
| Figura 3.3: Geolocalização da área urbana de São José dos Campos, captação de água para abastecimento público no rio Paraíba do Sul e área do Subsistema Paraíba, na UGRHI 02.....  | 23 |
| Figura 3.4: Etapas realizadas para a construção do mapa da Reserva da Geodiversidade do Cinturão Quaternário – RGCQ.....  | 28 |
| Figura 3.5: Etapas da construção do Índice de Vulnerabilidade Hídrica Social Urbana– IVHSU.....   | 29 |
| Figura 4.1: Posição relativa entre as duas formas de extração da extração de areia: antes de 1977 (leito) e a adequada à nova legislação ambiental (pôlderes) na área do zoneamento e à jusante do rio Paraíba do Sul.....  | 34 |
| Figura 4.2: Intercruzamento entre Requerimentos de extração com empresas do Zoneamento Ambiental para Mineração de Areia.....   | 36 |
| Figura 4.3: Década de 90: consolidação do controle ambiental da área do Zoneamento...37   |    |

|  |    |
|--|----|
| Figura 4.4: Traçado retificado do leito do rio Paraíba do Sul e cavas inundadas entre os meandros incorporando o estrato antropocênico.....  | 41 |
| Figura 4.5: Pontuação dos isovalores da ESEE projetados para geração do mapa da Reserva da Geodiversidade do Cinturão Quaternário – RGCQ.....  | 44 |
| Figura 4.6: Intervalos de classe de vulnerabilidade do IVHSU - Indicador de Vulnerabilidade Hídrica Social Urbana, São José dos Campos, 2010.....  | 47 |
| Figura 4.7: IVHSU das Regiões intraurbanas Centro (a) e Sul (b).....   | 48 |
| Figura 4.8: Cartas de vulnerabilidade por variável isolada: Mulheres Chefe de Família (a), Renda Média do Responsável por Domicílio (b) e Relação de Dependência de Crianças e Idosos (c)..... | 49 |
| Figura 4.9: Distribuição da população por Regiões da cidade e classes de IVHSU.....  | 52 |
| Figura 5.1: Registros fotográficos dos SE de maior ocorrência (Cultural de recreação e associação histórica (senso de lugar).....  | 56 |

## LISTA DE TABELAS

|   |    |
|---|----|
| Tabela 3.1: Escala numérica de atribuição de importância entre variáveis.....   | 26 |
| Tabela 3.2: Domínios e variáveis para construção do Índice de Vulnerabilidade Hídrica Social Urbana – IVHSU.....        | 31 |
| Tabela 4.1: Descrição das variáveis socioambientais, respectivos SE no encerramento e contabilização da ocorrência..... | 39 |
| Tabela 4.2: Escala AHP de importância atribuída às variáveis socioambientais.....                                       | 42 |



## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

|          |   |
|----------|---|
| AHP      | Método da Análise Hierárquica ( <i>Analytic Hierarchy Process</i> ) |
| ANM      | Agência Nacional de Mineração                                       |
| CAAE     | Certificado de Apresentação para Apreciação Ética                   |
| CEP      | Comitê de Ética em Pesquisa   |
| CETESB   | Companhia Ambiental do Estado de São Paulo                          |
| ESSE     | Equação de Serviços Ecosistêmicos no Encerramento                   |
| IQA      | Índice de Qualidade de Águas  |
| IVHSU    | Índice de Vulnerabilidade Hídrica Social Urbana                     |
| ODS      | Objetivos de Desenvolvimento Sustentável                            |
| PRAD     | Plano de Recuperação de Áreas Degradadas                            |
| RGCQ     | Reserva da Geodiversidade do Cinturão Quaternário                   |
| SE       | Serviços Ecosistêmicos  |
| SMA      | Secretaria de Meio Ambiente do Estado de São Paulo                  |
| UGRHI 02 | Unidade de Gestão de Recursos Hídricos Paraíba do Sul               |



## SUMÁRIO

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| <b>1</b> | <b>INTRODUÇÃO.....</b>  | <b>1</b>  |
| 1.1      | Objetivo.....   | 3         |
| <b>2</b> | <b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>   | <b>5</b>  |
| 2.1      | Antropoceno.....  | 5         |
| 2.2      | Geodiversidade.....   | 7         |
| 2.3      | Serviços ecossistêmicos (SE).....   | 10        |
| 2.4      | Indicadores.....  | 11        |
| 2.5      | Segurança hídrica, riscos tecnológicos e vulnerabilidade social.....                | 13        |
| <b>3</b> | <b>MÉTODO.....</b>  | <b>17</b> |
| 3.1      | Área de estudo.....   | 17        |
| 3.2      | Levantamento das variáveis socioambientais.....                                     | 24        |
| 3.3      | Método de análise hierárquica (AHP).....  | 25        |
| 3.4      | Equação de SE no encerramento (ESEE).....   | 26        |
| 3.5      | Construção do mapa da reserva da geodiversidade do cinturão quaternário (RGCQ)..... | 27        |
| 3.6      | Criação do índice de vulnerabilidade hídrica social urbana (IVHSU).....             | 28        |
| 3.6.1    | Cálculo do IVHSU.....   | 29        |
| <b>4</b> | <b>RESULTADOS.....</b>  | <b>33</b> |

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| 4.1      | Área do zoneamento ambiental para mineração de areia.....             | 33        |
| 4.2      | SE de encerramento no estrato antropocênico.....                      | 37        |
| 4.2.1    | Correlação entre variáveis socioambientais & SE no encerramento.....  | 38        |
| 4.2.2    | Escala de importância AHP aplicada às variáveis socioambientais.....  | 42        |
| 4.2.3    | RGCQ - mapa da pontuação de ESEE no encerramento.....                 | 42        |
| 4.3      | Infraestrutura tecnológica e vulnerabilidade hídrica.....             | 46        |
| 4.3.1    | Intervalos de classe de vulnerabilidade do IVHSU.....                 | 46        |
| 4.3.2    | População das regiões da cidade por classes de IVHSU.....             | 51        |
| <b>5</b> | <b>DISCUSSÃO.....</b>   | <b>53</b> |
| <b>6</b> | <b>CONCLUSÕES.....</b>  | <b>60</b> |
|          | <b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>                                | <b>63</b> |
|          | <b>APÊNDICE A – DOCUMENTAÇÃO DO MODELO AHP.....</b>                   | <b>79</b> |
| A.1      | Histórico da aplicação do questionário.....                           | 79        |
| A.2      | Tabela modelo AHP.....  | 80        |
| A.3      | Questionários validados no trabalho.....                              | 81        |
|          | <b>APÊNDICE B – MATRIZ DE CÁLCULO ESEE.....</b>                       | <b>87</b> |
|          | <b>ANEXO A - EXIGÊNCIAS AMBIENTAIS, EIA/RIMA, PRAD e RCA/PCA.....</b> | <b>90</b> |

# 1.INTRODUÇÃO

A proposta deste trabalho é a análise da paisagem final no término do ciclo de aproveitamento dos serviços ecossistêmicos, em uma área cuja geodiversidade, representada pela areia de depósitos aluvionares, tem aptidão para ser aproveitada como agregado de uso direto na construção civil. A investigação buscou responder às seguintes perguntas:

- a) Como o cenário antropocênico de serviços ecossistêmicos se transformou depois que a mineração de areia encerrou as atividades?
- b) Essa infraestrutura trouxe vulnerabilidade ou risco no acesso à água para sociedade ao redor?

Neste trabalho, foi adotado o termo estrato antropocênico para descrever e corroborar que o resultado das ações antropogênicas no ambiente natural está de tal forma onipresente, a ponto de se tornar indivisível do cenário e, portanto, nele incorporado. Por exemplo as toneladas de microplásticos presentes nos sedimentos da Baía de Jiaozhou, que alteraram a dinâmica de sedimentação (ZHENG et al., 2020).

É inegável que a extração de recursos impacta a terra, uma vez que a remoção da cobertura vegetal para atingir o agregado, assim como as servidões (barragens, lagoas, acessos etc.), causam distúrbios nos ecossistemas. Não obstante, o uso de recursos naturais acompanha o processo civilizatório desde os primórdios da humanidade, por exemplo os minérios metálicos usados na fabricação de ferramentas e moedas, os não-metálicos como a argila e areia que serviram de cerne na edificação das cidades, e a água, próxima da qual as comunidades se instalaram e onde o adensamento urbano progrediu. A atuação humana se diferencia dos agentes naturais, pois vai além das leis físicas ou de mecanismos biológicos. A “agência humana” envolve relações de causa e efeito, processo e resultado, que culminam em um contexto complexo de ocorrências imponderáveis, sejam naturais ou culturais, levando sociedades a relacionarem-se de modo particular com os suportes ecológicos e paisagísticos e resultando em processos que reconfiguram a geologia e a geomorfologia (PELOGGIA, 2019). Dessa maneira, é importante entender como são as mudanças no ambiente no processo de declínio de um serviço ecossistêmico até que seja

exaurido, correlacionando-o com a geodiversidade (GARCIA, 2019), uma vez que existe uma relação intrínseca entre eles: a geodiversidade é a variedade de elementos abióticos da natureza, em diferentes escalas e distribuições na superfície terrestre e, conseqüentemente, determinante do serviço ecossistêmico fornecido (GRAY, 2013). O estudo do uso perene do serviço ecossistêmico denominado “Provisão da matéria prima areia” para construção civil, no presente trabalho é importante, pois traz a história evolutiva que modificou os usos da terra e culminou no atual cenário antropocênico e porque permite analisar os riscos à segurança hídrica e vulnerabilidades socioambientais trazidos à comunidade adjacente que, direta ou indiretamente, foi afetada por essa infraestrutura tecnológica durante mais de sete décadas.

Pereira (2019), estudou as interações entre geodiversidade e sistemas sócio-naturais, para antigas minas de diamante, no nordeste do Brasil, que são um exemplo de ambiente antropocênico ou capacidade humana de criar novos tipos de ambientes, relacionados a processos artificiais. Reverte et al. (2020) também avaliaram as perdas nos serviços ecossistêmicos de toda a Bacia de Taubaté, SP. No caso da geodiversidade da área de interesse deste estudo, onde ocorre depósitos aluvionares de areia para uso direto na construção civil, o processamento da areia ocorreu durante mais de setenta anos e foi o fator mandatório que interveio nos sistemas naturais. A análise do ambiente antropocênico também permite municiar a gestão de políticas públicas locais e serve de exemplo a outras áreas com similar elemento da geodiversidade.

Além disso, também é importante estudar os aspectos da geologia e da geodiversidade relacionados aos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS) (ONU-BR, 2017). Gill (2017) demonstrou a relevância da geologia para a realização dos 17 ODS através da correlação por uma matriz que permite visualizar o papel da geologia em prol de alcançar os ODS. Por exemplo, o ODS 6 relacionado à hidrogeologia, ODS 8 e 11 ao patrimônio geológico, minerais e agregados e o ODS 9 pertinente à geologia de engenharia, dentre outros.

Do exposto, este trabalho procurou observar se as medidas mitigadoras, compensatórias e de monitoramento, foram aderentes aos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável: ODS6 (Água Potável e Saneamento), ODS8 (Promover o crescimento econômico sustentado, inclusivo e sustentável, emprego pleno e produtivo e trabalho decente para todas e todos), ODS 9 (Construir infraestruturas resilientes, promover a industrialização inclusiva e

sustentável e fomentar a inovação) e ODS 11 (Tornar as cidades e os assentamentos humanos inclusivos, seguros, resilientes e sustentáveis (ONU-BR, 2017).

Para responder à questão científica, indicadores socioambientais foram levantados para identificar o padrão de serviços ecossistêmicos de “Provisão de matéria prima”, no cenário do encerramento de empreendimentos minerários. A área de estudo é delimitada por zoneamento, garantindo que a atividade de mineração contínua ocorresse de maneira invariável e sob regras legais uniformes, sendo assim possível estabelecer o nexo entre os indicadores e o cenário antropocênico. O estudo também possibilitou identificar a vulnerabilidade social da comunidade circunvizinha e os riscos tecnológicos à segurança hídrica desencadeados por este tipo de infraestrutura, na paisagem final consolidada.

A razão que levou à condução deste estudo foi a necessidade de compreender como a intervenção humana em uma geodiversidade composta por areia em depósitos aluvionares, aproveitada como agregado de uso direto na construção civil, sob regras legais idênticas de reabilitação do ambiente e em mais de sete décadas, modificou os serviços ecossistêmicos, remodelou a paisagem e trouxe riscos e vulnerabilidades ao ser humano. Além disso, a análise e interpretação desses novos serviços ecossistêmicos resultantes de modelados antropogênicos é relevante, uma vez que são registros que também podem vir a contribuir como marcadores para o estabelecimento da nova época do Antropoceno.

Os conceitos essenciais que dão embasamento ao estudo são apresentados em tópicos na revisão bibliográfica, procurando distinção e rigor no detalhamento antes de interconectá-los no estudo de caso do presente trabalho. São eles: Antropoceno, geodiversidade, serviços ecossistêmicos, indicadores, riscos tecnológicos, segurança hídrica e vulnerabilidade social.

Neste contexto, é plausível acreditar que os processos de encerramento de minas de areia induzem a profundas modificações na paisagem e transformam o cenário final de SE com características intrínsecas do antropoceno, além de trazer novos riscos para a sociedade.

### **1.1 Objetivo**

O objetivo deste estudo é avaliar se o encerramento do ciclo da mineração, em áreas de geodiversidade onde ocorre areia de depósitos aluvionares, usada como agregado direto na construção civil e regido por um modelo de licenciamento ambiental individualizado por empreendimento, que modificara os serviços ecossistêmicos e derivara em profundo

impacto no recurso hídrico devido à atividade extrativa, deixou a paisagem incorporada no estrato antropocênico e trouxe riscos intrínsecos e vulnerabilidade hídrica à comunidade circunvizinha.

Para atingir esse objetivo foram analisados os serviços ecossistêmicos no ambiente antropocênico resultantes da lavra de areia. O estudo foi conduzido utilizando-se indicadores socioambientais, aplicados aos depósitos aluviais quaternários, na área do Zoneamento Ambiental para Mineração de Areia, no subtrecho da bacia hidrográfica do Rio Paraíba do Sul, entre os municípios de Jacareí e Pindamonhangaba (delimitados na Resolução SMA nº 28/99, da Secretaria de Estado do Meio Ambiente de São Paulo). Para o alcance do objetivo, foram estabelecidas as seguintes metas:

- a) Levantar as situações de fechamento das minerações de areia na várzea do trecho paulista da Bacia do Rio Paraíba do Sul, observando o previsto nos cronogramas dos processos ambientais;
- b) Conceber variáveis socioambientais e lhes atribuir pontuação, para que reflitam o grau de importância do SE no encerramento das minerações de areia;
- c) Mapear o padrão de encerramento dos serviços ecossistêmicos no proveito da geodiversidade;
- d) Analisar a aderência entre as práticas de recuperação ambiental previstas e as medidas compensatórias almejadas nos ODS;
- e) Identificar estratégias de encerramento de minas que sustentam o fluxo de SE na paisagem conurbada;
- f) Estudar a vulnerabilidade social intercorrente do risco tecnológico trazido pelas infraestruturas das cavas inundadas e barragem de rejeitos das minerações;
- g) Desenvolver um indicador de vulnerabilidade hídrica, para compreender o risco de sociedades urbanas devido às interrupções abruptas no abastecimento causado por estas infraestruturas tecnológicas de cavas e barragens.

## **2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

Os estudos para embasar o estabelecimento da época do Antropoceno vêm ocorrendo por todo o globo terrestre, em diferentes áreas do saber. Essa diversidade de campos de investigação, traz também controvérsias quanto à efetividade dos registros e adiam o marco, que ainda não foi estabelecido. A abordagem deste trabalho considerou que a geodiversidade, onde ocorrem os depósitos aluviais arenosos do Quaternário explorados para serem usados diretamente na construção civil, é a premissa da mudança para um serviço ecossistêmico padronizado, tendo em vista que a classificação por este elemento da geodiversidade está definitiva e amplamente mapeada. Em virtude disto, o fator antrópico é a variável que precisa ser medida através de indicadores complexos, para se estabelecer o nexos com a área de estudo, pois permite entender como o componente humano foi a variante da ação e também o atingido pelos efeitos das alterações, haja vista que vulnerabilidades e riscos foram trazidos pela exaustão do serviço ecossistêmico. Com isso, buscou-se contribuir para a instituição do marco do Antropoceno e investigar como o novo cenário de serviços ecossistêmicos trouxe intercorrências ao ambiente e ao desenvolvimento sustentável das sociedades subsequentes, notadamente aqueles relacionados à água, haja vista a sua indiscutível importância para a vida na Terra. Por fim, compreender se os serviços essenciais à vida nesta nova paisagem foram garantidos e se as infraestruturas urbanas que se estabeleceram afetaram a segurança hídrica da área.

### **2.1 Antropoceno**

Atualmente vivemos na época do Holoceno, que corresponde a menos de 12.000 anos, dentro do período Quaternário, que possui cerca de 2,5 milhões de anos, conforme instituído na escala de tempo geológica (ICS, 2020). Embora a presença da espécie humana conste em aproximadamente 200 mil anos, foi no holoceno que a ação da humanidade se intensificou, causando mudanças comparáveis à processos naturais, que firmaram registros na crosta terrestre e mobilizaram a comunidade científica para discutir o estabelecimento da nova época geológica, no caso a Comissão Internacional de Estratigrafia, órgão que define o padrão global para a escala de tempo geológico e criou o Grupo de Trabalho do Antropoceno na Subcomissão de Estratigrafia Quaternária (ZALASIEWICZ et al., 2017b).

O termo antropoceno foi usado primeiro por Eugene Stoermer no final dos anos 80 e publicado em 2000 por Paul Crutzen, quando a divulgação foi ampliada por diversos

estudos apresentados sobre mudanças terrestres causadas pela ação humana e registros dessas atividades no ambiente, elementos básicos para que a Comissão Internacional de Estratigrafia considerasse instituir essa nova época (ZALASIEWICZ et al., 2017a; 2017b).

Waters et al. (2018) revisaram as análises de paleoambientes por datação absoluta em diferentes amostras, buscando marcadores estratigráficos do antropoceno, por exemplo, depósitos antropogênicos, espeleotemas e gelo, e os resultados apontaram para o ano de 1950±2 EC<sup>1</sup> (abundância de <sup>239</sup>Pu ou <sup>14</sup>C e declínio de δ<sup>13</sup>C), na maioria das amostras. Marcadores geoquímicos e isotópicos têm sido intensivamente aplicados em diferentes partes da Terra, para permitirem a correlação global como seção tipo, ratificando a formalização do antropoceno. O Grupo de Trabalho do Antropoceno recomendou que o ano de 1950 servisse de marco inicial do antropoceno, embasado na abundância e sincronia de registros globais e, além dos citados, também observaram outras mudanças terrestres no padrão de sedimentação como o recuo de geleiras (ZALASIEWICZ et al., 2017a) e isótopos de plutônio em amostras de solo decorrentes da bomba atômica lançada no Japão em 1945, dentre outros marcadores (ZALASIEWICZ et al., 2017b).

Não obstante todas as evidências encontradas, o Antropoceno ainda não está formalizado na Escala de Tempo Geológica (ICS, 2020). Estratótipos contendo tecnofósseis<sup>2</sup>, como os plastiglomerados (CORCORAN et al., 2013), plasticrostas (GESTOSO, et al., 2019) e antropoquinas (FERNANDINO et al., 2020) (Figura 2.1) são exemplos de paleoambientes correlacionáveis na crosta terrestre que podem contribuir para essa convenção. Cooper et al. (2018) também estudaram que o fluxo antropogênico de sedimentos pela extração mineral, pós a Segunda Guerra Mundial, ultrapassou o fluxo natural de sedimentos fluviais em meados da década de 1950, figurando como um importante agente de alteração geomorfológica antrópica. Todos esses são registros promissores para embasar, dentre poucos anos de investigação, o reconhecimento do marco inicial e institucionalização da época do Antropoceno (ZALASIEWICZ et al., 2017a).

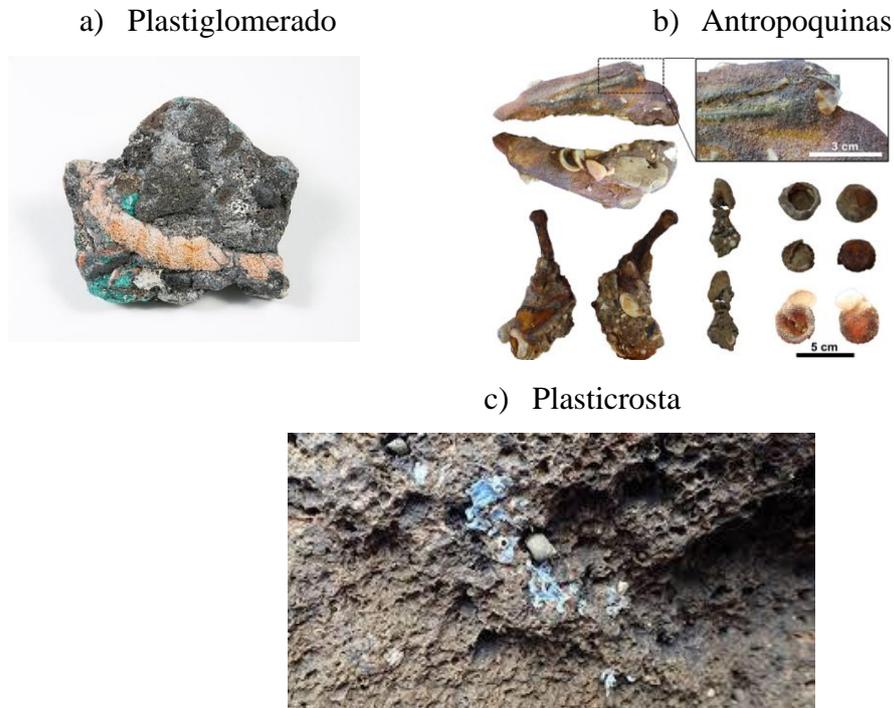
---

<sup>1</sup> EC ou Era Comum é o tempo medido a partir do ano primeiro no calendário gregoriano. É um termo alternativo para *Anno Domini*, do latim *no ano do (Nosso) Senhor*, ou Era Cristã. Fonte: [https://pt.wikipedia.org/wiki/Era\\_Comum](https://pt.wikipedia.org/wiki/Era_Comum)

<sup>2</sup> Fósseis são os vestígios mineralizados de indivíduos que viveram no passado. Por analogia, os tecnofósseis são os vestígios de objetos tecnológicos. Fonte: <https://pt.unesco.org/courier/2018-2/um-glossario-o-antropoceno>

## 2.2 Geodiversidade

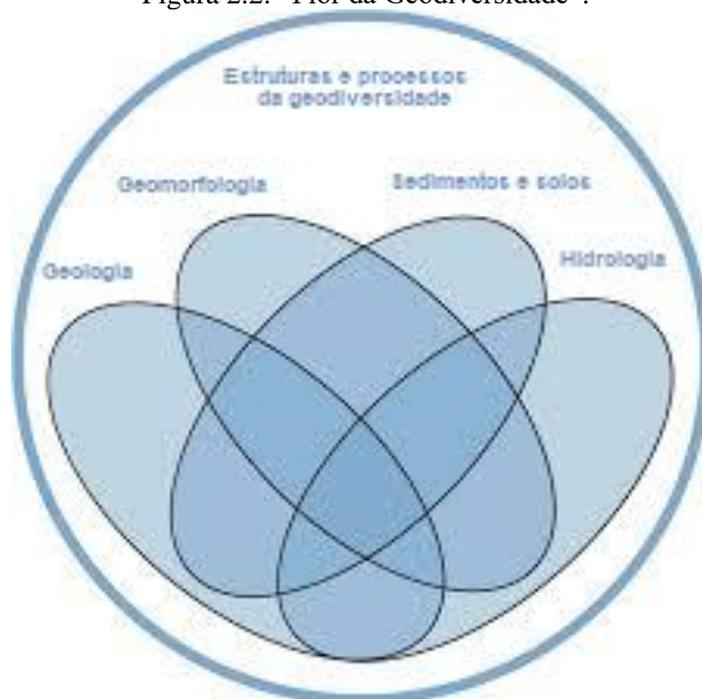
Figura 2.1: Estratótipos representantes do antropoceno.



Fonte: a) Corcoran et al. (2013). b) Fernandino et al. (2020). c) Gestoso et al.(2019).

A Geodiversidade é todo o meio físico do planeta, que compreende os recursos abióticos da natureza, como solos, rochas, depósitos superficiais, água e processos geológicos (CPRM, 2010). Gray, 2013 considerou que a geodiversidade é o vínculo e a interação entre os elementos naturais e a humanidade e proporciona estrutura para a vida na Terra, sustentando o patrimônio cultural, estético, econômico, científico, educativo e turístico. Fox et al.( 2020) entenderam a geodiversidade como uma plataforma física de funções ecológicas que produz e sustenta indiretamente os serviços ecossistêmicos (ES) através de nutrientes do solo a partir de minerais e água que sustenta a vida. É uma abordagem estruturada como a "Flor da Geodiversidade" (Figura 2.2), representando a importância de cada pétala da geodiversidade (geologia, geomorfologia, sedimentos e solo e hidrologia) individualmente e permitindo a interseção de outras pétalas para proporcionar maior clareza e identidade local a tomadores de decisão.

Figura 2.2: “Flor da Geodiversidade”.



Fonte: Fox et al. (2020).

Fox et al. (2020) também atualizaram o modelo em cascata que incorporava a geodiversidade e os serviços geossistêmicos (VAN REE E VAN BEUKERING, 2016; POTSCHIN-YOUNG et al., 2018) através do modelo *Geo-Echo Service Cascade*, incorporando as estruturas biofísicas como o principal condutor das múltiplas cascatas. A ideia mostrou que estas estruturas são a base para a integração holística entre geodiversidade e serviços geossistêmicos na estrutura de serviços ecossistêmicos.

Da ampla geodiversidade, derivam os serviços ecossistêmicos abióticos ou serviços geossistêmicos (GRAY 2011, 2013). Para Gray et al., 2013, o uso dos serviços ecossistêmicos ou proveito do capital natural da geodiversidade pela sociedade, fica registrado no quaternário e seu estudo permite entender as mudanças ambientais futuras e, uma vez integrado às abordagens sobre biodiversidade e demais setores de conservação da natureza, potencializa soluções sustentáveis.

O crescimento econômico dos países nas últimas décadas, particularmente aqueles em desenvolvimento, está associado à demanda por diferentes geodiversidades, destacados recursos minerais energéticos, materiais industriais e de construção (JAIN, 2016). A composição dos sedimentos e a distribuição dos depósitos terrestres superficiais impacta nas atividades humanas (MIL-HOMENS et al., 2016) e, uma vez que os depósitos ocorrem

em posições geográficas desiguais, traz vantagens aos países detentores do bem mineral e insegurança de matérias-primas para aqueles que não as possuem, deixando-os à margem do desenvolvimento econômico e obrigados a implementarem políticas nacionais de recursos minerais (DUBIŃSKI, 2013). Um exemplo é a Reforma da Mineração Indiana em 2015, que propôs o aproveitamento dos recursos minerais no desenvolvimento interno, vinculados ao crescimento econômico e social, através do uso de tecnologias digitais em rede nacional e com estruturas regulatórias, orientando o diálogo participativo entre os envolvidos e trazendo benefícios econômicos, sociais e ambientais ao povo (JAIN, 2016). Outro exemplo é a moratória para novas concessões de mineração de carvão, apresentada no Acordo de Paris pelos maiores produtores mundiais, China, E.U.A., Austrália e Índia, em prol de atingir metas quanto ao aquecimento global (*Intended Nationally Determined Contributions* - INDCs) que revelado pelas políticas minerais e interesses próprios de cada nação, como a proteção dos preços na indústria chinesa e preocupações fiscais no E.U.A., foi o que mudou de fato o rumo da atividade extrativa mundial, hoje já em franca expansão (BLONDEEL E VAN DE GRAAF, 2018).

Não obstante as perspectivas globais da mineração, a areia como as demais extrações, dependem das características da geodiversidade local e da magnitude da exploração (KOEHNKEN E RINTOUL, 2018; REIS E BARRETO, 2000). A maior exploração de areia do mundo está no lago Poyang, no Vale Yangtzé, China, onde a taxa de extração foi estimada em  $236 \times 10^6 \text{ m}^3 \text{ ano}^{-1}$  em 2005 e 2006 (DE LEEUW et al., 2010). A atividade levou a um desequilíbrio na sedimentação do rio Yangtzé, com o decréscimo na densidade de macroinvertebrados e aves migratórias (DE LEEUW et al., op. cit.; ZOU et al., 2019). Fliervoet e Van den Born (2017) também estudaram a gestão compartilhada entre governo e atores não-governamentais na utilização de diferentes recursos naturais do Rio Waal, Holanda, dentre eles a areia para construção civil. Verificaram que, embora justificassem de início que a intenção era manter a planície de inundação multifuncional, as demandas intrínsecas de cada setor mostraram que os empreendedores buscavam, na verdade, decisões públicas flexíveis que facilitassem o desenvolvimento de suas atividades, o que levou ao governo a cancelar a estratégia. Além disso, a natureza intrínseca da geodiversidade também dá diretivas nas alterações ambientais e na modificação dos serviços ecossistêmicos (GARCIA, 2019) de acordo com o tipo de extração, por exemplo, no estudo de Johnson et al. (2015) sobre o serviço geossistêmico de Provisão e Regulação de qualidade de água, na mina PR Spring, planalto de Tavaputs, U.S.A., foi verificado a

existência de conexão hidrológica entre a mineração de areias betuminosas e a qualidade da água das nascentes da planície, fonte de abastecimento para famílias, suporte da fauna silvestre e das atividades de recreação. Nessa mesma região, Peters et al. (2017), que analisaram o serviço ecossistêmico de Regulação da qualidade do ar mostraram sua ligação à aspersão de partículas provindas da mineração de areia propante, causando impacto em uma comunidade a 800 metros da extração.

Embora a geodiversidade esteja na base da história da evolução humana, as energias para a restauração do ambiente têm convergido para a biodiversidade, em detrimento aos elementos abióticos, desta forma uma perspectiva holística se faz necessária, considerando que a qualidade de vida da humanidade depende da utilização coerente e responsável de todos os elementos da natureza (BRILHA et al., 2018; PEREIRA, 2019). Para Zalasiewicz et al. (2017a) e Downs e Pyégay (2019), as evidências geomorfológicas precisam apresentar relações de causa-efeito das suas implicações cumulativas sobre os sistemas sociobiofísicos que coevoluem com a atividade humana, para permitir o entendimento da evolução da paisagem. Desta forma, verifica-se que as modificações promovidas pelos humanos sobre o sistema terrestre atingiram escala global, com dimensão comparável aos processos naturais (ZALASIEWICZ et al., 2017a; PEREIRA, 2019). Essas mudanças são relacionadas à achados estratigráficos, por exemplo, as antropoquinas, uma rocha sedimentar do hemisfério sul, que contém elementos antropogênicos cimentados à material biogênico e siliciclástico (FERNANDINO et al, 2020) e as plasticostas ou horizontes de detritos plásticos incrustados na superfície de rochas vulcânicas, no NE Atlântico (GESTOSO et al., 2019). As evidências indicam que estamos a ponto de já vivermos em uma nova época geológica, o Antropoceno, conforme estudos do Anthropocene Working Group, da Subcommission on Quaternary Stratigraphy (GRAY, 2019).

### **2.3 Serviços Ecossistêmicos (SE)**

Serviços Ecossistêmicos (SE), de forma simplificada, são os benefícios fornecidos pela natureza para o ser humano e são classificados por Duraiappah et al., (2005), Costanza et al. (1997) e Costanza et al. (2017), como de:

- a) Provisão: abastecimento de água, produção de alimentos, matérias-primas, recursos genéticos;
- b) Regulação: qualidade do ar, climática, desastres naturais, água, controle de erosão e retenção de sedimentos, formação de solo, tratamento de resíduos, polinização, controle biológico;

- c) Suporte: ciclagem de nutrientes, refúgios e
- d) Cultural: recreação e diversidade cultural.

Destarte, aqueles serviços correlacionados aos aspectos físicos, destacados pela ausência de vida, são os denominados Serviços Ecosistêmicos Abióticos ou Serviços Geossistêmicos, definidos como os benefícios da natureza abiótica à sociedade e foram classificados por Gray (2011, 2013, 2012, 2019), Gordon e Barron (2012) e Gray et al. (2013), como de:

- a) Provisão: alimento e água, nutrientes e minerais, combustíveis, materiais de construção, minerais industriais, produtos ornamentais e fósseis para venda;
- b) Regulação: processos atmosféricos e oceânicos, processos terrestres, regulação de inundações, regulação da qualidade da água;
- c) Suporte: processos do solo e solo para cultivo, fornecimento de habitats, terra e água como plataformas para atividade humana, aterramento para diferentes fins e armazenamento;
- d) Cultural: qualidade ambiental, geoturismo e lazer, associações cultural, espiritual e histórica, inspiração artística, desenvolvimento social e, o recentemente incluído,
- e) Conhecimento: história da Terra, história da pesquisa, monitoramento ambiental e previsão, investigação geoforense e educação e emprego.

No presente trabalho, dada a relação intrínseca entre a natureza dos serviços ecosistêmicos e serviços ecosistêmicos abióticos, serão tratados unicamente como Serviços Ecosistêmicos (SE).

## **2.4 Indicadores**

O uso de indicadores é importante, pois são instrumentos que permitem gerar entendimento sobre as condições locais e o bem-estar humano, através de medições numéricas ou estatísticas, monitorando sua evolução ao longo do tempo, fornecendo ampla aplicação na gestão de políticas públicas (EPA, 2018). O emprego de indicadores permite conectar informações da área de estudo com os fenômenos considerados críticos para o ambiente e expressá-los de forma simples e eficiente (EEA, 1999). Por exemplo, Le Clec'h et al. (2016) analisaram o indicador de razão de infiltração de água no solo, para obter informações sobre o SE de controle da erosão e regulação do ciclo da água. Redondo-Vega et al. (2017) estudaram indicadores ambientais na extração a céu aberto de cascalho,

ardósia e carvão, em 50 anos, no noroeste da Espanha e mostraram que a topografia foi desconstruída de forma irreversível, resultando em uma paisagem pós-mineração de cavas não preenchidas, campos de detritos e depósitos de resíduos. O estudo de indicadores ambientais de tipos de solo e funções do solo e água permitiram a Larondelle e Haase (2012) modelar e visualizar os SE em diferentes escalas geográficas, selecionando os SE de acordo com sua relevância, dados disponíveis e importância na paisagem e elaborando mapas, nos quais propuseram usos do solo baseados no suprimento de SE: mancha urbana, área de extração, terras aráveis, pastagens, florestas, floresta de transição e corpos d'água. Estes mapas evidenciaram o potencial de suporte de SE e permitiram otimizar o planejamento regional do manejo, além de avaliar a paisagem pós-mineração. Outro trabalho que serviu de subsídio aos tomadores de decisão e à sociedade foi o acompanhamento da variação temporal dos indicadores, para medir o progresso/retrocesso da sustentabilidade ambiental e dos recursos hídricos no Estado da Bahia (SUPERINTENDÊNCIA DE ESTUDOS ECONÔMICOS E SOCIAIS DA BAHIA, 2006).

Outrossim, os geoindicadores, ou medidas dos fenômenos de alteração dos processos na superfície terrestre (em áreas fluviais, costeiras, desérticas e demais áreas terrestres), são ferramentas precisas para o monitoramento e avaliação ambiental no curto prazo (aproximadamente 100 anos). Os geoindicadores permitem avaliar tanto os eventos catastróficos quanto alterações graduais do ambiente, evidentes em uma geração. Também podem ser relacionados às mudanças na paisagem, em escalas que vão de regionais à globais, fornecendo linhas de base para o entendimento entre os eventos naturais e os induzidos pelo homem. São medidores estabelecidos pela *International Union of Geological Sciences* que permitem subsidiar a elaboração de relatórios sobre o estado do ambiente e o monitoramento ecológico (BERGER, 1997).

Coltrinari (2001), além de utilizar os geoindicadores para a compreensão do ambiente terrestre, o monitoramento ambiental da dinâmica e a integridade dos ecossistemas, descreveu como as atividades antropogênicas atuam como tensões externas e modificam os limites de estabilidade do ambiente. Através dos geoindicadores, propôs procedimentos para quantificar as alterações naturais e humanas e para determinar modificações no passado recente, na região tropical brasileira.

A extração mineral a céu aberto impacta fortemente a paisagem e o retorno às condições pretéritas é remoto, desse modo o uso de indicadores tem sido muito comum na avaliação e recuperação de áreas degradadas, através de estudos do impacto social da mineração e valoração dos serviços ecossistêmicos nas áreas circunvizinhas (GASTAUER et al., 2018; QIAN et al., 2018; MANCINI E SALA, 2018). Indicadores são importantes instrumentos aplicados ao planejamento e gestão territorial, pois permitem investigar como foi o desenvolvimento da lavra e as medidas ambientais aplicadas prevendo os efeitos na paisagem final, ou seja, se houve o desenvolvimento sustentável da mineração até o encerramento da mina e, conseqüentemente, modificações nos serviços ecossistêmicos (DUBIŃSKI, 2013, QIAN et al., 2018).

### **2.5 Segurança hídrica, riscos tecnológicos e vulnerabilidade social**

O acesso a água potável é direito do ser humano (ONU-BR, 2009). O Objetivo do Desenvolvimento Sustentável nº 6 dita que o direito à saúde, alimentação e bem-estar deve ser assegurado (ONU-BR, 2009; 2017) e o emprego de indicadores para medir o acesso aos serviços de água e saneamento são eficazes instrumentos de monitoramento. Por exemplo, indicadores de não discriminação dos direitos humanos, igualdade no acesso à água e saneamento utilizados por Amjad et al. (2014), serviram para orientar metas governamentais e implementação de políticas públicas. O debate foi produto da conferência promovida pela o Instituto da Água da Universidade da Carolina do Norte e o Escritório do Alto Comissariado das Nações Unidas para os Direitos Humanos, Chapel Hill, EUA, em 4 de outubro de 2011.

A observação de realidades regionais no direito à água e saneamento auxiliam no entendimento da vulnerabilidade e desigualdades globais. Dois cenários regionais que refletem as disparidades mundiais, por exemplo, foram o uso de indicadores biofísicos e socioeconômicos para favelas de Calcutá, Índia mostrando as provisões de higiene e segurança hídrica em áreas urbanizadas (MUKHERJEE et al., 2020) e o fornecimento irrestrito de água e esgoto em Portugal, mesmo na inadimplência do pagamento ou a instituição pouco clara de um marco legal (LOPES, 2020).

Para compreender vulnerabilidade hídrica social é preciso estudá-la sob diferentes pontos de vista. À vista disso, Lavkulich e Ulazzi (2008) afirmaram que a premissa para estudar a vulnerabilidade da população no acesso à água é reconhecê-la tanto como líquido integrador da natureza quanto recurso em prol do bem estar humano. Para Anazawa (2012),

a vulnerabilidade vai além da exposição e resiliência da população ao risco e reconsidera a dinâmica do território e suas relações sociais, tratando o local de residência como recurso comum, indivisível e altamente relevante para a segurança e bem-estar das famílias. Outrossim, Brouwer et al. (2007) consideram a vulnerabilidade social como produto entre infraestrutura disponível e atributos da pobreza e risco à saúde e, secundariamente, relacionada ao risco ambiental.

Embora as infraestruturas produtivas tenham evoluído com os avanços tecnológicos, elas migraram ou mesmo foram integradas às cidades no processo de conurbação, trazendo consigo não só os benefícios, mas também os riscos decorrentes, os quais ultrapassaram os limites das instalações e atingem o ambiente e sociedade além muro (PORTO E FREITAS, 1997). O adensamento urbano da população também trouxe o aumento de instalações individuais de servidão de água por residência (HOPE E ROUSE, 2013). Anazawa, 2012 reconheceu as características geotécnicas, vias de acesso e distância e condições de infraestruturas que representem ameaças, como as barragens, como exemplo de riscos tecnológicos. Diante disso, os riscos tecnológicos das infraestruturas produtivas podem comprometer a segurança hídrica e precisam ser considerados e estudados para avaliar a vulnerabilidade social.

Risco é a possibilidade de ocorrer um acidente e evento é o fato que ocorreu, mas onde não se teve registro de consequências econômicas e sociais graves relacionadas a ele (AMARAL E CERRI, 1998), ou onde a condição inicial voltou rapidamente. Riscos tecnológicos abrangem uma ampla gama de agentes e causas (VEYRET, 2007). O histórico de desastres tecnológicos causados por barragens, em especial aquelas relacionadas à mineração é significativo no Brasil e envolvem impactos sociais, econômicos e ambientais incalculáveis com mortes de pessoas, destruição da fauna e flora, perdas de moradias e bens, poluição, prejuízos à saúde e áreas degradadas que levarão décadas para se recuperarem (VORMITTAG et al., 2018). Em contraponto, Vörösmarty et al. (2010) analisaram o risco à segurança hídrica humana e à biodiversidade em escala mundial, constatando que as infraestruturas tecnológicas de gestão e manejo dos recursos hídricos, como barragens e tratamento de esgotos, são instalações que aumentam a segurança hídrica de uma região. O fornecimento de água potável assim como a segurança hídrica ficam comprometidos, se a água atinge seu limite de suporte de uso, capacidade de carga ou se comprovada a contaminação no sistema de distribuição (COOK E BAKKER, 2012; RAVAR et al., 2020). À vista disso, é importante analisar a vulnerabilidade social de

comunidades expostas ao risco tecnológico, em diferentes dimensões de infraestruturas produtivas e na ocorrência de acidentes para compreender a segurança hídrica, a qual foi definida por Grey e Sadoff (2007) como a água disponível em quantidade e com qualidade para a saúde, subsistência de ecossistemas e produção de alimento em um nível aceitável de riscos a ela vinculados, para a população, ambiente e economia.

A percepção do risco e o enfrentamento da crise são dados complexos para serem refletidos por indicadores de vulnerabilidade social. Por exemplo, Rufat et al. (2015) incluíram dados da dimensão de acidente e do cenário regional como: geografia, grau de exposição, escalas de impactos, fase do desastre e condições sociais, culturais, econômicas e políticas pré-existentes, para compreender o contexto e medir a vulnerabilidade à inundação. Renn e Benighaus (2013) trataram indicadores físicos, informações sobre os prejuízos na utilização da tecnologia e a formação de juízo de valor sobre seriedade e aceitabilidade do risco tecnológico, com base em fatores psicológicos, sociais e culturais.

A vulnerabilidade de sociedades urbanas a eventos que produzem interrupção de seu funcionamento normal e as colocam em risco, é frequentemente expressada através de indicadores (LUNDIN E MORRISON, 2002). Indicadores de vulnerabilidade social, podem ser aplicados para identificar a vulnerabilidade da população, sob o ponto de vista econômico, familiar e de mobilidade, mapeando grupos que se destacam quanto à dificuldade de acesso a água não provinda do abastecimento público. Indicadores também têm potencial preditivo, porque consideram as reordenações internas como consequência de forças externas, sendo importantes para descrever a sustentabilidade de sistemas para decisões político ambientais (SICHE et al., 2007) sendo que o processo de comunicação precisa ser simples e objetivo para o subsídio às políticas públicas, tanto para os tomadores de decisão, quanto para o público. Para Hammond et al. (1995), a construção de indicadores implica em um conjunto de suposições que relacionam o indicador com fenômenos complexos, como por exemplo, o código de cores do indicador de Resiliência ao Abastecimento de Água, desenvolvido por Milman e Short (2008), que incorporaram indicadores de resiliência aos de sustentabilidade para medir a capacidade do sistema em manter ou melhorar o percentual da população com acesso a água potável. Okkan e Kirdemir (2018) também utilizaram indicadores para analisar a resiliência, sustentabilidade e capacidade de resposta de reservatórios utilizados na irrigação agrícola. CETESB (2017) considera o Índice de Qualidade das Águas (IQA), que fornece a condição de qualidade das águas superficiais através das variáveis Temperatura da Água, Oxigênio Dissolvido,

Demanda Bioquímica do Oxigênio, Coliformes Termotolerantes/E. coli, pH, Turbidez, Fósforo Total, Nitrogênio Total e Sólidos Totais.

### 3. MÉTODO

O método para avaliar o encerramento do ciclo da mineração de areia, aqui empregado, foi através do levantamento de indicadores/variáveis em processos de licenciamento ambiental de empresas de mineração de areia bem como de fontes públicas de dados censitários, considerando áreas de geodiversidade representada pela areia em depósitos aluvionares, com aptidão uso como agregado direto na construção civil e onde ocorreu a aplicação de mesmas regras legais, delimitadas pelo Zoneamento Ambiental para a Mineração de Areia, na bacia do rio Paraíba do Sul.

Embora o uso do Serviço Ecossistêmico de Provisão começasse no século XVI, com a retirada de Pau-Brasil e o Serviço Ecossistêmico de Provisão de matérias primas para construção tenha iniciado a pouco mais de sete décadas, a planície de inundação carece ser estudada sob uma nova perspectiva antropocênica, isto é, do uso destes serviços ecossistêmicos (SE).

#### 3.1 Área de estudo

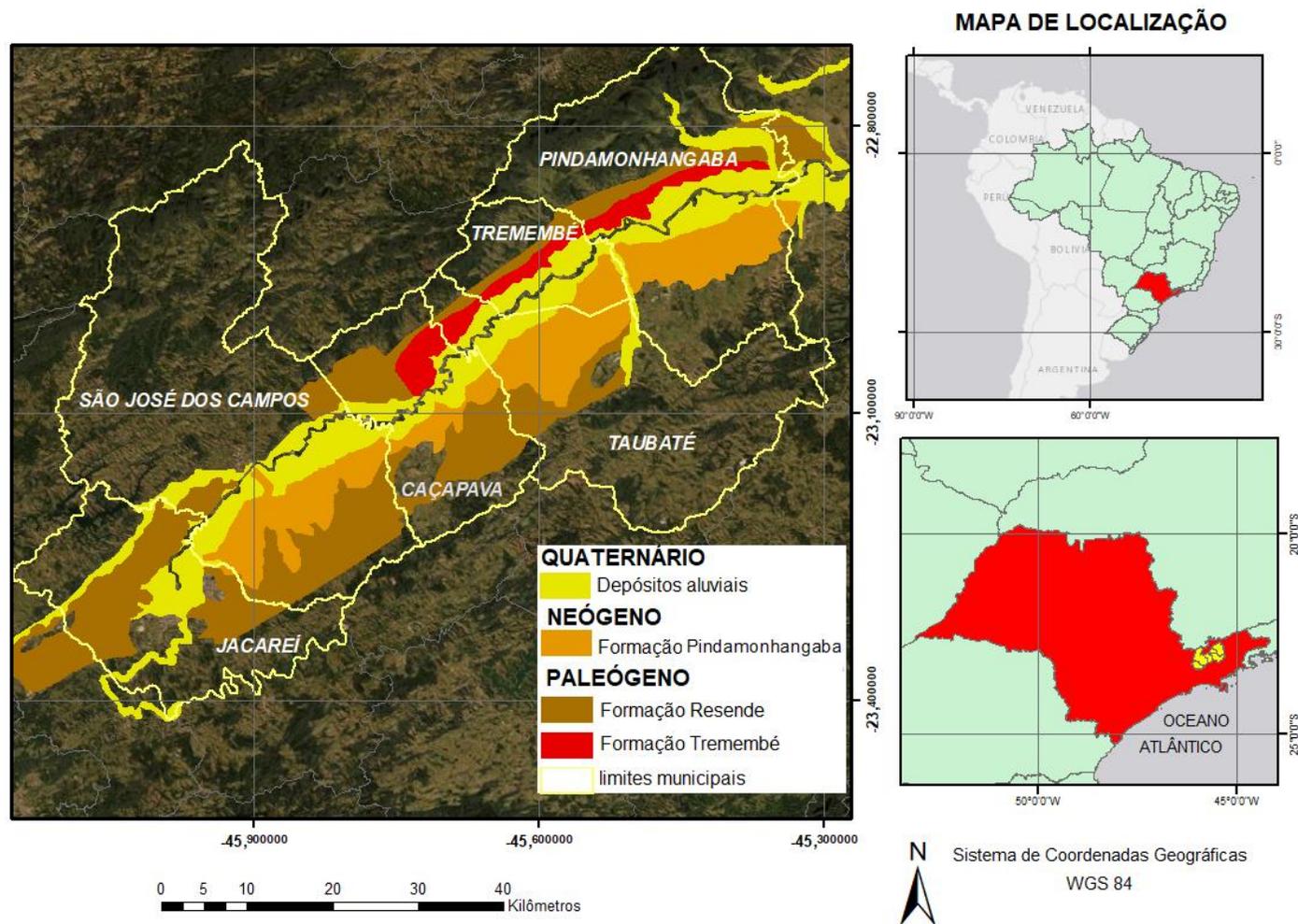
A área geográfica coberta por este estudo encontra-se no interior do Zoneamento Ambiental para Mineração de Areia, delimitado por Resolução estadual, no subtrecho da bacia hidrográfica do Rio Paraíba do Sul, entre os municípios de Jacareí e Pindamonhangaba, SP, notadamente nos depósitos aluviais Quaternários (Figura 3.1).

Ainda que os aluviões Quaternários prevaleçam, toda a geologia e respectivos elementos da geodiversidade ocorrentes na área de estudo está apresentada na Figura 3.1. Às unidades geológico-ambientais de depósitos arenosos Quaternários, de planícies aluvionares recentes estão interdigitados sedimentos Neógenos e Paleógenos arenosos, lacustres e flúvio-lacustres, associados a Tabuleiros e Tabuleiros dissecados, além de calcáreos com intercalações síltico-argilosas da Bacia de Taubaté - Formação Tremembé, Resende e Pindamonhangaba. São áreas de relevante interesse mineral devido à potencialidade do uso da areia como agregado na construção civil, haja vista que 68,96% do mercado consumidor nacional de areia é para tal finalidade (ANM, 2018).

Também se destaca o potencial geoturístico dos sítios paleontológicos, onde foi encontrado o *Physornis brasiliensis sp.*, fóssil endêmico da Formação Tremembé (ALVARENGA, 1982). No que se refere ao risco geológico, são terrenos muito planos e baixos, sujeitos ao

abatimento, devido à baixa capacidade de suporte dos sedimentos e suscetíveis a enchentes e inundações sazonais (RICCOMINI et al., 2004; CPRM, 2010; RAMPANELLI et al., 2011).

Figura 3.1: Mapa da geologia ocorrente na área de estudo e posição relativa no Estado de São Paulo e no Brasil. Delimitada no mapa da geodiversidade do Estado de São Paulo, destacando o Quaternário como área de relevante interesse mineral pelo potencial para extração de areia.



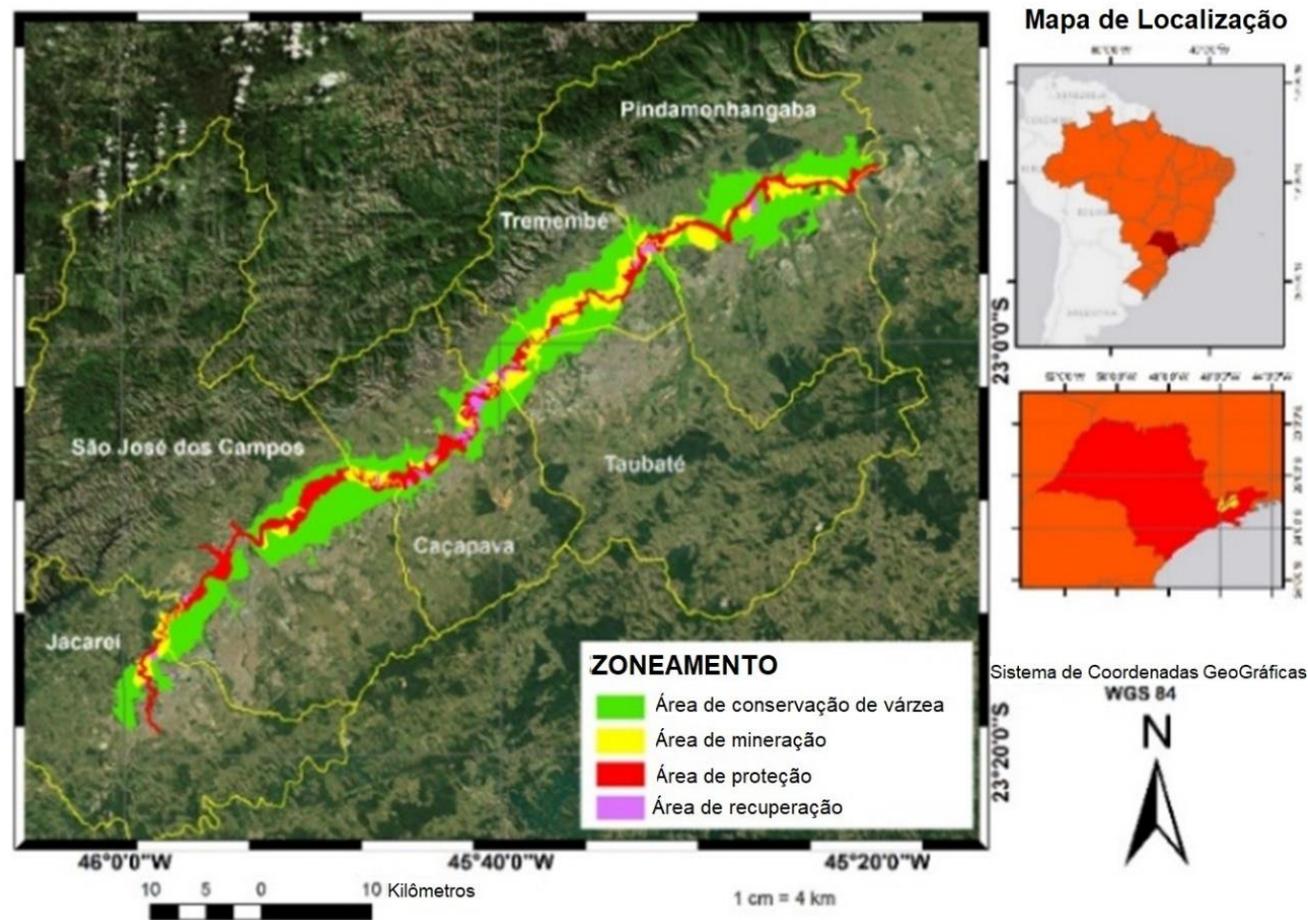
Fonte: Adaptado de CPRM (2010).

O elemento da geodiversidade local abastece a Região Metropolitana de São Paulo com areia desde 1949 e está dentro da bacia do rio Paraíba do Sul, na região sudeste do Brasil. A extração começou com a instalação das primeiras mineradoras, na planície de inundação, para atender ao consumo local e seu crescimento urbano (SAUSEN, 1988; ACHÉ, 1991; BAUERMEISTER, 1996; SANTO E SÁNCHEZ, 2002; MACEDO et al., 2003; SÃO PAULO, 2009). Em 1969 a extração mineral se deu dentro do leito do rio Paraíba do Sul, licenciada pelo extinto Departamento Nacional de Obras e Saneamento (BAUERMEISTER, 1996), onde a areia era comercializada em contrapartida à demanda do governo para retificação das margens, desassoreamento e atenuação dos alagamentos da várzea. A partir da década de 80, a legislação ambiental se consolidou e passou a ser regida pelos Estados, no caso pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo/Secretaria de Infraestrutura e Meio Ambiente, em conjunto com federação, pela Agência Nacional de Mineração. Os empreendimentos, então reunidos no Zoneamento Ambiental para Mineração de Areia, se instalaram nos pôlderes do rio Paraíba do Sul, área vulnerável, e de proteção permanente. Essa área está inserida na Mata Atlântica, um dos biomas mais ameaçados do mundo, afetado desde a colonização pelo extrativismo da madeira e desde 1960, pela franca expansão da monocultura de *eucalyptus sp* (CARRIELLO et al., 2016).

A abrangência do Zoneamento Ambiental para Mineração de Areia é regida pela Resolução estadual nº 28/1999 (SÃO PAULO, 2008), encontrando-se dentro da Região Metropolitana do Vale do Paraíba e Litoral Norte, abrangendo seis municípios: Jacareí, São José dos Campos, Caçapava, Taubaté, Tremembé e Pindamonhangaba e está apresentado na Figura 3.2. Esta é uma das mais densamente populadas regiões do país, sendo que o vale do Paraíba do Sul conecta as duas maiores metrópoles do Brasil, São Paulo e do Rio de Janeiro. Essa região, com população estimada em 2018 de 1,5 milhões de habitantes (IBGE, 2010), destaca-se nacionalmente pela atividade econômica diversificada e produção industrial altamente desenvolvida (EMPLASA, 2019).

O elemento da geodiversidade é o vetor da modificação da paisagem, porque sua natureza intrínseca orienta o usufruto dos serviços geossistêmicos pela atividade humana. Um mesmo elemento da geodiversidade tem o potencial de refletir cenários de SE similares no fechamento em outras regiões, ainda mais se unificada sob as mesmas regras legais de recuperação ambiental e em formato de zoneamento.

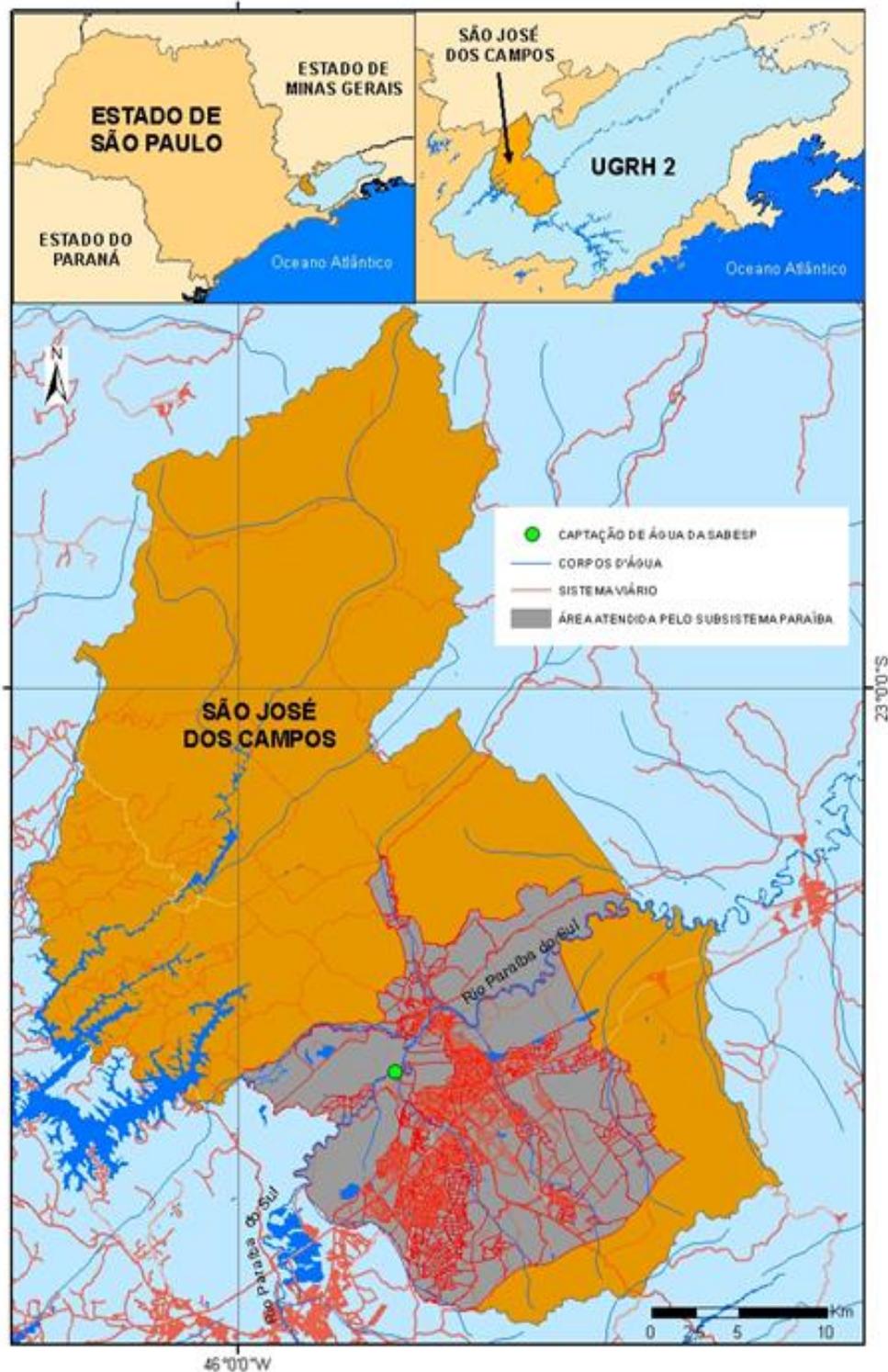
Figura 3.2: Mapa de delimitação da área do Zoneamento Ambiental para Mineração de Areia e posição da área em relação ao Estado de São Paulo e Brasil. Elaborado a partir do *Shapefile* fornecido pela Secretaria de Infraestrutura e Meio Ambiente do Governo do Estado de São Paulo.



Fonte: Adaptado de São Paulo (2019).

Dentre os municípios abrangidos, a cidade de São José dos Campos se destaca por ser a mais densamente povoada e desenvolvida em relação aos demais municípios e também por proibir a atividade mineral em seu território desde 1991 (PMSJC, 1991). Essa região urbana caracteriza-se como polo tecnológico, contando com institutos de pesquisa e universidades públicas e alta industrialização nos setores aeroespacial, bélico e eletrônico (SOUZA E COSTA, 2009). Entre os 28 municípios que captam água da Bacia do Rio Paraíba do Sul, São José dos Campos caracteriza-se como município de médio porte e é o que tem a maior população abastecida e o seu sistema de fornecimento de água está projetado para cerca de 750.000 habitantes e subdividido em três subsistemas: Paraíba ou Sede, que é o principal alimentador, Eugênio de Mello e São Francisco Xavier. O Subsistema Paraíba, objeto deste trabalho, mostrado na Figura 3.3, tem capacidade de produção de  $2.626 \text{ ls}^{-1}$ , sendo  $1.900 \text{ ls}^{-1}$  do Rio Paraíba do Sul,  $12 \text{ ls}^{-1}$  do Rio das Couves e demais  $714 \text{ ls}^{-1}$  de 48 poços tubulares profundos, contando com aproximadamente 1.699 km de adutoras e redes de distribuição e atendendo a 172.573 ligações ativas de água potável (PMSJC, 2012).

Figura 3.3: Geolocalização da área urbana de São José dos Campos, captação de água para abastecimento público no rio Paraíba do Sul e área do Subsistema Paraíba, na UGRHI 02.



Fonte: Adaptado de SMA (2011)

Os sistemas urbanos dependem das reservas minerais, ou seja, de SE de Provisão de materiais de construção, para sua subsistência e desenvolvimento e a geodiversidade, influencia o fluxo de entrada e saída de insumos que os sustentam, uma vez que os materiais de construção são elementos para as edificações, que são habitats construídos de estruturas físicas complexas, que suportam a vida nas cidades (ADLER E TANNER, 2015). Considerando que para o cálculo do potencial arenífero é necessário contabilizar distanciamento ao centro consumidor e demanda mercadológica do agregado (MACEDO et al., 2003; BAUERMEISTER, 1996), a distância entre a reserva e as cidades precisa ser a menor possível, evitando outras demandas de SE, por exemplo, de combustíveis. Do apresentado, a reserva do Zoneamento está situada em uma região estratégica para o abastecimento.

### **3.2 Levantamento das variáveis socioambientais**

O levantamento de variáveis socioambientais foi realizado através de pesquisa em documentos públicos, especificamente do Relatório de Controle Ambiental/Plano de Controle Ambiental ou Plano de Recuperação de Áreas Degradadas (REIS et. al., 2012), que é o equivalente da Avaliação de Impacto Ambiental/ Relatório de Impacto Ambiental (EPA, 2018) e onde são descritas as orientações para a obtenção da licença ambiental para que as mineradoras se instalem e operem suas áreas.

A compilação dos dados das variáveis socioambientais foi efetuada analisando-se 290 processos, correspondentes a 83 empreendimentos minerários do Zoneamento Ambiental para Mineração de Areia (SÃO PAULO, 2009; SÃO PAULO, 2008; SÃO PAULO, 2012), arquivados nas agências Regionais da CETESB em São José dos Campos e Taubaté, setores de licenciamento locais da Secretaria de Infraestrutura e Meio Ambiente, entre maio e outubro de 2019.

Os arquivos em formato *shapefile* do Zoneamento Ambiental para Mineração de Areia foram obtidos junto à coordenadoria da Secretaria de Infraestrutura e Meio Ambiente (São Paulo, 2019), os arquivos de delimitação das poligonais requeridas junto à Agência Nacional de Mineração, foram obtidos do Sistema de Informações Geográficas da Mineração (ANM, 2018) e os dados nacionais foram retirados do Núcleo de Economia Regional e Urbana da Universidade de São Paulo (NEREUS, 2019).

As variáveis levantadas, do tipo ambiental *Reflorestamento com vegetação nativa*, *Qualidade do solo*, *Análise de qualidade da água* e *Instalações da mina* foram desenvolvidas a partir das propostas de recuperação ambiental das cavas de areia, declaradas no Relatório de Controle Ambiental/Plano de Controle Ambiental ou Plano de Recuperação de Áreas Degradadas. As variáveis do tipo socioeconômico, *Multa* e *Porte econômico*, foram retiradas dos processos e dos contratos sociais, respectivamente. As variáveis foram escolhidas em função de seu potencial em ilustrar a modificação do SE quando do encerramento da mineração e foram quantificadas em números de ocorrência por empreendimento.

Neste estudo, também foram carregadas cópias heliográficas de mapas de 1969 em ambiente de SIG e intercruzadas imagens de 1997, 2005, 2014, 2016 de sobrevoos e drones disponibilizadas pela CETESB de São José dos Campos, com inspeção visual básica de imagens de satélite do *Google Earth* (SHEPPARD E CIZEK, 2009; TAYLOR E LOVELL, 2012), o que contribuiu para compor o indicador do padrão de encerramento das cavas de areia e a criação dos mapas, ilustrando o cenário final dos SE.

### **3.3 Método de Análise Hierárquica (AHP)**

Para fundamentar a escolha das variáveis socioambientais, um questionário (Apêndice A) foi submetido para especialistas, que são profissionais da área da mineração, licenciamento e pesquisa, e que se conectaram direta e indiretamente com a mineração de areia pertencentes a distintos perfis de usuário do rio Paraíba do Sul. A pesquisa foi aprovada pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Metodista de São Paulo – (CEP/UMESP), cadastrada no número CAAE 28746519.7.0000.5508, parecer número 3.980.014.

Destarte, foi aplicado o método AHP para corroborar a escolha das variáveis e lhes atribuir grau de importância. O método é uma análise multicritério, que diminui a subjetividade e aumenta a eficiência na tomada de decisão, porque divide, de forma hierárquica, um problema complexo em outros mais simples (SAATY, 1991). O problema complexo/pergunta maior foi: “qual variável é mais importante para uma mineração de areia em fase de encerramento de atividades possuir, para recuperar os serviços ecossistêmicos do local?”. A resposta a essa pergunta foi obtida pela construção de uma matriz paritária entre as variáveis, conforme preconiza o método AHP, onde os especialistas da área de mineração consultados julgaram e atribuíram pesos através de uma



### 3.5 Construção do mapa da Reserva da Geodiversidade do Cinturão Quaternário (RGCQ)

A geração do Mapa da Reserva da Geodiversidade do Cinturão Quaternário – RGCQ foi através da aplicação da densidade de Kernel (SILVERMAN, 1986) aos valores da pontuação obtida na ESEE por empresa, de onde se planificaram os raios de semelhança de SE no encerramento pelo software ArcGIS.10.2©.

A densidade de Kernel é uma função estatística de densidade que descreve o nexo de uma variável aleatória tender a um certo valor e que suaviza os dados de uma população de amostra finita (SILVERMAN, 1986) (Equação 3.2), ou seja, a função de Kernel (K) suaviza a forma das protuberâncias ou pontos maiores da população adjacente

$$\hat{f}(x) = \frac{1}{nh} \sum_{i=1}^n K\left(\frac{x-X_i}{h}\right) \quad (3.2)$$

Onde:

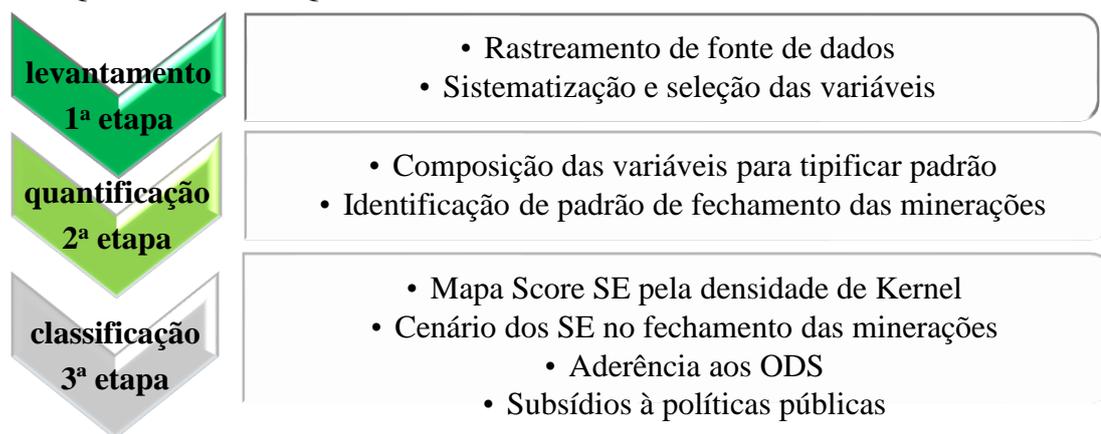
$\hat{f}$  = função f de densidade desconhecida

h = largura da banda ou parâmetro de suavização que controla a influência dos vizinhos em um kernel

K = estimador kernel ou soma de maiores pontos observados

A aplicação da função de kernel, permitiu sobrepôr a pontuação de SE no encerramento de cada empresa em um ponto, dentro da área do Zoneamento Ambiental para Mineração de Areia para desenhar o raio de influência de cada uma (SILVERMAN, 1986.; FORTE et al., 2018). Para a concepção do mapa foram estabelecidas três etapas, descritas na Figura 3.4. A contabilização da recorrência dos serviços ecossistêmicos por empresa e projeção no mapa intentou verificar o cenário padrão de SE no encerramento das minerações e também se estes foram aderentes aos ODS, em prol de dar subsídios à políticas públicas.

Figura 3.4: Etapas realizadas para a construção do mapa da Reserva da Geodiversidade do Cinturão Quaternário – RGCQ.



Fonte: Produção do autor.

### 3.6 Criação do Índice de Vulnerabilidade Hídrica Social Urbana (IVHSU)

O Índice de Vulnerabilidade Hídrica Social Urbana foi construído para verificar se o ciclo da mineração de areia, além de modificar os SE no encerramento também trouxe riscos devido às infraestruturas das cavas inundadas, que se tornaram perenes na paisagem. Mapeou-se a alteração na dinâmica das famílias num evento de interrupção de fornecimento de água da rede pública, causado pelo rompimento de uma barragem, através de um estudo de caso em São José dos Campos, cidade dentro do zoneamento da área de estudo. A ocorrência foi à montante da captação de água no rio Paraíba do Sul para o abastecimento público de São José dos Campos e provocou a paralisação no fornecimento para 75% da população da área urbana desta cidade, por mais de 30 horas (VAZAMENTO..., 2016), devido a valores acima do permitido do Índice de Qualidade de Água (IQA) para os parâmetros ferro e alumínio, além do aumento da turbidez visível pelos sedimentos que atingiram o rio, todos monitorados na água (CETESB, 2017; SIGA-CEIVAP, 2017; ANA, 2018).

A cidade de São José dos Campos, que está abrangida pelo Zoneamento Ambiental para Mineração de Areia, é a mais densamente povoada e desenvolvida dos demais municípios inseridos e está localizada na Unidade de Gestão de Recursos Hídricos – UGRHI 02, na Bacia do Rio Paraíba do Sul. As bases cartográficas do município foram obtidas do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2010) e a localização dos pontos de captação para abastecimento público foi obtida junto ao Departamento de Águas e Energia

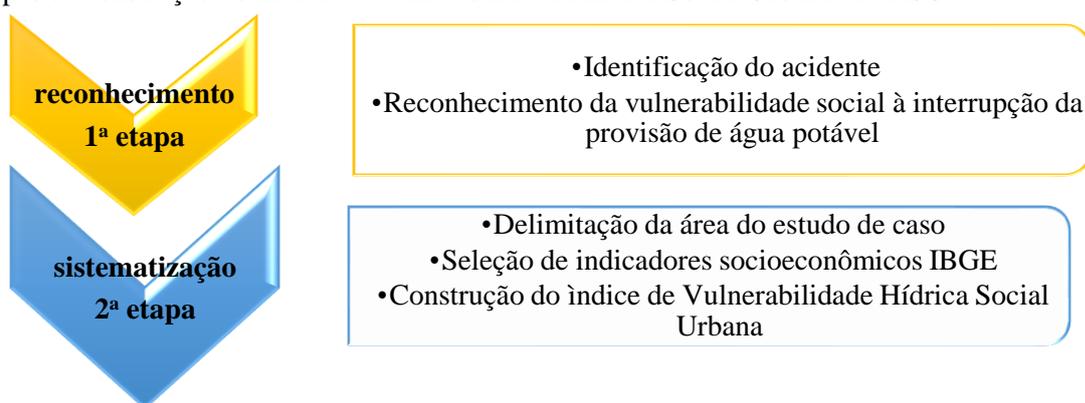
Elétrica (DAEE, 2017) e foram mostrados na Figura 3.3. Para análise da vulnerabilidade hídrica dos moradores da área urbana, o estudo considerou o processo de urbanização de São José dos Campos dividido por Regiões geográficas Central, Norte, Sul, Leste, Oeste e Sudeste e a abordagem de Costa e Maria (2010) por loteamentos tipo A, B, C, D e chácaras, onde A são os lotes de maior tamanho e infraestrutura, diminuindo até D e as chácaras têm regras específicas de dimensionamento e exigências.

### 3.6.1 Cálculo do IVHSU

O Índice de Vulnerabilidade Hídrica Social Urbana– IVHSU foi desenvolvido para estudar se a infraestrutura tecnológica perene, característica de muitas paisagens antropocênicas, tais como as cavas inundadas ou barragens de sedimentação das empresas de mineração, promovem vulnerabilidade ou risco à segurança hídrica para a comunidade vizinha.

Para a formulação do IVHSU, foram selecionados indicadores socioeconômicos obtidos dos setores censitários de 2010 e elaboradas equações lineares para gerar uma escala de 0 a 1, onde o maior valor representasse a condição de maior vulnerabilidade. A fonte de captação de água para abastecimento público foi também georreferenciada e ambos projetados na base cartográfica da cidade. Na análise, também foram pesquisados comentários de cidadãos levantados em rede social, buscando investigar o impacto imediato do evento na comunidade atingida. As etapas de construção do IVHSU são descritas na Figura 3.5.

Figura 3.5: Etapas da construção do Índice de Vulnerabilidade Hídrica Social Urbana– IVHSU.



Fonte: Produção do autor.

Para o cálculo do IVHSU, foram construídos indicadores socioeconômicos elaborados a partir dos dados censitários de 2010, considerando-se 871 setores censitários de São José dos Campos, de acordo com a malha censitária de 2010 (IBGE, 2010). Também foram

analisados mais de 1300 comentários de cidadãos, feitos na rede social *Facebook* da Prefeitura de São José dos Campos (PMSJC, 2016), buscando rastrear manifestações sobre a situação dos bairros atingidos. Para a análise e levantamento de dados na construção do IVHSU foram preliminarmente estabelecidos dois domínios, o econômico e o social.

No domínio econômico, a variável Renda Média do Responsável por Domicílio foi criada para compor um indicador que considerasse a renda por domicílio, sob o ponto de vista de que quanto menor a renda do domicílio, maior seria a dificuldade em enfrentar interrupções na oferta de serviços públicos, haja vista que o orçamento seria certamente onerado, principalmente com a compra de água e recipientes. O cálculo foi através da razão entre a variável Pessoas Responsáveis por Domicílios Particulares Permanentes (código IBGE - V001\_6.1) e a variável Valor do Rendimento Nominal Médio Mensal das Pessoas Responsáveis por Domicílios Particulares Permanentes (com e sem rendimento, código IBGE - V005\_6.1) (IBGE 2010), apresentados na Tabela 3.2. Para enquadrar os domicílios na classificação de rendas baixas ou muito baixas foi estabelecido como referência o valor de R\$ 1.530,00 (US\$392,62), ou três salários-mínimos vigentes em 2010 (Brasil, 2010).

Para o domínio social foram utilizados dois indicadores: Mulheres Chefes de Família e Relação de Dependência de Crianças e Idosos. Para o primeiro indicador, calculou-se o percentual de Responsável pelo Domicílio Mulheres (código IBGE-V001\_6.4) em relação ao Total de Pessoas Responsáveis (código IBGE-V109\_6.5). Para Relação de dependência de crianças e idosos foram somadas as variáveis Menores de 10 anos (código IBGE- V022, V035 à V044) com a variável Idosos - Maiores de 60 anos (código IBGE- V094 à V134\_6.16), então estabelecidos como pessoas dependentes e calculado o percentual em relação ao total de Pessoas Residentes (código IBGE-V002\_6.3). As variáveis propostas e fórmulas para a construção dos indicadores também são apresentados na Tabela 3.2.

Tabela 3.2: Domínios e variáveis para construção do Índice de Vulnerabilidade Hídrica Social Urbana – IVHSU.

| DOMÍNIO   | VARIÁVEL                                    | Estimativa do INDICADOR  |
|-----------|---|--|
| ECONÔMICO | Renda Média do Responsável por Domicílio    | V001_6.1 / V005_6.1  |
| SOCIAL    | Mulheres chefes de família                  | (V001_6.4 / V109_6.5).100  |
|           | Relação de Dependência de Crianças e Idosos | (V022+ΣV035 <sup>V044</sup> +ΣV094 <sup>V134</sup> _6.16) / V002_6.3 |

Fonte: IBGE (2010).

Para a construção do Indicador de Vulnerabilidade Hídrica Social Urbana - IVHSU foram aplicadas transformações lineares para cada indicador, conforme a Equação 3.3, para que as escalas variassem de 0 a 1 (ANAZAWA, 2012), e assim, valores maiores representam uma condição de maior vulnerabilidade. O escalonamento teve o intuito de uniformizar as escalas de valores dos indicadores para que pudessem ser agregados.

$$eV = \frac{V_{ob}-V_{mn}}{V_{mx}-V_{mn}} \quad (3.3)$$

Onde:

eV = escala de vulnerabilidade

V<sub>ob</sub> = Valor obtido para o setor

V<sub>mn</sub> = Mínimo valor observado entre os setores para o indicador

V<sub>mx</sub> = Máximo valor observado entre os setores para o indicador

No caso do indicador de renda, para que a escala de 0 a 1 representasse, respectivamente, a menor e maior vulnerabilidade, foi aplicada a inversão dos valores do indicador, conforme a Equação 3.4.

$$eV = 1 - \frac{V_{ob}-V_{mn}}{V_{mx}-V_{mn}} \quad (3.4)$$

Feita a normalização, o IVHSU foi obtido a partir do cálculo da média simples dos indicadores: Renda Média do Responsável por Domicílio, Mulheres Chefes de Família, Relação de Dependência de Crianças e Idosos, considerando desta forma, pesos iguais para os indicadores. Após os cálculos e adequações, os valores dos Indicadores e do IVHSU obtidos por setor censitário foram associados aos limites poligonais dos setores, para elaboração de cartas temáticas por variável isolada e da Carta de Intervalos de classe

IVHSU para análise da distribuição espacial da vulnerabilidade hídrica social urbana em São José dos Campos.

## 4. RESULTADOS

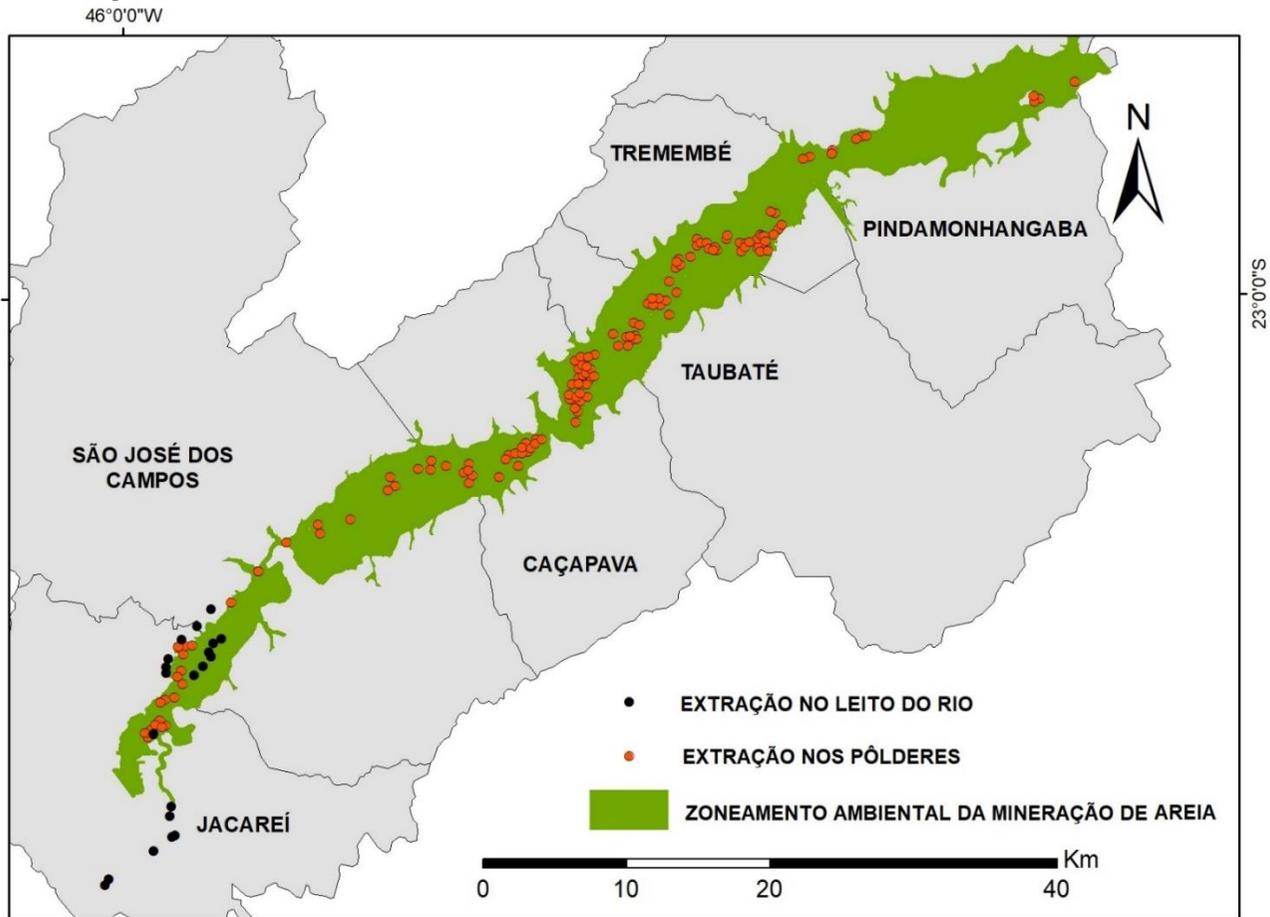
O trabalho realizado na área do Zoneamento Ambiental para Mineração de Areia foi conduzido para avaliar duas questões, 1) estudar como o padrão de SE no encerramento do ciclo da mineração ficou incorporado no estrato antropocênico e 2) se a infraestrutura tecnológica instalada, produto deste elemento da geodiversidade remodelado, trouxe risco e vulnerabilidade hídrica à comunidade circunvizinha. Os resultados aqui apresentados consideram o seguinte:

- 1) Correlação das variáveis sociambientais com os SE da paisagem antropocênica final, produto da atividade das empresas. Às variáveis foi aplicado o AHP para dar robustez na sua seleção e estabelecer o grau de importância entre elas. Em seguida, foi calculada a equação ESEE para se obter a pontuação de SE no encerramento por empresa. Por fim, o Mapa da RGCQ foi desenhado, pela planificação dos raios de semelhança obtidos da aplicação da função de Kernel aos valores da ESEE e estudado o padrão de SE no encerramento;
- 2) Mensuração do risco ou vulnerabilidade hídrica de uma comunidade, intrínsecos à infraestrutura tecnológica de cavas inundadas ou barragens de sedimentação de rejeitos da mineração, em uma unidade político-administrativa de captação pública de água, dentro do Zoneamento, através da construção do indicador IVHSU, o qual utilizou variáveis socioeconômicas de dados de setores censitários de 2010, em um estudo de caso na área urbana de São José do Campos.

### 4.1 Área do zoneamento ambiental para mineração de areia

O vasto histórico da exploração de areia na várzea do rio Paraíba do Sul é decorrência da fatura de areia de depósitos aluvionares, aproveitados como agregado na construção civil local e localização geográfica bastante próxima à região metropolitana de São Paulo, que teve a mineração reduzida pelo aumento da urbanização, dentre outros (RODRIGUES, 2015). As mineradoras iniciaram a extração no leito do rio para retificação de margens e desassoreamento, mas, para adequação às leis ambientais, a partir de 1977 (BAUERMEISTER, 1996) começaram a migrar para os pântanos da planície de inundação à jusante e pouco restou além do registro de antigos portos de areia (Figura 4.1).

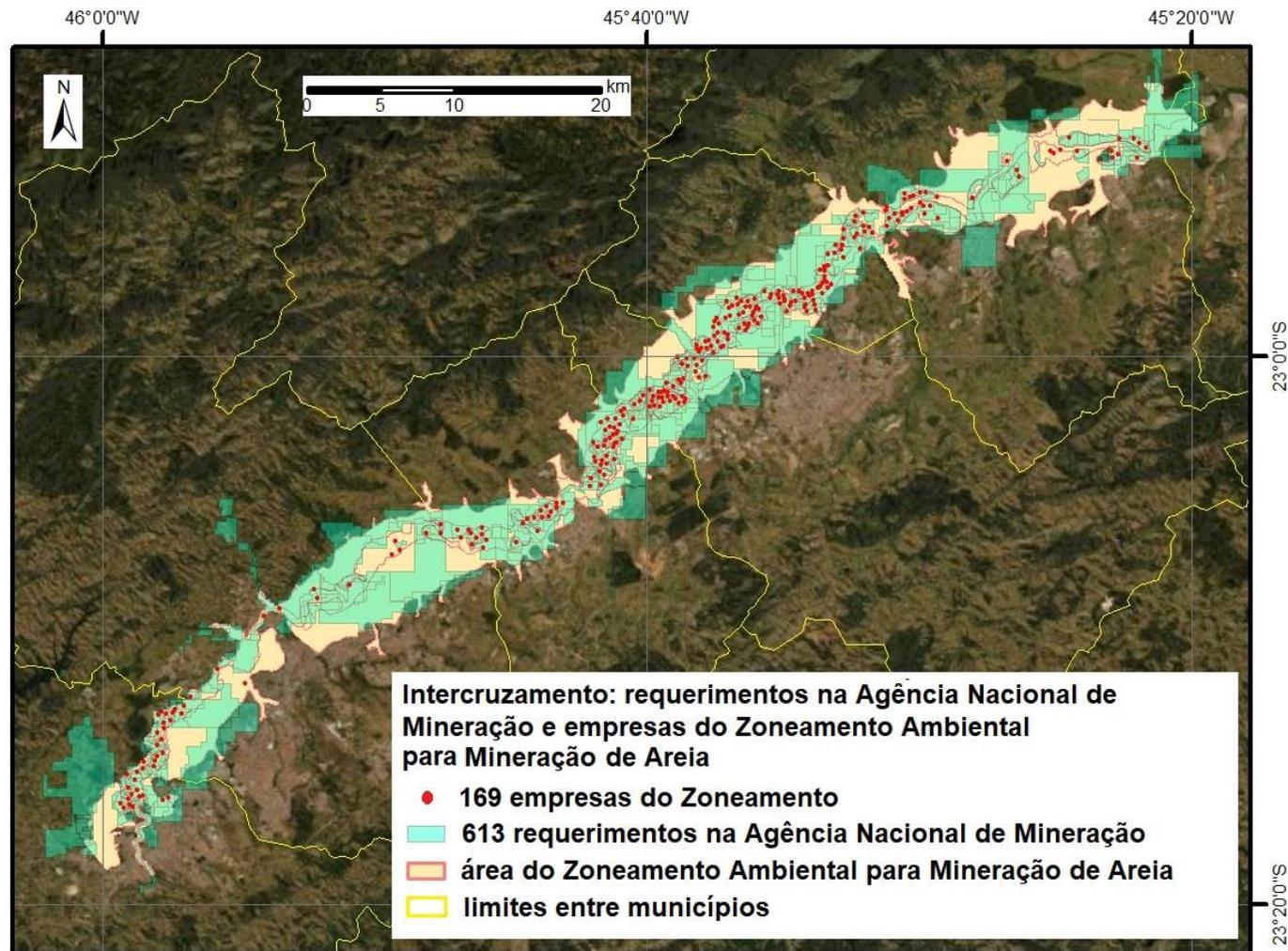
Figura 4.1: Posição relativa entre as duas formas de extração da extração de areia: antes de 1977 (leito) e a adequada à nova legislação ambiental (pôlderes) na área do zoneamento e à jusante do rio Paraíba do Sul.



Fonte: Produção do autor.

Atualmente, 169 empresas do Zoneamento Ambiental para Mineração de Areia se inter cruzam com 293 requerimentos de extração à Agência Nacional de Mineração, de um total de 613 (ANM, 2018), ou seja, a quantidade de áreas requeridas para extrações futuras é mais que o dobro das englobadas no Zoneamento e essa defasagem, mascara o contexto da exploração do minério e a projeção do cenário de SE no encerramento como mostrado na Figura 4.2.

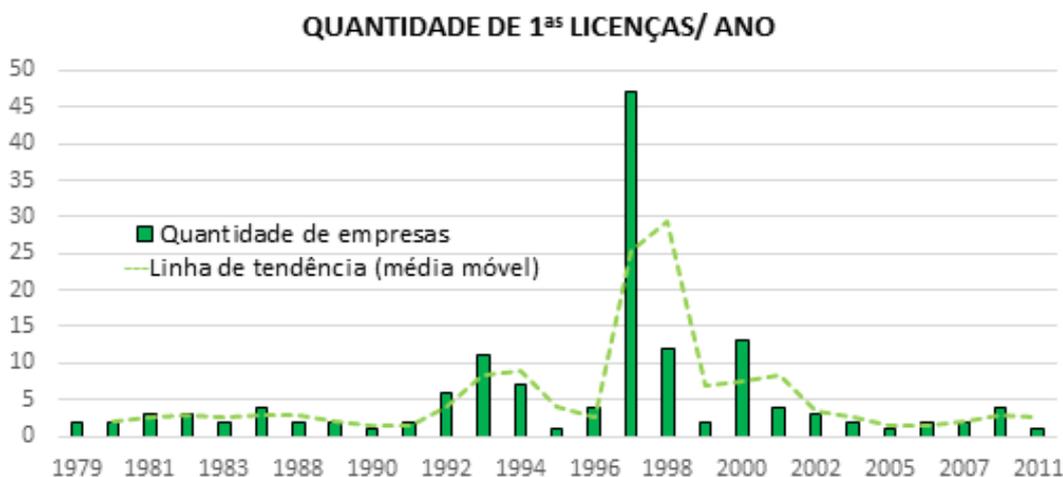
Figura 4.2: Intercruzamento entre Requerimentos de extração com empresas do Zoneamento Ambiental para Mineração de Areia.



Fonte: Produção do autor.

A partir de 1979 com o órgão ambiental estadual autorizando as lavras (REIS et. al., 2012), foram emitidas as primeiras licenças de instalação e funcionamento bem como definida a legislação de recuperação ambiental (SÃO PAULO,2009) e desde então, o modelo de controle dos empreendimentos minerários se estabilizou, vigendo até os dias de hoje. A partir da publicação das 1<sup>as</sup> Licenças de Instalação de cada empresa foi possível observar que a consolidação do Zoneamento Ambiental para Mineração de Areia foi principalmente na década de 90 (Figura 4.3).

Figura 4.3: Década de 90: consolidação do controle ambiental da área do Zoneamento.



Fonte: Produção do autor.

A partir da comparação entre os dados levantados nos documentos públicos com análise manual de imagens aéreas de alta resolução no *Google Earth* (SHEPPARD E CIZEC, 2009; TAYLOR E LOVELL, 2012), em novembro de 2019, constatou-se grande número de cavas inundadas. Estas têm o potencial de prover os SE's de Regulação de inundações e de água, Cultural para recreação e lazer, Provisão de água, Suporte de água como plataformas para atividade humana e Conhecimento para monitoramento ambiental, educação e emprego.

#### 4.2 SE de encerramento no estrato antropocênico

As mineradoras de areia do Zoneamento Ambiental para Mineração de Areia, atendendo aos ditames do licenciamento da Resolução 28/99 SMA, apresentaram proposta individual de recuperação ambiental. Embora estas propostas estivessem limitadas à área de cada mineradora, um cenário integrado de SEs se compôs, quando do encerramento da maioria. Neste estudo, isto foi constatado pela sistematização de variáveis socioambientais

levantadas em documentos públicos de licenciamento ambiental e correlacionadas à SE, e em imagens aéreas, observados mais de setenta anos de exploração de areia nos depósitos aluviais quaternários. Esta abordagem também permitiu a análise do estrato antropocênico consolidado pelos SE do encerramento na área do Zoneamento, através da elaboração do mapa da Reserva da Geodiversidade do Cinturão Quaternário - RGCQ e ainda serve de estratégia para prever o fluxo de SE em núcleos urbanos onde há extração de areia, em áreas de elementos da geodiversidade correlatos.

#### **4.2.1 Correlação entre variáveis socioambientais & SE no encerramento**

Foram definidas seis variáveis socioambientais a partir da abordagem de que a diversidade de interações entre o ser humano e o ambiente alteram os SE de forma específica, para a compreender a condição de encerramento dos SE na área do Zoneamento ambiental das minerações de areia. As variáveis estão apresentadas, descritas e relacionadas ao respectivo cenário final de SE no encerramento das lavras na Tabela 4.1, com o intuito de representar o estado do solo da planície de inundação, a água e mata ciliar e também de explicar o formato de contabilização da ocorrência de cada variável.

Tabela 4.1: Descrição das variáveis socioambientais, respectivos SE no encerramento e contabilização da ocorrência.

| Variáveis                            | Descrição  | Ocorrência   | SE no Encerramento  |
|--------------------------------------|--|--|---|
| REFLORESTAMENTO COM VEGETAÇÃO NATIVA | Recuperação florestal com mata nativa dentro ou fora da APP  | Máx(APP,nativa)<br>Máx(0,1)=1<br>Máx(0,0)=0<br>Máx(1,1)=1                      | Provisão: habitat à fauna silvestre<br>Regulação: controle da erosão e regulação do clima<br>Cultural: recreação  |
| QUALIDADE DO SOLO                    | Presença de solo preservado fértil, sem vegetação ou com processos erosivos  | Com vegetação: Ótimo= 1<br>Exposto: Bom= 0,5<br>Erosão: Ruim= 0                | Regulação: processos terrestres de controle da erosão<br>Suporte: desenvolvimento do perfil de solo<br>Provisão: produção de alimento                                   |
| ANÁLISE DE QUALIDADE DA ÁGUA         | Apresentação de análise de qualidade de água da cava submersa no fechamento da mineração                           | Se Sim=1<br>Se Não=0   | Provisão: de água<br>Regulação: da qualidade e quantidade de água e de inundações<br>Cultural: recreação  |
| PORTE ECONÔMICO                      | Levantamento do capital social para mensurar a capacidade econômica da empresa para recuperar o ambiente degradado | >R\$50mil= 1<br>R\$10-50mil= 0.5<br><R\$10mil=0.25                             | Cultural: qualidade ambiental no desenvolvimento de paisagens locais de bem-estar, senso de lugar, desenvolvimento social com sociedades geológicas locais e ecoturismo |
| INSTALAÇÕES NA MINA                  | Existência de edificações, vias de acesso e infraestrutura de aporte à qualidade de vida                           | Máx( acessibilidade, infraestrutura)<br>Máx(0,1)=1<br>Máx(0,0)=0<br>Máx(1,1)=1 | Cultural: recreação, associação histórica (senso de lugar)<br>Conhecimento: Educação e emprego<br>Provisão: fósseis   |
| MULTA                                | Existência de auto de infração de Imposição de Penalidade de Multa   | Se Sim= -1   | * Prejudica o cronograma da recuperação ambiental e, por conseguinte, todos os SE indiretamente   |

Fonte: Produção do autor.

Para as variáveis *Reflorestamento Com Vegetação Nativa* e *Qualidade Do Solo* foram consideradas as consequências do reflorestamento e as condições do solo quanto ao bem-estar entregue aos usuários finais da área. O intuito foi demonstrar como o uso do solo determinado por um elemento da geodiversidade retroalimenta a gestão e os sistemas socioecológicos. As mudanças sócio-política-econômicas orientaram quais os SE teriam prioridade para o bem-estar humano final e não somente o atendimento às diretivas legais ambientais de recuperação.

A concepção da variável *Análise de Qualidade da Água* considerou que as cavas inundadas, produto da retirada de areia, propiciaram acesso à água e contribuíram ao benefício social e econômico, pois se tornaram perenes na paisagem final e serviram para o abastecimento de água e proteção contra inundações, passando a integrar o cenário na regulação da água.

As variáveis, *Porte Econômico* e *Instalações Na Mina* abordaram a Integração entre fatores sociais e ecológicos. Elas permitiram entender como o capital aplicado e tecnologias

humanas locais geraram SE, tais como a instalação e manutenção de estradas para acesso ao rio e áreas alagadas, cercamento da mina recuperada para proteger matas ciliares do acesso de bovinos, retardamento da ocupação imobiliária, herança da terra para família de antigos mineradores, sítios para treinamentos de campo como oficinas de caiaque e pesqueiros.

À variável *Instalações da Mina* foi indiretamente associado o SE de Conhecimento/História da Pesquisa/ Fóssil (GRAY et al., 2013), visto que o fóssil endêmico *Physornis brasiliensis* sp. foi encontrado na Formação Tremembé, demonstrando potencial turístico para o sítio paleontológico, que pode ser acessado pelas estradas das minerações.

A variável *Multa* abrange a ação social e política, na definição das metas de gestão e compensações. Uma multa por corte da vegetação nativa, conecta ação social da sociedade, que aciona a autoridade pública, nas esferas federais, estaduais e municipais, em uma ação política, ligando todos à questão ecológica: a imediata restauração. Esta variável se interconecta às demais indiretamente, porque quando uma mineradora é multada, a recuperação ambiental correlata às demais variáveis fica prejudicada.

A contagem do total de ocorrência por variável nos processos, mostrou que a variável *Instalações Da Mina* é a mais recorrente, com 36,6%. *Reflorestamento Com Vegetação Nativa* contabilizou em 29,85% dos processos, *Multa* em 16,7%, *Qualidade Do Solo* em 9,0%, *Análise de Qualidade Da Água* em 7,8% e *Porte econômico* em 0,1%.

Além da análise individual, foi feita a observação integrada de documentos públicos em novembro de 2019 cotejada à imagens aéreas de alta resolução no *Google Earth* (SHEPPARD E CIZEC, 2009; TAYLOR E LOVELL, 2012). Isto permitiu concluir sobre o padrão de encerramento, onde a planície de inundação do rio Paraíba do Sul se transformou em cavas inundadas intercaladas aos meandros do rio, conforme ilustrado na Figura 4.4.

Figura 4.4: Traçado retificado do leito do rio Paraíba do Sul e cavas inundadas entre os meandros incorporando o estrato antropocênico.



Fonte: Produção do autor.

#### 4.2.2 Escala de importância AHP aplicada às variáveis socioambientais

Os resultados derivados dos questionários, onde se aplicou o método AHP para julgamento da escala de importância das variáveis socioambientais, são apresentados na Tabela 4.2. Foram admitidas seis respostas, considerando aquelas que atenderam ao Índice de Coerência. A média geral das importâncias atribuídas pelos especialistas foi calculada, e a variável considerada de maior importância foi o *Reflorestamento com vegetação nativa* (34,48%), seguida pela *Análise de qualidade de água* e *Qualidade de solo*, com valores equivalentes (24,30% e 24,35% respectivamente). Na ordem de relevância, mas consideradas significativamente menos importantes, *Porte econômico* (9,53%), *Multa* (4,98%) e *Instalações da mina* (3,35%).

Tabela 4.2: Escala AHP de importância atribuída às variáveis socioambientais.

| VARIÁVEIS                            | PROFISSIONAL DA MINERAÇÃO |       | LICENCIADOR AMBIENTAL |       | PESQUISADOR EM GEOCIÊNCIAS |       | MÉDIA GERAL |
|--------------------------------------|---------------------------|-------|-----------------------|-------|----------------------------|-------|-------------|
| REFLORESTAMENTO COM VEGETAÇÃO NATIVA | 43,20                     | 42,50 | 36,10                 | 28,20 | 28,10                      | 28,80 | 34,48       |
| QUALIDADE DO SOLO                    | 28,00                     | 29,20 | 2,60                  | 28,20 | 29,30                      | 28,80 | 24,35       |
| ANÁLISE DE QUALIDADE DA ÁGUA         | 19,20                     | 6,40  | 34,30                 | 28,20 | 28,90                      | 28,80 | 24,30       |
| PORTE ECONÔMICO                      | 3,20                      | 16,10 | 13,50                 | 9,60  | 7,70                       | 7,10  | 9,53        |
| MULTA                                | 3,20                      | 2,60  | 11,10                 | 2,70  | 2,40                       | 2,50  | 4,08        |
| INSTALAÇÕES DA MINA                  | 3,20                      | 3,20  | 2,40                  | 3,10  | 3,60                       | 4,00  | 3,25        |

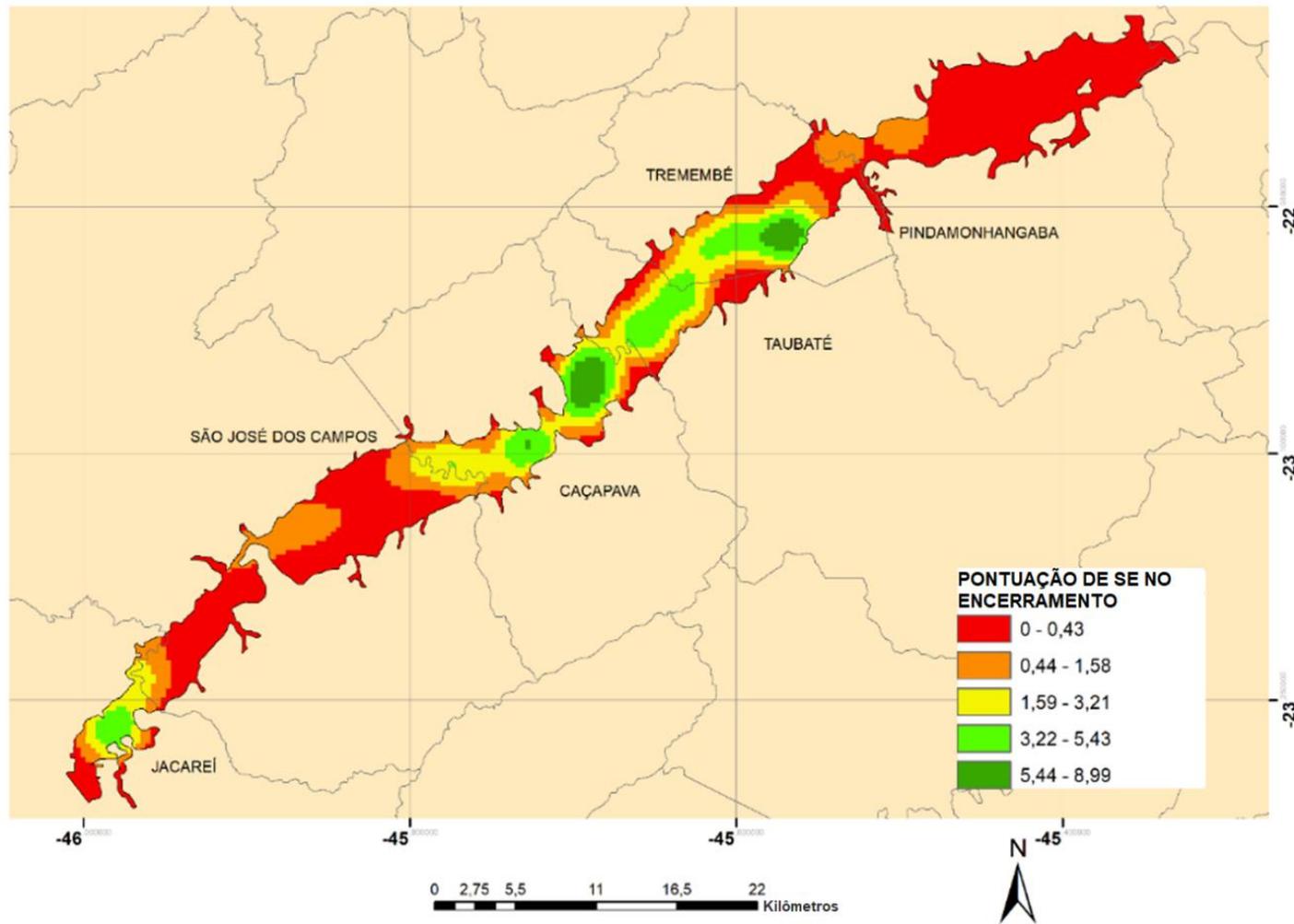
Fonte: Produção do autor.

#### 4.2.3 RGCQ - mapa da pontuação de ESEE no encerramento

Aos valores da pontuação de SE no encerramento por empresa de mineração, que foram calculados através da equação ESEE e posteriormente aplicada a função de Kernel, foi possível gerar o Mapa da Reserva da Geodiversidade do Cinturão Quaternário - RGCQ, apresentado na Figura 4.5. Verifica-se que as mais baixas pontuações de SE no encerramento correspondem ao município de São José dos Campos, onde todas as cavas de mineração estão encerradas. Este município é o mais desenvolvido da região e localizado no trecho mais conurbado às margens do rio Paraíba do Sul e dentro do Zoneamento Ambiental de Mineração de Areia, com a ocupação urbana muito próxima à planície de inundação do rio. As maiores pontuações de SE no encerramento estão concentrados no centro do Zoneamento, onde ocorrem a maioria de empresas ativas, entre os municípios de Caçapava e Tremembé. Esta condição se revela devido às incorporações

de empresas para reativação de cavas paralisadas, que fazem com que regularizem os cronogramas de recuperação ambiental. Consequentemente, a pontuação por variável é elevada, haja vista que para alcançarem e manterem as licenças de funcionamento, essas empresas precisaram remodelar os planos de recuperação ambiental da área, em atendimento à demanda contemporânea de exigências legais. Na jusante do Zoneamento, mesmo que as empresas de extração sejam ainda incipientes, a baixa pontuação de SE ocorre devido aos embargados por não cumprimento da recuperação ambiental ou pela falta da licença de funcionamento, por não conseguirem executar o cronograma de recuperação ambiental proposto, embora constarem como ativas.

Figura 4.5: Pontuação dos isovalores da ESEE projetados para geração do mapa da Reserva da Geodiversidade do Cinturão Quaternário – RGCQ.



Fonte: Produção do autor.

A recorrência dos SE contabilizada por empresa e ilustrada no mapa da RGCQ revelou o cenário padrão de SE no encerramento das minerações e permitiu verificar se os SE foram aderentes aos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS). Uma vez que somente 7,8% das empresas apresentaram a análise química da água das lagoas ao final da extração, a variável *Análise de Qualidade de Água* não garantiu informações confiáveis sobre a potabilidade ou possível contaminação da água das lagoas, o que prejudicou os SE de Regulação da qualidade da água e o Cultural de recreação e, conseqüentemente, a aderência ao ODS 6.

Embora a maior ocorrência da variável *Instalações da mina* proveja os SE Cultural de recreação e de Conhecimento - educação e emprego, a posse dessas propriedades é predominantemente de particulares e, para que estas se integrem às cidades e se tornem infraestruturas resilientes, são necessárias políticas públicas que congreguem esses donatários, fornecendo contrapartidas e inovação no uso da terra, e assim, torná-las inclusivas à toda sociedade, portanto, a variável também foi pouco aderente ao ODS 9.

A baixa ocorrência da variável *Porte Econômico*, mostrou que o capital declarado nos contratos sociais fora insuficiente para uma satisfatória recuperação ambiental, pois os valores das propostas de replantio e manejo apresentados nos relatórios de controle ambiental chegavam a atingir mais de dez vezes esse capital, demonstrando a incompatibilidade entre a capacidade de minerar e a de recuperar a área. Desta forma o SE Cultural de qualidade ambiental no desenvolvimento de paisagens locais de bem-estar foi prejudicado e assim, sem atender ao ODS 8, pois o crescimento econômico e o emprego pleno foram insustentáveis para além da atividade mineral.

O ODS 11 também não foi atendido, haja vista que extrações paralisadas ou encerradas são áreas das cidades que se demonstraram pouco inclusivas, resilientes ou sustentáveis.

O mapa do RGCQ também possibilitou observar o elemento da geodiversidade local como fornecedor de SE por município do zoneamento e verificar a importância de integrar serviços geossistêmicos (GREY 2011, 2013), em prol de minimizar conflitos que venham afetar a gestão dos SE, haja vista que cada município valoriza uma “pétala” da “Flor da Geodiversidade” (FOX et al., 2020) por uma perspectiva própria.

### **4.3 Infraestrutura tecnológica e vulnerabilidade hídrica**

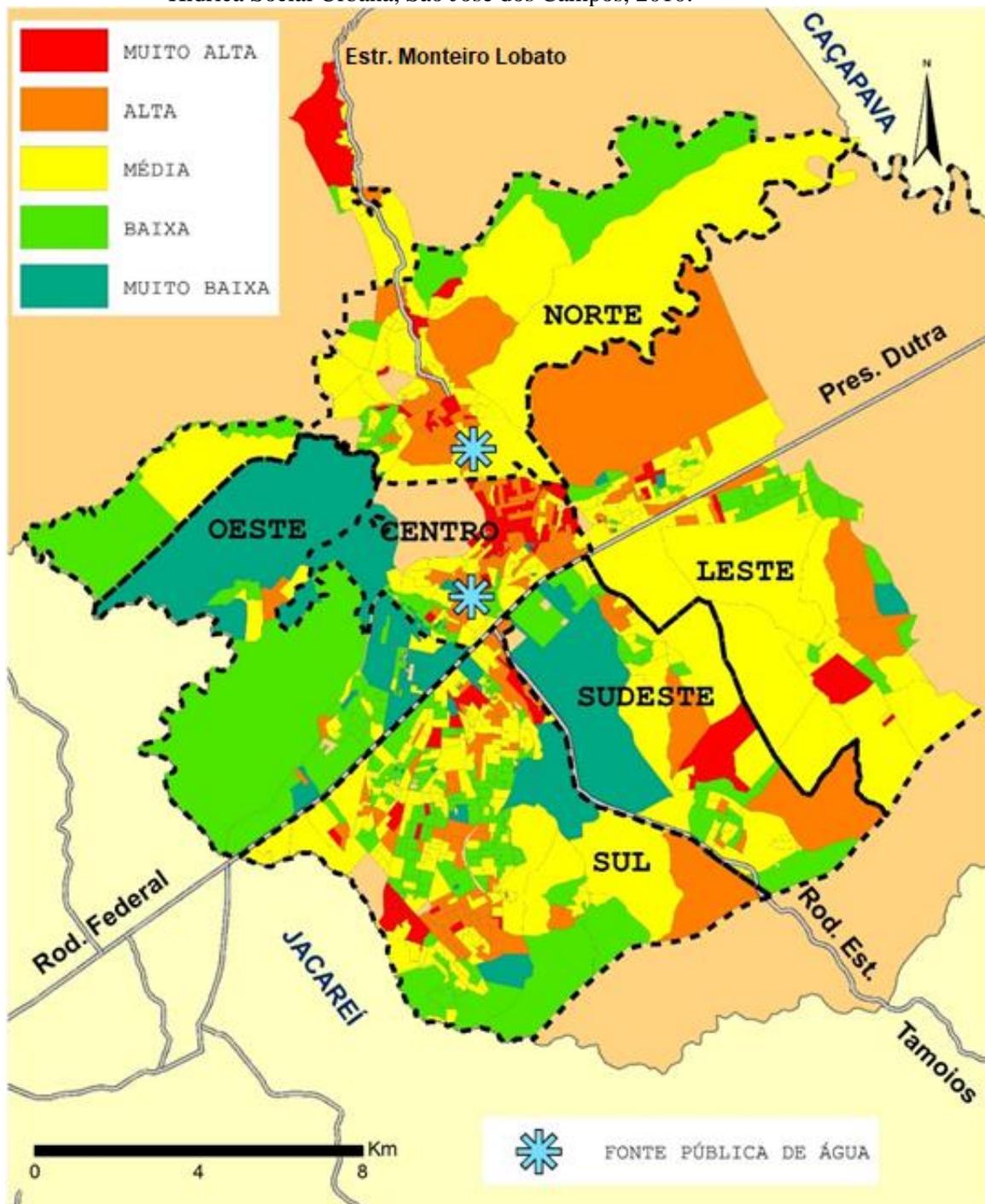
A mineração de areia foi erradicada de São José dos Campos em 1991 por legislação municipal, no entanto, houve um rompimento da barragem de mineração de areia no município de Jacareí, à montante da captação de água para abastecimento público da área urbana do município de São José dos Campos, que atingiu especificamente a servidão do Subsistema Paraíba ou Sede (PMSJC, 2012). Desta forma, a construção do indicador de vulnerabilidade hídrica - IVHSU, buscou entender a distribuição da população mais atingida pela falta d'água, ou seja, a vulnerabilidade hídrica, usando como estudo de caso a região intraurbana de São José dos Campos, considerando a ocorrência de um acidente isolado de rompimento em uma infraestrutura tecnológica de barragem de sedimentação de rejeitos de areia, em um município com robusto sistema de abastecimento de água de 99,6% (PMSJC, 2012).

#### **4.3.1 Intervalos de classe de vulnerabilidade do IVHSU**

A construção do Indicador de Vulnerabilidade Hídrica Social Urbana – IVHSU resultou da inter-relação de variáveis de domínios econômico e social de 871 setores censitários, distribuídas nos intervalos de classe de vulnerabilidade: Muito Alta (>80), Alta (80-60), Média (60-40), Baixa (40-20) e Muito Baixa (<20), apresentados na carta da Figura 4.6.

As Regiões Norte, Leste e Sudeste (Figura 4.6) apresentaram núcleos isolados de Muito Alta IVHSU. Na Norte observou-se um setor no extremo da estrada para Monteiro Lobato, loteamentos tipo C e D no limite com chácaras da zona rural, tendo Renda Média do Responsável por Domicílio como variável mais contributiva na elevação do IVHSU. Na Leste, quatro setores dispersos, mas próximos à Rodovia Presidente Dutra, interligando setores limítrofes às estradas vicinais, também com Renda Média do Responsável por Domicílio contribuindo no aumento do IVHSU. A estrutura de poços tubulares profundos instalada há mais de 30 anos fez com que não houvesse desabastecimento local de um bairro planejado, loteamento tipo A, da década de 70, como relatado na rede social *Facebook* da Prefeitura de São José dos Campos (PMSJC, 2016; PAPALI et al., 2010; COSTA E MARIA, 2010). Na região Sudeste, áreas de Muito Alta IVHSU ocorrem em três setores localizados entre estrada municipal e vias vicinais, de loteamentos tipo C e D (COSTA E MARIA, 2010), de recente expansão. Na região Oeste, loteamentos tipo A e chácaras (COSTA E MARIA, 2010), não houve nenhum setor em Muita Alta IVHSU.

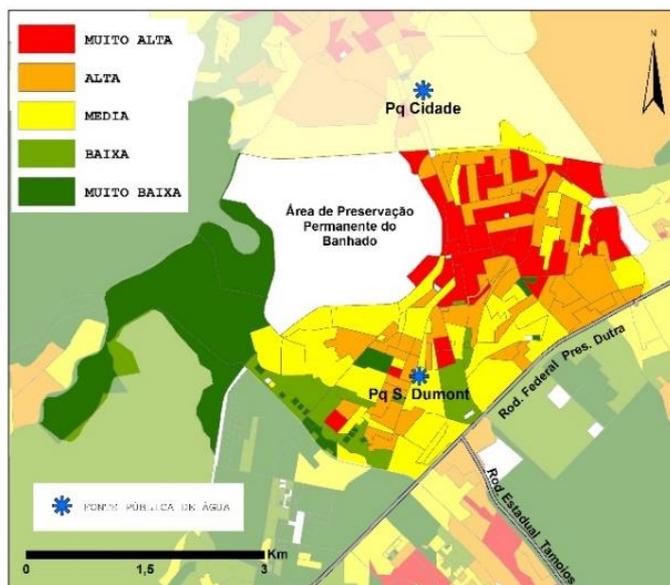
Figura 4.6: Intervalos de classe de vulnerabilidade do IVHSU - Indicador de Vulnerabilidade Hídrica Social Urbana, São José dos Campos, 2010.



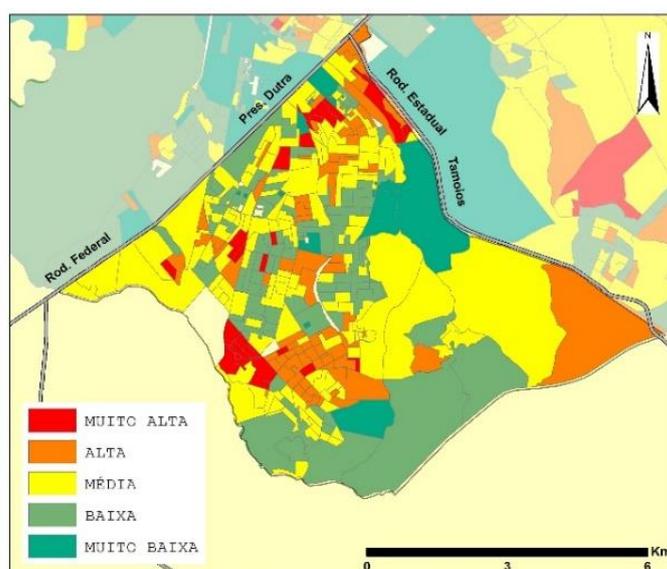
Fonte: Produção do autor.

Na análise do IVHSU, as regiões Centro e Sul foram destacadas por tipo de loteamento e região de predomínio, porque os setores censitários mais afetados ocorreram nestas duas regiões, e estão representados na Figura 4.7 “a” e “b”. Na Figura 4.7a está apresentado o IVSHU da região Centro e na Figura 4.7b o IVSHU da região Sul.

Figura 4.7: IVHSU das Regiões intraurbanas Centro (a) e Sul (b).  
a) IVHSU da região CENTRO



b) IVHSU da região SUL

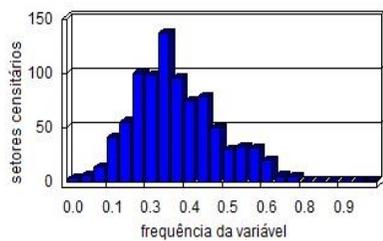
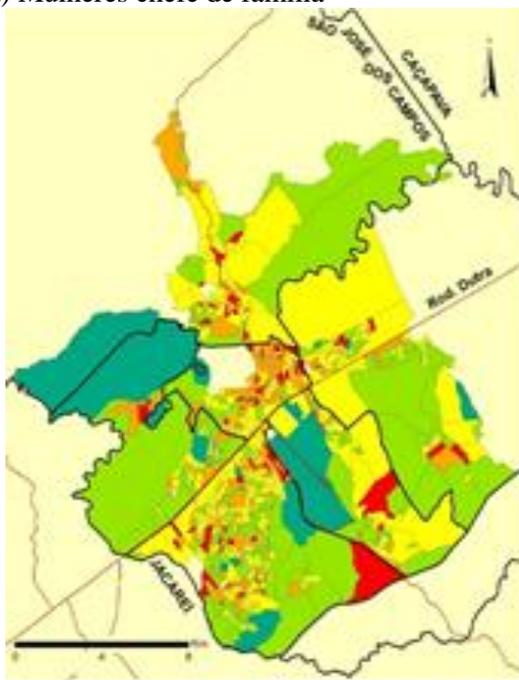


Fonte: Produção do autor.

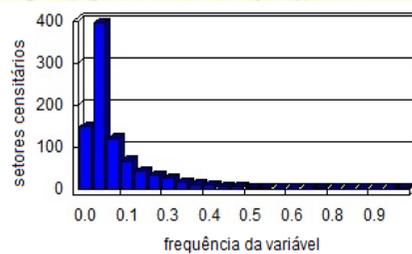
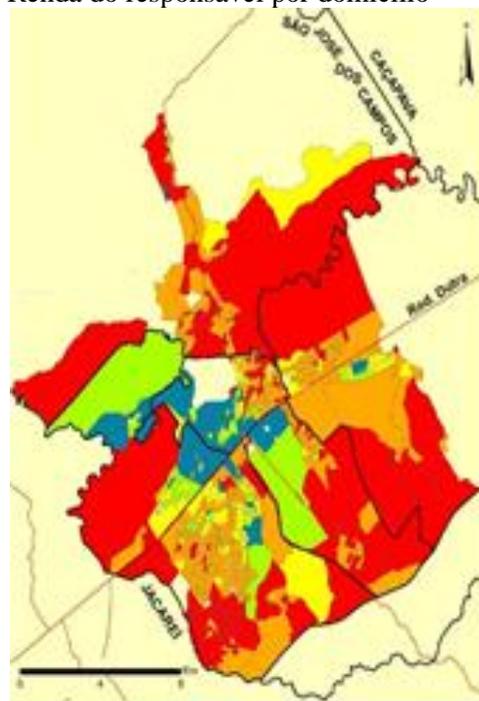
Buscando uma melhor compreensão e um detalhamento mais específico da situação local, foram associados depoimentos da rede social *Facebook* (PMSJC, 2016) e também apresentadas as cartas de vulnerabilidade por variável isolada (Figura 4.8): Mulheres Chefe de Família (4.8a), Renda Média do Responsável por Domicílio (4.8b) e Relação de Dependência de Crianças e Idosos (4.8c) para ilustrar, dentre elas, qual teve maior relevância na contabilização total do mapa final IVHSU por região.

Figura 4.8: Cartas de vulnerabilidade por variável isolada: Mulheres Chefe de Família (a), Renda Média do Responsável por Domicílio (b) e Relação de Dependência de Crianças e Idosos (c).

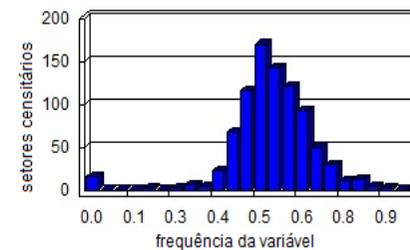
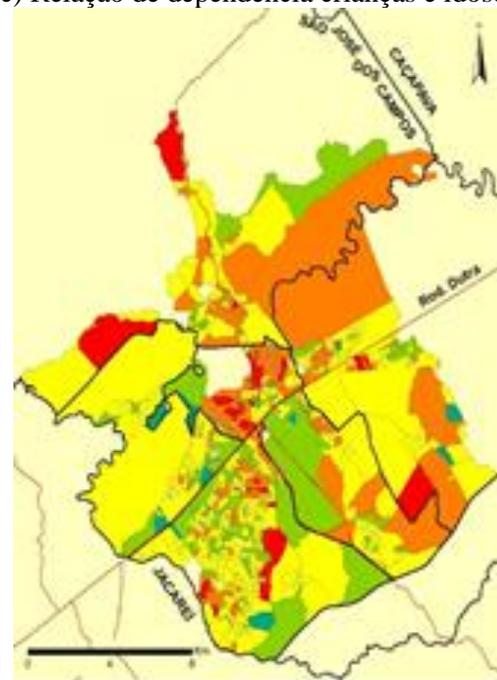
a) Mulheres chefe de família



b) Renda do responsável por domicílio



c) Relação de dependência crianças e idosos



Fonte: Produção do autor.

Na Região Centro ocorreram três setores isolados com Muito Alta IVHSU (Figura 4.7a), próximos ao anel viário da cidade interligado à Rodovia Presidente Dutra, região Oeste e Parques Públicos, que contam com oferta de água potável. Estes locais foram mais influenciados pelas variáveis de Mulheres Chefe de Família (Figura 4.8a) e Relação de Dependência de Crianças e Idosos (Figura 4.8c) e pouco pela Renda Média do Responsável por Domicílio (Figura 4.8b), pois são setores em loteamento residenciais padrão A e B (Costa e Maria, 2010).

Um segundo setor na Região Centro, embora bastante próximo ao anterior apresentou, diferentemente, como variável de maior influência a Renda Média do Responsável por Domicílio (Figura 4.8b). Trata-se de área classificada como Zona de Proteção Ambiental (PMSJC, 2019), onde houve ocupação por comunidade carente em moradias irregulares, dentro da Área de Preservação Permanente do Banhado (PMSJC, 2019).

Outra região de Muito Alta IVHSU aparece na aglomeração de setores localizados em loteamentos tipo B (COSTA E MARIA, 2010), de uso residencial multifamiliar e notadamente comercial, dominando a variável Relação de Dependência de Crianças e Idosos (Figura 4.8c). Nos comentários da rede social *Facebook*, os proprietários de estabelecimentos comerciais relatam que ficaram sem água desde 05/02/2016, dia do acidente do rompimento da barragem e, tendo a falta d'água perdurado por 30 horas, levou ao fechamento das portas do atendimento e trouxe prejuízo (PMSJC, 2016). Os poços tubulares profundos dos Parque públicos ajudaram na logística na região Centro por fornecerem água do reservatório subterrâneo em fontes públicas (VAZAMENTO..., 2016).

Na Região Sul (Figura 4.7b) a Muito Alta IVHSU do setor onde havia ocupação irregular de propriedade particular por comunidade carente (IBGE 2010, PMSJC, 2012), não refletiu as condições da época do estudo, pois os dados do IBGE eram de 2010 e a reintegração de posse ocorreu em janeiro de 2012, antes do acidente da barragem em 2016.

No corredor entre a Rodovia interestadual Presidente Dutra e a Rodovia estadual dos Tamoios, os loteamentos tipo C e Zona Mista Quatro (PMSJC, 2019), área mista com maior diversidade de usos do município, a vulnerabilidade Muito Alta foi dada pelas variáveis Renda Média do Responsável por Domicílio (Figura 4.8b) e Relação de Dependência de Crianças e Idosos (Figura 4.8c). São setores isolados entre as vias de tráfego rápido e a Zona de Planejamento Específico Um (PMSJC, 2019), que compreende glebas vazias que

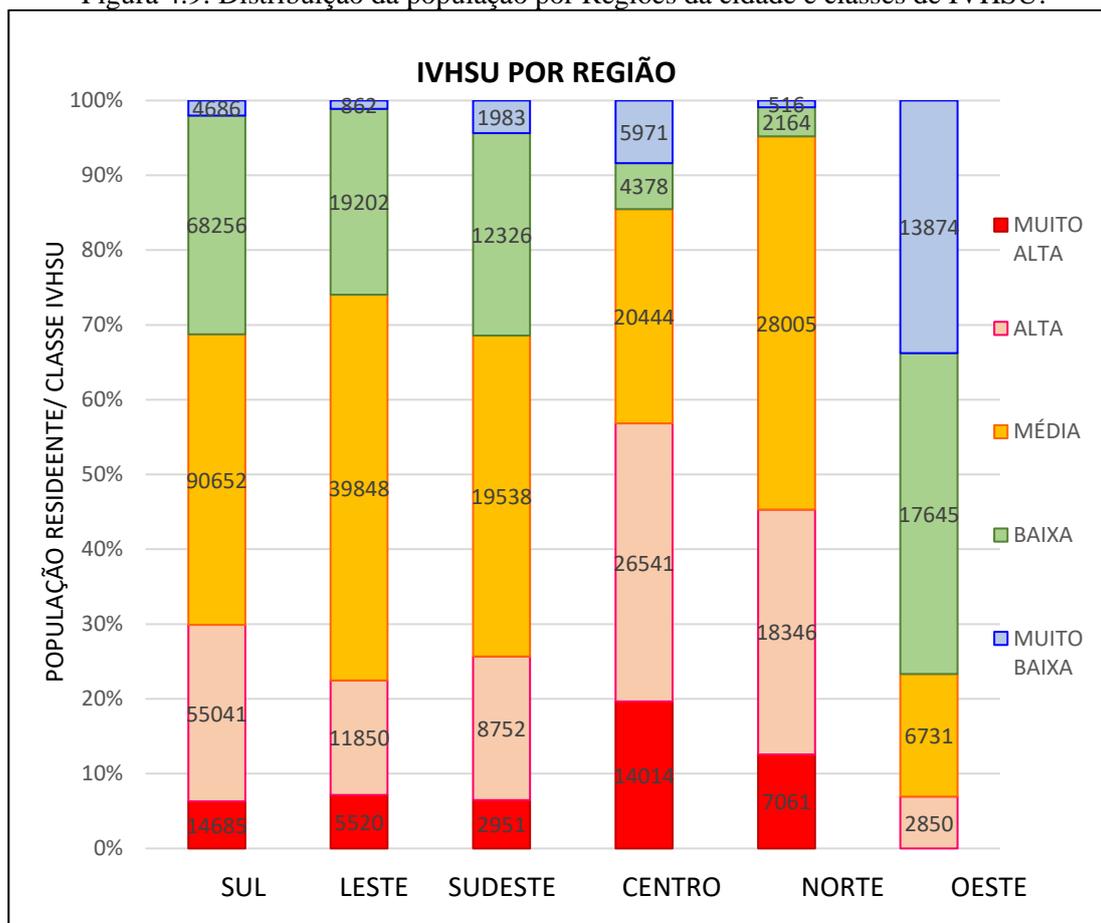
necessitam de orientação para a ocupação urbana visando a melhoria das condições de mobilidade local e integração territorial e também limítrofe com a Zona Aeroportuária, o que dificulta o acesso ao local (PMSJC, 2019).

A zona Sul teve o maior número de comentários na rede social *Facebook* sobre falta d'água (PMSJC, 2016) e o suprimento de água pela escola municipal local serviu de suporte para a região durante a crise (VAZAMENTO..., 2016).

#### **4.3.2 População das regiões da cidade por classes de IVHSU**

A distribuição de população nas regiões administrativas da cidade, por classes do IVHSU, apresentada na Figura 4.9, mostra que as regiões Sul e Centro possuem a maior quantidade de pessoas na classe IVHSU Muito Alta (>14000), seguida pela região Norte (>7000). A região Oeste apresentou cerca de 80% de sua população em Baixa e Muito Baixa IVHSU e menor quantidade de pessoas residentes por região. A região Sul é a mais populosa, aproximadamente o quádruplo das demais. Feitos os cálculos da quantidade de pessoas por classe de IVHSU em relação ao total da população da cidade, foi verificado que 39% foi enquadrada na IVHSU Média.

Figura 4.9: Distribuição da população por Regiões da cidade e classes de IVHSU.



Fonte: Produção do autor.

## 5. DISCUSSÃO

A paisagem antropocênica dos SE da área do Zoneamento Ambiental para Mineração de Areia da planície de inundação do Rio Paraíba do Sul foi transformada ao longo do tempo e estas estavam consolidadas no momento do encerramento de atividades, na maioria das mineradoras. Cavas inundadas e barragens de sedimentação de rejeitos se formaram junto ao traçado retificado do rio, dentro do espaço urbano, provendo vários SE como: Regulação de inundação, Cultural de lazer, Provisão de água e Conhecimento para educação e emprego. Foi uma nova oferta de SE que surgiu a partir de um elemento da geodiversidade, o qual orientou a ação humana no uso da terra. As áreas agregaram-se de forma contínua formando “cidades como parte da geologia”, conforme descrito por Zalasiewicz et al. (2017d), de que as cidades são nosso alojamento atual e fabricadas a partir da matéria-prima geológica.

A urbanização englobou os SE provindos do encerramento da atividade mineral no estrato da conurbação e estes novos serviços geossistêmicos urbanos ficaram incorporados na paisagem. Os SE do encerramento, além de servirem como potenciais registros estratigráficos resultado de atividades minerárias, contribuindo para a formalização do Antropoceno, legitimaram os estudos de Pereira (2019) que mostram que as mudanças na superfície terrestre, resultado da interação entre sociedade e geodiversidade, são até certo ponto irreversíveis e comparáveis a processos naturais, de Zalasiewicz et al. (2017a), que mostram que essas atividades humanas passaram a se expressar globalmente como marcador de fronteira, em meados do século 20 e de Fernandino et al. (2020), que descobriu a antropoquina, rocha sedimentar com elementos antropogênicos em sua composição.

A alta qualidade das areias quaternárias para uso direto na construção civil, fez prosperar a mineração nas cidades abarcadas no Zoneamento. Sob o ponto de vista socioecológico, os proprietários da grande maioria dos terrenos, que eram estabelecimentos agropecuários ou chácaras de áreas particulares, alugaram suas terras para as mineradoras, tiveram a recuperação ambiental prevista nos contratos de arrendamento e em suas propriedades as modificações dos SE ficaram incorporadas à paisagem, fruto da interação e intervenção pela atividade mineral. Nesta paisagem final das cavas inundadas, agora coexistem distintos grupos de interesse (proprietários, mineradores e usuários do rio) em busca de seus objetivos (renda, lucro e lazer). Os SE afetam e são afetados pela atividade, com vários

fatores internos e externos, oriundos das escalas locais e nacionais (poder, acessibilidade, gestão pública) influenciando a paisagem do Zoneamento. Estes pontos de vista divergentes influenciam na percepção do cenário e indiretamente ampliam o benefício do SE (ENGLUND et al., 2017), no caso para Provisão de abastecimento de água, Regulação de inundações e água e Cultural de recreação.

O padrão de encerramento da mineração de areia observado neste estudo foi resultado da análise de 290 processos de empresas, incluídas no Zoneamento Ambiental para Mineração de Areia, de onde foram compiladas informações de um total de 83 empresas de mineração, que entre si geraram 114 cavas de areia. Dessas empresas, 51 estão com atividades paralisadas, 17 ainda se encontram ativas e 15 foram efetivamente encerradas. Neste levantamento, verificou-se que a distribuição das cavas ativas, ocorrem principalmente na região central do Zoneamento e que são, em geral, propriedades particulares arrendadas para a extração mineral, mediante proventos da venda da areia. Os fechamentos e paralisações derivaram, notadamente, do não cumprimento do plano de recuperação ambiental que, por ser apresentado por cava, fez com que a empresa no todo não alcançasse a licença de funcionamento devido ao embargo de apenas uma cava. A variável *Multa* é um fator importante que contribuiu para a negação da licença. A restituição da terra ao proprietário, envolta em passivos ambientais, ou em condição transitória, dificulta novas ações para o local, pois a área deveria estar devidamente recuperada ao fim da extração, conforme cronograma do relatório de controle ambiental. Desta forma, instala-se uma inércia e o SE do encerramento se consoma em uma paisagem de recuperação não planejada e espontânea do ambiente.

A Agenda 2030 e os 17 ODS são posteriores à paralisação ou encerramento da maioria das minerações e é importante destacar que as empresas traziam incorporados preceitos da Agenda 21 (MMA, 2020), em sua fase ativa. Não obstante, a execução dos cronogramas de recuperação ambiental no decorrer dos anos, trouxe uma obrigatória readequação às exigências ambientais, que acabou por remodelar o cenário de SE no encerramento, vislumbrando os ODS atuais. Por exemplo, as primeiras minerações tinham por meta o fechamento como centros de recreação pesqueiros, mas acabaram como reservatórios (DOS REIS et al., 2006; SÃO PAULO 2008, 2012) com potencial em prover a sustentabilidade em água potável de comunidades vizinhas. A avaliação destas práticas de recuperação mostrou que a aderência ao ODS 8 foi pequena, porque embora a mineração promovesse o crescimento econômico da região, o emprego fora insustentável. Quanto ao

ODS 9, o atendimento também foi pequeno porque embora o SE de encerramento formasse uma infraestrutura de cavas inundadas e entornos revegetados com mata nativa, este não foi resultado de uma industrialização inclusiva e inovadora. Por outro lado, analisando os ODS 6 e 11 pela perspectiva de que as exigências ambientais para as mineradoras foram alteradas no íterim de sete décadas, concluiu-se que o cenário de SE no fechamento foi remodelado de centros de recreação pesqueira para reservatórios com potencial em fornecer respectivamente acesso à água potável e tornar os assentamentos humanos resilientes, no caso a comunidade vizinha.

Os empreendimentos do Zoneamento, atendendo à critérios legais de reabilitação ambiental, foram induzidos a um mesmo tipo de encerramento de suas áreas, com predomínio das variáveis *Instalações da mina* e *Reflorestamento com vegetação nativa*. Estas duas variáveis, além de resultarem em SE de Conhecimento de educação e emprego, de Regulação de controle da erosão e de Provisão de habitat à fauna, principalmente forneceram juntas o SE Cultural de recreação e associação histórica (senso de lugar). Também corroboraram a revegetação como técnica convencional nacional para recuperar áreas degradadas em minerações de médio e grande porte, como indicado por SOUZA et al. (2016), resultando em serviços ambientais de redução da erosão e atração de fauna dispersora, dentre outros. A soma das ocorrências dessas duas variáveis em 66,45% mostra que, não obstante tenha sido dada a menor importância à Instalações da *Mina* na análise AHP e a maior para *Reflorestamento com Vegetação Nativa*, juntas compuseram uma paisagem de edificações e estradas de acesso preservadas, junto aos lagos das cavas com entorno reflorestados com vegetação nativa, em aproximados 360 km<sup>2</sup>, entre a planície de inundação do rio Paraíba do sul e a área urbana. Isso mostra que a dominância do SE Cultural de recreação e associação histórica (senso de lugar), foi resultado não somente do atendimento a iguais deveres legais, mas também ao pequeno porte das empresas, à igual natureza do minério e ao padrão de ocupação socioeconômico da várzea do rio. Do exposto, a dominância do SE Cultural de recreação não se restringe aos limites do zoneamento e é prevista para todo jusante dos depósitos aluviais, haja vista não haver mudanças significativas no uso do solo. Exemplos dos SE de maior ocorrência (Cultural de recreação e associação histórica (senso de lugar) estão ilustrados em registros fotográficos (Figura 5.1).

Figura 5.1: Registros fotográficos dos SE de maior ocorrência (Cultural de recreação e associação histórica (senso de lugar).

|  |  |
|--|--|
| a) treinamentos de campo/ oficinas de caiaque em cava inundada (Bairro Urbanova, São José dos Campos, SP)                              | b) Pesqueiro do Marson (Vila Industrial, São José dos Campos, SP)                    |
|   |    |
| c) herança da terra para família de antigos mineradores ( <i>Família Ramos</i> )(Distrito de Eugênio de Melo, São José dos Campos, SP) |  |
|    |   |
|   |  |

Fonte: Produção do autor.

O mapa da RGCQ foi elaborado para servir de ferramenta no planejamento das políticas públicas dos municípios do Zoneamento Ambiental para Mineração de Areia, bem como para outras de similar elemento da geodiversidade, através do registro da intensidade da atividade antropocênica típica da mineração de areia. A construção do mapa buscou uma abordagem que ilustrasse a significância do elemento da geodiversidade orientada aos gestores municipais, de forma simples e clara. Embora o governo do Estado seja o responsável pelo licenciamento ambiental, o uso do agregado tem significados diferentes para a atividade econômica e social de cada município.

A consideração da estrutura pela “Flor da Geodiversidade” de Fox et al. (2020), tentou dar uma maior clareza aos tomadores de decisão por município. Em outras palavras, a gestão de cada município tem um interesse específico por “pétala”: enquanto o solo para cultivo rege a economia de um município, para outro são os sedimentos dos depósitos aluviais quaternários que fornecem a areia e ainda para outro o mais determinante é a hidrologia que supre o SE Cultural de lazer pelo rio Paraíba do Sul.

As altas pontuações de SE projetadas no mapa da RGCQ resultaram da tríade: empresa ativa, pontuação máxima das variáveis socioambientais e ausência de multa. O nexo se dá pela adequação à legislação para continuar a mineração. As empresas ativas precisam cumprir os cronogramas de recuperação ambiental para obter novas licenças de operação, e as empresas paralisadas ou fechadas que falharam têm alto potencial de serem incorporadas, se suas multas forem pagas e sua situação regularizada. As áreas que são restituídas ao proprietário com passivos ambientais resultam em uma paisagem onde vegetação cresce de forma imprevisível, devido à falta planejamento na recuperação do ambiente e, conseqüentemente, não há como prever o SE do encerramento nestes locais.

O IVHSU foi elaborado na perspectiva de analisar se as infraestruturas tecnológicas estabelecidas pelas cavas de areia e barragens de sedimentação de rejeitos, trouxeram vulnerabilidade hídrica às cidades do Zoneamento (FERRER, et al., 2018). No estudo de caso aqui elaborado, para o município de São José dos Campos, verificou-se que existe vulnerabilidade hídrica evidenciada pela ocorrência de um evento de interrupção do abastecimento de água, causado por acidente em uma barragem de sedimentação de rejeitos de areia.

O trabalho teve como foco analisar o papel social onerado e desigual da mulher na sociedade e no mercado de trabalho. Verificou-se que políticas públicas insuficientes para facilitar a gestão das demandas conflitivas entre trabalho e cuidados da família, aliada à baixa participação masculina na divisão do trabalho não remunerado, repercutem nas oportunidades laborais das mulheres, das mães com filhos dependentes, e reforça as desigualdades de gênero no mercado de trabalho (SORJ et. al., 2007). A existência de dependentes e a quantidade deles demandam do responsável pela família conciliar seu trabalho fora e dentro de casa. As mulheres chefes de família ficam sobrecarregadas quando da ocorrência de um acidente, pois têm que paralisar as atividades que lhe trazem renda, dando conta de normalizar a situação em casa, cuidando dos dependentes, buscando fontes de água e ainda contando com menor força física. Não obstante, os resultados apontaram que a Renda Média do Responsável por Domicílio foi a variável que mais contribuiu para a Muito Alta IVHSU, seguido por *Relação de Dependência de Idosos e Crianças* e a variável Mulheres Chefe de Família teve papel secundário. Ou seja, a renda foi a variável determinante na composição do indicador, haja vista que o preço de um galão de 20 litros de água era em média R\$5,00 ou US\$1,28 à época, sem o vasilhame. De acordo com a Organização das Nações Unidas, cada pessoa necessita de 3,3 mil litros de água por mês (cerca de 110 litros de água por dia para atender as necessidades de consumo e higiene) e no Brasil, o consumo por pessoa pode chegar a mais de 200 litros/dia (SABESP, 2017). São R\$50,00/ dia/ pessoa, o que para uma família de baixa renda é custoso se comparado ao salário-mínimo nacional de R\$880,00 (US\$225,82) à época do incidente (BRASIL, 2015).

Este trabalho adotou uma abordagem que pode ser replicada nos demais municípios do Zoneamento, e que pode ser utilizada para o planejamento dando subsídio à administração pública na prevenção da crise e gestão em caso de um eventual acidente no intervalo do trecho, haja vista que estas cavas inundadas e barragem de sedimentação de rejeitos passaram a fazer parte da paisagem da várzea e, portanto, são um risco constante.

Este estudo permitiu também analisar o cenário final de SE, através do uso de indicadores focalizado sob duas perspectivas principais: a primeira, no âmbito regional, foi através da construção do IVHSU e mostrou que as desigualdades socioeconômicas apontadas dentro da área urbana da cidade, afetaram a população de maneira distinta.

As diferenças de acesso aos serviços públicos de fornecimento de água por região da cidade denotaram um gradiente da segurança hídrica. As diferenças nas condições sociais e na infraestrutura é que levam à desigualdade na qualidade de vida, vulnerabilidade, exclusão/inclusão social, criando riscos. Entretanto, é importante que estas desigualdades sejam identificadas a fim de destacar as vulnerabilidades e orientar melhor as políticas públicas urbanas.

No segundo ponto de vista, o do elemento da geodiversidade, a transformação dos serviços geossistêmicos pela mineração de areia durante mais de 70 anos, gerou registros perenes na paisagem urbana, como a modificação do traçado do leito do rio Paraíba do Sul desde 1969 pelo projeto de retificação das margens, além da planície de inundação transformada em cavas inundadas intercaladas aos meandros do rio. Esse cenário tecnogênico incorporado na planície de inundação é uma analogia aos “estratos do Antropoceno” de Zalasiewicz et. al. (2017d), os quais descrevem que as cidades mudam de forma relativa aos comportamentos sociais e os seres humanos, mais do que simples agentes das mudanças, estão abarcados por elas e são obrigados a conviver com as consequências do que geraram. Este cenário final também se enquadrou no modelo *Geo-Echo Service Cascade* (FOX et al., 2020) que incorpora estruturas biofísicas do modelo original em cascata com a geodiversidade e os serviços geossistêmicos (VAN REE E VAN BEUKERING, 2016) provendo uma estrutura organizativa que esclarece o papel da geodiversidade (Reserva da Geodiversidade do Cinturão Quaternário) na produção de SE e serviços geossistêmicos (GARCIA, 2019) (SE de Provisão de água e habitat para a fauna selvagem, SE Cultural de recreação, SE de Regulação no controle da erosão, dentre outros) em uma estrutura conjunta de serviços integrados.

## 6. CONCLUSÕES

Através da análise multicritério foram estudadas as variáveis socioambientais e examinado o cenário de SE no encerramento das empresas de mineração no Zoneamento Ambiental para Mineração de Areia, na bacia do rio Paraíba do Sul. Foi observado que a paisagem vem se transformando localmente por cava, mas as relações socioambientais se manifestaram regionalmente, na Reserva da Geodiversidade do Cinturão Quaternário. Por exemplo, no SE Cultural de recreação, que foi o mais recorrente SE identificado e que pode ser projetado para além dos limites do zoneamento, uma vez que à jusante do rio não há mudanças significativas no uso do solo e no elemento da geodiversidade.

A demanda crescente de SE de Provisão de materiais de construção transformou a crosta terrestre e as relações socioecológicas entre mineração e sociedade na região do zoneamento. Estas relações podem ser estendidas para elementos da geodiversidade correlatos, no caso, para locais onde ocorram depósitos aluviais quaternários.

As variáveis socioambientais, mais do que refletirem o SE no fechamento, são a história da recuperação ambiental da área e se refletirão nos registros do Antropoceno.

A observação do cenário do SE no encerramento através do estudo dos fatores socioambientais, é uma ferramenta auxiliar com o objetivo de instrumentar a gestão dos municípios em nome do bem-estar humano.

A análise da readequação ambiental e das medidas compensatórias mostrou que a aderência aos ODS 6, 8, 9 e 11 foi em geral baixa.

A importância da provisão da água para a população é crescente e o risco das infraestruturas tecnológicas de cavas inundadas é presente e, por esse motivo, foi desenvolvido o IVHSU. O estudo de caso mostrou que existe resiliência da população urbana de São José dos Campos a incidentes ocasionais de falta de água, no caso, aquele causado pela ruptura de uma barragem de rejeitos de mineração de areia. O IVHSU também destacou as disparidades territoriais intraurbanas.

O uso de indicadores socioeconômicos no planejamento e gerenciamento de riscos, em eventos com potencial de interromper o abastecimento de água potável, poderá ser

replicado para demais cidades, sejam do Zoneamento ou mesmo fora dela. Através deste estudo de caso verificou-se que os acidentes na infraestrutura produtiva que interferem na captação de água para abastecimento público são um risco tecnológico potencial para os municípios. O incidente na barragem de mineração de areia para avaliar os impactos socioambientais, evidenciou o risco potencial, uma vez que a atividade geralmente ocorre em áreas densamente urbanizadas.

A mineração de areia está consolidada na várzea do Rio Paraíba do Sul, constituindo atividade econômica importante para a região e a existência deste risco tecnológico se estende aos municípios à jusante, que também captam água do rio para abastecimento público. Momentos de aquecimento econômico e alta demanda pelo agregado podem levar a um aumento da extração de areia e consequente diminuição da segurança hídrica.

A partir deste trabalho, ficou evidente que indicadores, sejam socioeconômicos do IVHSU ou socioambientais do RGCQ, são uma ferramenta poderosa para o processo decisório, já que proporcionam uma visão holística do sistema e permitem a identificação de alternativas adequadas para as políticas públicas.

Mostrou-se também que é possível implantar melhorias nos métodos estatísticos, combinadas com o uso de geotecnologias como SIG colaborativo e sensoriamento remoto, como um caminho promissor para o desenvolvimento de novos estudos dedicados à medição de indicadores físicos de atividade produtiva, para a proteção dos recursos hídricos e das populações socialmente vulneráveis.

Estudos utilizando-se métodos científicos são ferramentas importantes para serem aproveitados pelos tomadores de decisão na elaboração de políticas públicas, embora este estudo tenha se limitado a prover informações focando na gestão municipal, haja vista ter sido usada a analogia com a “Flor da Geodiversidade” e a criação do indicador intraurbano do IVHSU.

Além disso, o aumento da urbanização e da utilização dos recursos naturais por toda a superfície terrestre requer uma análise para além dos impactos resultantes da ação humana. Este trabalho faz um paralelo ao modelo *Geo-Echo Service Cascade* e ressalta que o elemento da geodiversidade da RGCQ foi o responsável pela geração dos SE de Provisão de água e habitat e SE Cultural de recreação, em uma estrutura de serviços integrados.

Por derradeiro, essa interação homem-geodiversidade é a que ficará solidificada nos estratos do “Antropoceno” e precisa ser destacada para que possa vir contribuir com o desenvolvimento sustentável da humanidade e a preservação da Terra.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACHÉ, L. M. **A atividade extrativa mineral de areia e suas implicações ambientais na várzea do Paraíba do Sul, Estado de São Paulo**. 177p. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 1991.

ADLER, F. R.; TANNER, C. J. **Ecosistemas urbanos: princípios ecológicos para o ambiente construído**. São Paulo: Oficina de Textos, 2015. 384 p. ISBN 978-85-7975-165-3.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Indicadores de qualidade de água**.

Disponível em:

<https://portal1.snirh.gov.br/ana/apps/webappviewer/index.html?id=b3d9cbc0b05b466a9cb4c014eba748b3>. Acesso em: 13 abr. 2018.

AGÊNCIA NACIONAL DE MINERAÇÃO (ANM). **Sistemas da ANM**. Disponível em: <http://www.anm.gov.br/>. Acesso em: 17 mar. 2018.

ALVARENGA, H. M. F. Uma gigantesca ave fóssil do cenozoico brasileiro: *physornis brasiliensis* sp. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, n. 54, p. 697-712, 1982.

Disponível em:

<<http://memoria.bn.br/DocReader/DocReader.aspx?bib=158119&PagFis=18&Pesq=sciencia>>. Acesso em: 21 fev. 2020.

AMARAL, C.P.; CERRI, L.E.S. Riscos geológicos. In: OLIVEIRA, A.M.S.; BRITO, S.N.A. (Coord.). **Geologia de engenharia**. São Paulo: [s.n.], 1998. p. 301-310.

AMJAD, U. Q.; KAYSER, G.; MEIER, B. M. Rights-based indicators regarding non-discrimination and equity in access to water and sanitation. **Journal of Water Sanitation and Hygiene for Development**, v. 4, n. 1, p. 182–187, 2014.

ANAZAWA, T. M. **Vulnerabilidade e território no litoral norte de São Paulo:**

**indicadores, perfis de ativos e trajetórias**. 2012, 190 p. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 2012. Disponível em: <<http://urlib.net/8JMKD3MGP7W/3CB8UHH>>. Acesso em: 20 ago. 2017.

BAUERMEISTER, K. H. **Distribuição e disponibilidade das áreas de extração de areia para a construção civil, visando o abastecimento da região metropolitana de São Paulo**. Dissertação (Mestrado em Recursos Minerais e Hidrogeologia) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1996. Disponível em:

<https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/44/44133/tde-29092015-143905/pt-br.php>.

Acesso em: 19 jun. 2019.

BERGER, A. R. Assessing rapid environmental change using geoindicators. **Environmental Geology**, v. 32, n. 1, p. 36–44, 1997. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s002540050191>>. Acesso em: 25 out. 2017.

BLONDEEL, M.; VAN DE GRAAF, T. Toward a global coal mining moratorium? a comparative analysis of coal mining policies in the USA, China, India and Australia. **Climate Change**, p. 1–13, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10584-017-2135-5>. Acesso em: 9 out. 2018.

BRASIL. CAMARA DOS DEPUTADOS. Lei n. 12.255, de 15 de junho de 2010: dispõe sobre o salário-mínimo a partir de 1º de janeiro de 2010, estabelece diretrizes para a política de valorização do salário-mínimo entre 2012 e 2023 e revoga a Lei nº 11.944, de 28 de maio de 2009. **Diário Oficial da União**, 16/06/2010, s. 1, p. 1. Disponível em: <<https://www2.camara.leg.br/legin/fed/lei/2010/lei-12255-15-junho-2010-606730-norma-pl.html>>. Acesso em: 1 set. 2017.

BRASIL. CAMARA DOS DEPUTADOS. Decreto n. 8.618, de 29 de dezembro de 2015: regulamenta a Lei nº 13.152, de 29 de julho de 2015, que dispõe sobre o valor do salário-mínimo e a sua política de valorização de longo prazo. **Diário Oficial da União**, 30/12/2015, ed. 249, s. 1, p. 5. Disponível em: <[http://www.in.gov.br/materia/-/asset\\_publisher/Kujrw0TZC2Mb/content/id/30177013/do1-2015-12-30-decreto-n-8-618-de-29-de-dezembro-de-2015-30177007](http://www.in.gov.br/materia/-/asset_publisher/Kujrw0TZC2Mb/content/id/30177013/do1-2015-12-30-decreto-n-8-618-de-29-de-dezembro-de-2015-30177007)>. Acesso em: 1 set. 2017.

BRILHA, J.; GRAY, M.; PEREIRA, D. I.; PEREIRA, P. Geodiversity: an integrative review as a contribution to the sustainable management of the whole of nature. **Environmental Science and Policy**, v. 86, p. 19–28, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2018.05.001>. Acesso em: 27 nov. 2020.

BROUWER, R.; AKTER, S.; BRANDER, L.; HAQUE, E. Socioeconomic vulnerability and adaptation to environmental risk: a case study of climate change and flooding in Bangladesh. **Risk Analysis**, v. 27, n. 2, p. 313–326, 2007. Disponível em: <http://doi.wiley.com/10.1111/j.1539-6924.2007.00884.x>. Acesso em: 3 set. 2020.

CARRIELLO, F.; REZENDE, F. S.; NEVES, O. M. S.; RODRIGUEZ, D. A. Forestry expansion during the last decades in the Paraíba do Sul basin - Brazil. **International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives**, v. 41, p. 857–861, 2016. Disponível em: <https://www.int-arch-photogramm-remote-sens-spatial-inf-sci.net/XLI-B8/857/2016/isprs-archives-XLI-B8-857-2016.pdf>. Acesso em: 15 nov. 2019.

COLTRINARI, L. Mudanças ambientais globais e geoindicadores. **Pesquisas em Geociências**, v. 28, n. 2, p. 307-314, 2001. Disponível em <<https://doi.org/10.22456/1807-9806.20304>>. Acesso em: 19 abr. 2018.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB). **Sistema Infoáguas**: qualidade de águas superficiais por parâmetro. São Paulo: Governo do Estado de São Paulo. Disponível em:

<https://sistemainfoaguas.cetesb.sp.gov.br/AguasSuperficiais/RelatorioQualidadeAguasSuperficiais/Parametro>. Acesso em: 9 ago. 2017.

COMPANHIA DE SANEAMENTO BÁSICO DO ESTADO DE SÃO PAULO (SABESP). **Meio ambiente/ uso racional da água/ dicas de economia**. Disponível em: <<http://site.sabesp.com.br/site/interna/Default.aspx?secaoId=140>>. Acesso em: set. 2017.

COOK, C.; BAKKER, K. Water security: debating an emerging paradigm. **Global Environmental Change**, v.22, n.1, p. 94–102, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2011.10.011>. Acesso em: 24 fev 2020.

COOPER, A. H.; BROWN, T. J.; PRICE, S. J.; FORD, J. R.; WATERS, C. N. Humans are the most significant global geomorphological driving force of the 21st century. **The Anthropocene Review**, v. 5, n. 3, p. 222–229, 2018. Disponível em: <http://journals.sagepub.com/doi/10.1177/2053019618800234>. Acesso em: 19 dez. 2018.

CORCORAN, P. L.; MOORE, C. J.; JAZVAC, K. An anthropogenic marker horizon in the future rock record. **GSA Today**, n. 6, p. 4–8, 2013.

COSTA, S. M. F; MARIA M. G. Crescimento urbano e novas formas de urbanização na cidade de São José dos Campos (SP). In: COSTA, S. M. F.; MELLO, L. F. (Org). **Crescimento urbano e industrialização em São José dos Campos**. São José dos Campos: Intergraf, 2010. (Coleção São José dos Campos: história & Cidade, 5). Disponível em: <http://www.camarasjc.sp.gov.br/promemoria/wp-content/uploads/2018/07/Volume-V-Crescimento-Urbano-e-Industrializa%C3%A7%C3%A3o-em-S%C3%A3o-Jos%C3%A9-dos-Campos.pdf>. Acesso em: 10 mar. 2020.

COSTANZA, R.; D'ARGE, R.; DE GROOT, R.; FARBER, S.; GRASSO, M.; HANNON, B.; LIMBURG, K., NAEEM, S.; O'NEILL, R.V.; PARUELO, J.; RASKIN, R.G.; SUTTON, P.; VAN DEN BELT, M. The value of the world's ecosystem services and natural capital. **Nature** v. 387, n. 6630, p. 253–260, 1997. Disponível em <<https://doi.org/10.1038/387253a0>>. Acesso em: 16 jul. 2018

COSTANZA, R.; DE GROOT, R.; BRAAT, L.; KUBISZEWSKI, I.; FIORAMONTI, L.; SUTTON, P.; FARBER, S.; GRASSO, M. Twenty years of ecosystem services: how far have we come and how far do we still need to go? **Ecosystem Service** v. 28, p. 1–16, 2017. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2017.09.008>>. Acesso em: 16 jul. 2018.

DE CARVALHO RESSIGUIER RIBEIRO, M. C.; DA SILVA ALVES, A. Aplicação do método Analytic Hierarchy Process (AHP) com a mensuração absoluta num problema de seleção qualitativa. **Sistemas & Gestão**, v. 11, n. 3, p. 270–281, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.20985/1980-5160.2016.v11n3.988>. Acesso em: 4 jul. 2020.

DE LEEUW, J.; SHANKMAN, D.; WU, G.; DE BOER, W.F.; BURNHAM, J.; HE, Q.; YESOU, H.; XIAO, J. Strategic assessment of the magnitude and impacts of sand mining in Poyang Lake, China. **Regional Environmental Change**, v. 10, n. 2, p. 95–102, 2010. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s10113-009-0096-6>>. Acesso em: 3 jul. 2018.

DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA (DAEE). **Pesquisa de dados dos recursos hídricos do Estado de São Paulo**. Disponível em: <<http://www.aplicacoes.daee.sp.gov.br/usuarios/fchweb.html>>. Acesso em: 1 set. 2017.

DOS REIS, B. J.; BATISTA, G. T.; DOS SANTOS TARGA, M.; DE SOUZA CATELANI, C. Influência das cavas de extração de areia no balanço hídrico do vale do Paraíba do Sul. **Revista Escola de Minas**, v. 59, n. 4, p. 391–396, 2006. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0370-44672006000400007>>. Acesso em: 1 ago. 2020.

DOWNS, P.W.; PIÉGAY, H. Catchment-scale cumulative impact of human activities on river channels in the late Anthropocene: implications, limitations, prospect. **Geomorphology**, n. 338, p. 88–104, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2019.03.021>. Acesso em: 18 nov. 2019.

DUBIŃSKI, J. Sustainable development of mining mineral resources. **Journal of Sustainable Mining**, v. 12, n. 1, p. 1–6, 2013. Disponível em: <http://dx.medra.org/10.7424/jsm130102>. Acesso em: 26 jul. 2020.

DURAIAPPAH, A. K.; NAEEM, S.; AGARDY, T.; ASH, N. J.; COOPER, H. D.; DÍAZ, S.; FAITH, D. P.; MACE, G.; MCNEELY, J. A.; MOONEY, H. A.; OTENG-YEBOAH, A. A.; PEREIRA, H. M.; POLASKY, S.; PRIP, C.; REID, W. V.; SAMPER, C.; SCHEI, P. J.; SCHOLE, R.; SCHUTYSER, F.; JAARSVE, A. VAN; MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT. **Ecosystems and human well-being**. [S.l]: Millenium Ecosystem Assessment, 2005. ISBN 1597260401.

EMPRESA PAULISTA DE PLANEJAMENTO METROPOLITANO (EMPLASA). **Região metropolitana do Vale do Paraíba e Litoral Norte**. São Paulo. 2010-2019. Disponível em: <<https://emplasa.sp.gov.br/RMVPLN>>. Acesso em: 15 nov. 2019.

ENGLUND, O.; BERNDES, G.; CEDERBERG, C. How to analyse ecosystem services in landscapes: a systematic review. **Ecological Indicators**, v. 73, p. 492–504, 2017. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.10.009>>. Acesso em: 3 jul. 2018.

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA). **What is an environmental indicator?** Disponível em: <https://www.epa.gov/risk/mira-environmental-indicators>. Acesso em: 04 out. 2018.

EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY (EEA). **Environmental indicators: typology and overview**. [S.l.]: EEA, 1999. 19p. (Technical Report, 25). Disponível em: <https://www.eea.europa.eu/publications/TEC25>. Acesso em: 25 out. 2017.

FERNANDINO, G.; ELLI, C. I.; FRANCISCHINI, H.; DENTZIEN-DIAS, P. Anthropoquinas: first description of plastics and other man-made materials in recently formed coastal sedimentary rocks in the southern hemisphere. **Marine Pollution Bulletin**. v. 154, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111044>. Acesso em: 18 jun. 2020.

FERRER, L. M.; MONTEIRO, A. M. V.; KAMPEL, S. A. Indicador de Vulnerabilidade Social Urbana ao Desabastecimento de água (IVSUD), São José dos Campos/SP. In: SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DA BACIA DO RIO PARAÍBA DO SUL, 3., 2018, Juiz de Fora, Brasil. **Anais... Juiz de Fora: DESA-UFJF**, 2018. p. 736-977. Disponível em: <<https://www.ufjf.br/srhps/files/2018/09/Anais-III-SRHPS.pdf>>. Acesso em: 13 fev. 2021.

FLIERVOET, J.M., VAN DEN BORN, R.J.G. From implementation towards maintenance: sustaining collaborative initiatives for integrated floodplain management in the Netherlands. **International Journal of Water Resources Development**. v. 33, n. 4, p. 570–590, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/07900627.2016.1200962>. Acesso em: 17 set. 2018.

FORTE, J. P.; BRILHA, J.; PEREIRA, D. I.; NOLASCO, M. Kernel density applied to the quantitative assessment of geodiversity. **Geoheritage**, v. 10, n. 2, p. 205–217, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s12371-018-0282-3>>. Acesso em: 20 jul. 2020.

FOX, N.; GRAHAM, L. J.; EIGENBROD, F.; BULLOCK, J. M.; PARKS, K. E. Incorporating geodiversity in ecosystem service decisions. **Ecosystems and People**, v. 16, n. 1, p. 151–159, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/26395916.2020.1758214>. Acesso em: 24 jan. 2021.

GARCIA, M. G. M. Ecosystem services provided by geodiversity: preliminary assessment and perspectives for the sustainable use of natural resources in the coastal region of the State of São Paulo, southeastern Brazil. **Geoheritage**, v. 11, n. 4, p. 1257–1266, 28 dez. 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s12371-019-00383-0>. Acesso em: 24 jan. 2021.

GASTAUER, M.; SILVA, J. R.; CALDEIRA JUNIOR, C. F.; RAMOS, S. J.; SOUZA FILHO, P. W. M.; FURTINI NETO, A. E.; SIQUEIRA, J. O. Mine land rehabilitation: modern ecological approaches for more sustainable mining. **Journal of Cleaner Production**, v. 172, p. 1409–1422, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.10.223>. Acesso em: 3 jul. 2018.

- GESTOSO, I.; CACABELOS, E.; RAMALHOSA, P.; CANNING-CLODE, J. Plasticrusts: a new potential threat in the Anthropocene's rocky shores. **Science of the Total Environment**, v. 687, p. 413–415, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.06.123>. Acesso em: 15 jun. 2020.
- GILL, J. C. Geology and the sustainable development goals. **Episodes**, v. 40, n. 1, p. 70–76, 1 mar. 2017. Disponível em <<https://doi.org/10.18814/epiiugs/2017/v40i1/017010>>. Acesso em: 07 jul. 2021.
- GOEPEL, K.D. Implementation of an online software tool for the Analytic Hierarchy Process (AHP-OS). **International Journal of the Analytic Hierarchy Process**, v. 10, n.3 2018, p. 469-487, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.13033/ijahp.v10i3.590>. Acesso em: 1 abr. 2019.
- GORDON, J. E.; BARRON, H. F. Valuing geodiversity and geoconservation: developing a more strategic ecosystem approach. **Scottish Geographical Journal**, v. 128, n. 3-4, p. 278–297, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/14702541.2012.725861>. Acesso em: 14 out. 2019.
- GRAY, M. **Geodiversity**: valuing and conserving abiotic nature. Chichester: John Wiley & Sons, 2004. 450 p. ISBN 0470848952.
- GRAY, M. **Geodiversity**: valuing and conserving abiotic nature. 2.ed. Chichester: Willey-Blackwell, 2013. 508 p. ISBN 0470742173.
- GRAY, M. Other nature: geodiversity and geosystem services. **Environmental Conservation**, v. 38, n. 3, p. 271–274, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1017/S0376892911000117>. Acesso em: 16 set. 2019.
- GRAY, M. Valuing geodiversity in an “ecosystem services” context. **Scottish Geographical Journal**, v. 128, p. 177–194, 2012. Disponível em: <<https://doi.org/10.1080/14702541.2012.725858>>. Acesso em: 14 out. 2019.
- GRAY, M. Geodiversity, geoheritage and geoconservation for society. **International Journal of Geoheritage and Parks**, v. 7, p. 226–236, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.ijgeop.2019.11.001>>. Acesso em: 14 fev. 2020.
- GRAY, M.; GORDON, J. E.; BROWN, E. J. Geodiversity and the ecosystem approach: the contribution of geoscience in delivering integrated environmental management. **Proceedings of the Geologists' Association**, v. 124, n. 4, p. 659–673, 2013. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.pgeola.2013.01.003>>. Acesso em: 22 nov. 2019.
- GREY, D.; SADOFF, C. W. Sink or swim? water security for growth and development. **Water Policy**, v. 9, n. 6, 545–571, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.2166/wp.2007.021>. Acesso em: 4 mar. 2020.

HAMMOND, A.; ADRIAANSE, A.; RODENBURG, E.; BRYANT, D.; WOODWARD R. **Environmental indicators: a systematic approach to measuring and reporting on environmental policy performance in the context of sustainable development.** [S.l.]: World Resources Institute, 1995. 58p. ISBN 1-56973-026-1. Disponível em <<http://infohouse.p2ric.org/ref/30/29288.pdf>>. Acesso em: 1 abr. 2018.

HOPE, R.; ROUSE, M. Risks and responses to universal drinking water security. **Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences**, v. 371, n. 2002, e20120417, 2013. Disponível em: <https://royalsocietypublishing.org/doi/pdf/10.1098/rsta.2012.0417>. Acesso em: 6 set. 2020.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Censo 2010 - resultados.** Disponível em: <<http://censo2010.ibge.gov.br/resultados>>. Acesso em: 23 ago. 2017.

INTERNATIONAL COMMISSION ON STRATIGRAPHY (ICS). **Stratigraphy.** 2020. Disponível em: <<https://stratigraphy.org/>>. Acesso em: 30 jun. 2020.

JAIN, P. K. Reformation in mining sector: a national perspective. **Mineral Economics**, v. 29, p. 87–96, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s13563-016-0093-4>. Acesso em: 9 out. 2018.

JOHNSON, W.P.; FREDERICK, L.E.; MILLINGTON, M.R.; VALA, D.; REESE, B.K.; FREEDMAN, D.R.; STENTEN, C.J.; TRAUSCHT, J.S.; TINGEY, C.E.; KIP SOLOMON, D.; FERNANDEZ, D.P.; BOWEN, G.J. Potential impacts to perennial springs from tar sand mining, processing, and disposal on the Tavaputs Plateau, Utah, USA. **Science of Total Environment**. v. 532, p. 20–30, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.05.127>. Acesso em: 17 mar. 2020.

KOEHNKEN, L.; RINTOUL, M. **Impacts of sand mining on ecosystem structure, process and biodiversity in rivers.** [S.l.]: WWF, 2018. 159 p. ISBN 978-2-940529-88-9.

LARONDELLE, N.; HAASE, D. Valuing post-mining landscapes using an ecosystem services approach - an example from Germany. **Ecological Indicators**, v. 18, p. 567–574, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2012.01.008>. Acesso: em 17 nov. 2017.

LAVKULICH, L. M.; ULAZZI, E. Environmental indicators for water resources management, In: MEIRE, P. et al. (Ed.). **Integrated water management: practical experiences and case studies.** Dordrecht: Springer, 2008, p. 325-342.

LE CLEC'H, S.; OSZWALD, J.; DECAENS, T.; DESJARDINS, T.; DUFOUR, S.; GRIMALDI, M.; JEGOU, N.; LAVELLE, P. Mapping multiple ecosystem services indicators: toward an objective-oriented approach. **Ecological Indicators**, v. 69, p. 508–521, 2016. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.05.021>>. Acesso em: 31 out. 2020.

LOPES, P. D. Affordability and disconnections challenges in implementing the human right to water in Portugal. **Water (Switzerland)**, v. 12, n. 3, p. 684, 2020. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4441/12/3/684>. Acesso em: 31 ago. 2020.

LUNDIN, M.; MORRISON, G. M. A life cycle assessment based procedure for development of environmental sustainability indicators for urban water systems. **Urban Water**, v. 4, n.2, p. 145–152, 2002.

MACEDO, A. B.; FREIRE, D. J. A. M.; AKIMOTO, H. Environmental management in the Brazilian non-metallic small-scale mining sector. **Journal of Cleaner Production**, v. 11, n. 2, p. 197–206, 2003. Disponível em: <[https://doi.org/10.1016/S0959-6526\(02\)00039-2](https://doi.org/10.1016/S0959-6526(02)00039-2)>. Acesso em: 16 abr. 2020.

MANCINI, L.; SALA, S. Social impact assessment in the mining sector: review and comparison of indicators frameworks. **Resources Policy**, v. 57, p. 98–111, 2018. Disponível em <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2018.02.002>. Acesso em: 9 out. 2018.

MIL-HOMENS, M.; VALE, C.; NAUGHTON, F.; BRITO, P.; DRAGO, T.; ANES, B.; RAIMUNDO, J.; SCHMIDT, S.; CAETANO, M. Footprint of roman and modern mining activities in a sediment core from the southwestern Iberian Atlantic shelf. **Science of Total Environment**, v. 571, p. 1211–1221, 2016. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.07.143>>. Acesso em: 17 mar. 2020.

MILMAN, A.; SHORT, A. Incorporating resilience into sustainability indicators: an example for the urban water sector. **Global Environmental Change**, v. 18, n. 4, p. 758–767, 2008. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2008.08.002>>. Acesso em: 1 abr. 2018

MUKAIDONO, M. **Fuzzy logic for beginners**. Singapore: World Scientific Publishing, 2001. 105p. ISBN 981-02-4534-3.

MUKHERJEE, S.; SUNDBERG, T.; SCHÜTT, B. Assessment of water security in socially excluded areas in Kolkata, India: an approach focusing on water, sanitation and hygiene. **Water (Switzerland)**, v. 12, n. 3, p. 746, 2020. Disponível em: <<https://www.mdpi.com/2073-4441/12/3/746>>. Acesso em: 31 ago. 2020.

NAÇÕES UNIDAS BRASIL (ONU-BR). **Declaração universal dos direitos humanos**. 2009. 17p. Disponível em: <https://brasil.un.org/sites/default/files/2020-09/por.pdf>. Acesso em: 28 ago. 2020.

NAÇÕES UNIDAS BRASIL (ONU-BR). **United Nations**: sustainable development goals 2030. 2017. Disponível em: <<https://nacoesunidas.org/tema/ods6/>>. Acesso em: 27 maio 2017.

NÚCLEO DE ECONOMIA REGIONAL E URBANA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO (NEREUS). **Shape files do Brasil**. São Paulo: Universidade de São Paulo. Disponível em: <http://www.usp.br/nereus/?dados=brasil>. Acesso em: 3 jan. 2019.

OKKAN, U.; KIRDEMIR, U. Investigation of the behavior of an agricultural-operated dam reservoir under RCP scenarios of AR5-IPCC. **Water Resources Management**, n.32, n.8, p. 2847–2866, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s11269-018-1962-0>>. Acesso em: 27 fev. 2020.

PAPALI, M. A.; COSTA, S. F.; ZANETTI, V.; ALMEIDA, D.; CARVALHO, L. C. G. Dinâmica urbana da Zona Leste de São José dos Campos, SP e a Refinaria Henrique Lage (Revap). In: COSTA, S. M. F.; MELLO, L. F. de (Org). **Crescimento urbano e industrialização em São José dos Campos** São José dos Campos: Intergraf, 2010. (São José dos Campos: história & Cidade, 5). Disponível em: <<http://www.camarasjc.sp.gov.br/promemoria/wp-content/uploads/2018/07/Volume-V-Crescimento-Urbano-e-Industrializa%C3%A7%C3%A3o-em-S%C3%A3o-Jos%C3%A9-dos-Campos.pdf>>. Acesso em: 10 mar. 2020.

PELOGGIA, A. U. G. Conceitos fundamentais da análise de terrenos antropogênicos: o estudo da agência geológico-geomorfológica humana e de seus registros. **Instituto Geológico**, v. 40, n. 1, p. 1–17, 2019. Disponível em <<https://doi.org/10.33958/revig.v40i1.626>>. Acesso em: 13 nov. 2020.

PEREIRA, R.G.F.A. **Geodiversity and the interactions of socio-natural systems in an Anthropocene perspective**. [S.l.]: CIRAS, 2019. Disponível em: <[https://doi.org/10.14989/CIRASDP\\_90\\_13](https://doi.org/10.14989/CIRASDP_90_13)>. Acesso em: 15 nov. 2019.

PETERS, T.M.; O'SHAUGHNESSY, P.T.; GRANT, R.; ALTMAIER, R.; SWANTON, E.; FALK, J.; OSTERBERG, D.; PARKER, E.; WYLAND, N.G.; SOUSAN, S.; STARK, A.L.; THORNE, P.S. Community airborne particulate matter from mining for sand used as hydraulic fracturing proppant. **Science of Total Environment**, v. 609, p. 1475–1482, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.08.006>. Acesso em: 17 mar. 2020.

PINESE JÚNIOR, J.F., RODRIGUES, S.C. O método de análise hierárquica – AHP – como auxílio na determinação da vulnerabilidade ambiental da bacia hidrográfica do Rio Piedade (MG). **Revista do Departamento de Geografia**, v. 23, n. 2012, p. 4–26, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.7154/rdg.2012.0023.0001>. Acesso em: 4 fev. 2020.

- PORTO, M. F. S.; FREITAS, C. M. Análise de riscos tecnológicos ambientais: perspectivas para o campo da saúde do trabalhador. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 13, n. supl. 2, p. S59–S72, 1997. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0102-311X1997000600006>. Acesso em: 8 set. 2020
- POTSCHIN-YOUNG, M.; HAINES-YOUNG, R.; GÖRG, C.; HEINK, U.; JAX, K.; SCHLEYER, C. Understanding the role of conceptual frameworks: Reading the ecosystem service cascade. **Ecosystem Services**, v. 29, p. 428–440, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2017.05.015>>. Acesso em: 2 jul. 2021.
- QIAN, D.; YAN, C.; XIU, L.; FENG, K. The impact of mining changes on surrounding lands and ecosystem service value in the Southern Slope of Qilian Mountains. **Ecological Complexity**, v. 36, n. 23, p. 138–148, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ecocom.2018.08.002>. Acesso em: 6 set. 2018.
- RAMPANELLI, A. M.; SAAD, A. R.; ARAUJO NETO, E.; CASADO F. C.; ETCHEBEHERE, M. L. C. Recursos naturais da Bacia Sedimentar de Taubaté como fator de desenvolvimento socioeconômico: um estudo aplicado aos municípios de Taubaté e Tremembé, Estado de São Paulo. **Geociências**, v. 30, n. 3, p. 327-343, 2011. Disponível em: <<http://www.ppegeo.igc.usp.br/index.php/GEOSP/article/view/7178/6623>>. Acesso em: 4 ago. 2020.
- RAVAR, Z.; ZAHRAIE, B.; SHARIFINEJAD, A.; GOZINI, H.; JAFARI, S. System dynamics modeling for assessment of water–food–energy resources security and nexus in Gavkhuni basin in Iran. **Ecological Indicators**, v. 108, p. 105682, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.105682>>. Acesso em: 24 fev. 2020.
- REDONDO-VEGA, J. M.; GÓMEZ-VILLAR, A.; SANTOS-GONZÁLEZ, J.; GONZÁLEZ-GUTIÉRREZ, R. B.; ÁLVAREZ-MARTÍNEZ, J. Changes in land use due to mining in the north-western mountains of Spain during the previous 50 years. **Catena**, v. 149, p. 844–856, 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.catena.2016.03.017>. Acesso em: 3 jul. 2018.
- REIS, N. L.; BARRETO, M. L. **Desativação de empreendimento mineiro no Brasil**. São Paulo: Signus, 2000. 48 p.
- REIS, F.A.G.V.; GIORDANO, L. C.; MEDEIROS, G.A.; CERRI, L.E.S.; ZAINÉ, J.E.; MASCARO, S.A.; PILACHEVSKY, T.; DE MACEDO, J.G.C.; AMENDOLA, D.P.; DOMINGUES, L.S.V.; CHRISTIANINI, A.L.C.; ANDRADE, C.M.; LUMIATTI, G.; LUNARDI, M. Environmental licencing for extraction of sand and clay in the São Paulo State, Brazil. In: QUINTA-FERREIRA, M.; BARATA, M. T.; LOPES, F. C.; ANDRADE, A. I.; HENRIQUES, M. H.; REIS, R. P.; IVO ALVES, E. (Coord.). **Para desenvolver a Terra: memórias e notícias de geociências no espaço lusófono**. Coimbra: Universidade de Coimbra, 2012, p. 475-481. Disponível em: <[https://digitalis-dsp.uc.pt/jspui/bitstream/10316.2/31492/1/47-Para\\_desenvolver\\_a\\_terra\\_artigo..pdf?ln=pt-pt](https://digitalis-dsp.uc.pt/jspui/bitstream/10316.2/31492/1/47-Para_desenvolver_a_terra_artigo..pdf?ln=pt-pt)>. Acesso em: 24 abr. 2019.

RENN, O.; BENIGHAUS, C. Perception of technological risk: insights from research and lessons for risk communication and management. **Journal of Risk Research**, v. 16, n. 3–4, p. 293–313, 2013. Disponível em <https://doi.org/10.1080/13669877.2012.729522>. Acesso em: 4 nov. 2020.

REVERTE, F. C.; GARCIA, M. DA G. M.; BRILHA, J.; PELLEJERO, A. U. Assessment of impacts on ecosystem services provided by geodiversity in highly urbanised areas: a case study of the Taubaté Basin, Brazil. **Environmental Science and Policy**, v. 112, p. 91–106, 2020.

RICCOMINI, C.; SANT'ANNA, L. G.; FERRARI, A. L. Evolução geológica do rift continental do sudeste do Brasil. In: ALMEIDA, F. F. M. (Ed.). **Geologia do continente sul-americano**. São Paulo: Beca, 2004. v. 1, p. 383-405. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/281589766\\_Evolucao\\_geologica\\_do\\_rift\\_conti\\_nental\\_do\\_sudeste\\_do\\_Brasil\\_2004#fullTextFileContent](https://www.researchgate.net/publication/281589766_Evolucao_geologica_do_rift_conti_nental_do_sudeste_do_Brasil_2004#fullTextFileContent). Acesso em: 25 out. 2017.

RODRIGUES, C. Atributos ambientais no ordenamento territorial urbano: o exemplo das planícies fluviais na Metrópole de São Paulo. **GEOUSP: Espaço e Tempo**, v. 19, n. 2, p. 324–347, 2015. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/geousp/article/view/102805>. Acesso em: 16 jun. 2020.

RODRIGUEZ-ITURBE, I. Ecohydrology: a hydrologic perspective of climate-soil-vegetation dynamics. **Water Resources Research**, v. 36, n. 1, p. 3–9, 2000. Disponível em: <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1029/1999WR900210>. Acesso em: 10 dez. 2020.

RUFAT, S.; TATE, E.; BURTON, C. G.; MAROOF, A. S. Social vulnerability to floods: review of case studies and implications for measurement. **International Journal of Disaster Risk Reduction**, v. 14, p. 470–486, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2015.09.013>. Acesso em: 1 set. 2020.

SAATY, T. L. **Método de análise hierárquica**. São Paulo: Makron, 1991. 367 p.

SANTO, E.L.; SÁNCHEZ, L.E. GIS applied to determine environmental impact indicators made by sand mining in a floodplain in southeastern Brazil. **Environmental Geology**, v. 41, n. 6, p. 628-637, 2002. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s002540100441>>. Acesso em: 23 abr. 2017.

SÃO JOSÉ DOS CAMPOS. PREFEITURA MUNICIPAL. **Lei nº3974 de 6 de junho de 1991**: dispõe sobre todo e qualquer tipo de extração de areia em rios ou cursos d'água do Município. São José dos Campos: Boletim do Município, 1991. Disponível em: <<http://www.sjc.sp.gov.br/legislacao/Leis/1991/3974.pdf>>. Acesso em: 16 go. 2017.

SÃO JOSÉ DOS CAMPOS. PREFEITURA MUNICIPAL. **PMSB - Plano Municipal de Saneamento Básico 2012**. São José dos Campos: Prefeitura Municipal, 2012. Disponível em: <[http://www.sjc.sp.gov.br/media/372150/plano\\_municipal\\_saneamento\\_basico.pdf](http://www.sjc.sp.gov.br/media/372150/plano_municipal_saneamento_basico.pdf)>. Acesso em: 16 ago. 2017.

SÃO JOSÉ DOS CAMPOS. PREFEITURA MUNICIPAL. **ATENÇÃO! O rompimento da barragem de uma cava de areia atingiu o rio Paraíba em Jacareí nesta sexta-feira (05).** *Facebook @PrefeituraSJC*, 06 fev. 2016. Disponível em: <<https://www.facebook.com/PrefeituraSJC/posts/1025357274154269:0>>. Acesso em: 21 set. 2017.

SÃO JOSÉ DOS CAMPOS. PREFEITURA MUNICIPAL. **Zoneamento:** legislação e mapas do município. São José dos Campos: Prefeitura Municipal, 2019. Disponível em: <<https://www.sjc.sp.gov.br/servicos/urbanismo-e-sustentabilidade/uso-do-solo/zoneamento/>>. Acesso em: 14 fev. 2020.

SÃO PAULO. SECRETARIA DE MEIO AMBIENTE. **Avaliação da recuperação ambiental da mineração de areia para aperfeiçoar os instrumentos de gestão Várzea do Paraíba do Sul.** São Paulo: Governo do Estado, 2008. Disponível em: <<https://www.infraestruturameioambiente.sp.gov.br/cpla/2013/03/ugrhi-2-paraiba-do-sul/>>. Acesso em: 8 nov. 2018.

SÃO PAULO. SECRETARIA DE MEIO AMBIENTE. **Projeto Paraíba do Sul:** potencialidade de areia do trecho: Jacareí-Pindamonhangaba – fase 1. São Paulo: Governo do Estado, 2009. ISBN 9788587235107. Disponível em: <<https://www.infraestruturameioambiente.sp.gov.br/institutogeologico/2009/11/projeto-paraiba-do-sul-potencialidade-de-areia-edicao-digital-2009/>>. Acesso em: 25 out. 2017.

SÃO PAULO. SECRETARIA DE MEIO AMBIENTE. **Subsídios ao planejamento ambiental da unidade hidrográfica de gerenciamento de recursos hídricos Paraíba do Sul: UGRHI 02.** São Paulo: Governo do Estado, 2011. ISBN 9788586624995. Disponível em: <[http://s.ambiente.sp.gov.br/cpla/Subsidios\\_ao\\_Planejamento\\_Ambiental\\_UGRHI-021.pdf](http://s.ambiente.sp.gov.br/cpla/Subsidios_ao_Planejamento_Ambiental_UGRHI-021.pdf)>. Acesso em: ago. 2018.

SÃO PAULO. SECRETARIA DE MEIO AMBIENTE. **Relatório das atividades do GT Paraíba criado pela resolução SMA 16 de 28/04/2011.** São Paulo: Governo do Estado, 2012. Disponível em: <[https://smastr16.blob.core.windows.net/cpla/2011/09/Relat%C3%B3rio-GT-Para%C3%ADba\\_Resolu%C3%A7%C3%A3o-SMA-16-2011.pdf](https://smastr16.blob.core.windows.net/cpla/2011/09/Relat%C3%B3rio-GT-Para%C3%ADba_Resolu%C3%A7%C3%A3o-SMA-16-2011.pdf)>. Acesso em: 24 fev. 2019.

SÃO PAULO. SECRETARIA DE INFRAESTRUTURA E MEIO AMBIENTE DO GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO. COORDENADORIA DE PLANEJAMENTO AMBIENTAL. **Termo de cessão de uso do *Shapefile* indicativo do zoneamento ambiental para atividade de extração de areia na várzea do Rio Paraíba do Sul, para o trecho Jacareí – Pindamonhangaba, instituído pela Resolução SMA nº 28, de 22 de setembro de 1999:** projeção: UTM Datum: SAD69. São Paulo: Governo do Estado, 2019.

SAUSEN T. M. **Modificação na forma do canal do rio em função da ação antrópica.** Ex: rio Paraíba do Sul. 83p. Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 1988. Disponível em: <sausen-1\_COMUT TE 47277\_págs. 83 p.-1º arquivo>. Acesso em: 29 nov. 2019.

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL (CPRM). **Geodiversidade do Estado de São Paulo.** 2010. Disponível em: [www.cprm.gov.br](http://www.cprm.gov.br). Acesso em: 17 maio 2019.

SHEPPARD, S. R. J.; CIZEK, P. The ethics of Google Earth: crossing thresholds from spatial data to landscape visualisation. **Journal of Environmental Management**, v. 90, n. 6, p. 2102–2117, 2009. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2007.09.012>>. Acesso em: 30 set. 2019.

SICHE, R.; AGOSTINHO, F.; ORTEGA, E.; ROMEIRO, A. Índices versus indicadores: precisões conceituais na discussão da sustentabilidade de países. **Ambiente e Sociedade**, v. 10, n. 2, 137–148, 2007. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/s1414-753x2007000200009>>. Acesso em: 13 fev. 2020.

SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS E GEOAMBIENTAIS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARAÍBA DO SUL (SIGA-CEIVAP). **Siga Web.** Disponível em: <http://sigaceivap.org.br/siga-ceivap/map>. Acesso em: 9 ago. 2017.

SILVERMAN, B. W. **Density estimation for statistics and data analysis.** Nova York: Chapman and Hall, 1986. 175 p.

SIMI, R.; SIMI JUNIOR, R.; RUDORFF, B. F. T. Monitoramento e análise da evolução das cavas de areia na várzea do Rio Paraíba do Sul. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14., 2009, Natal, Brasil. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2009. p. 5467-5474. Disponível em: <http://wiki.dpi.inpe.br/lib/exe/fetch.php?media=cst-310-popea:5467-5474.pdf>. Acesso em: 12 ago. 2017.

SORJ, B.; FONTES A.; MACHADO, D. C. Políticas e práticas de conciliação entre família e trabalho no Brasil. **Cadernos de Pesquisa**, v. 37, n. 132, 2007. Disponível em: [https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0100-15742007000300004&lng=pt&tlng=pt](https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-15742007000300004&lng=pt&tlng=pt). Acesso em: 8 set. 2017.

SOUZA, A. A. M.; COSTA, W. M. Atividades industriais no interior do Estado de São Paulo: uma análise da formação do complexo tecnológico- industrial-aeroespacial de São José dos Campos. **Interface**, v. 6, n. 2, 2009. Disponível em: <https://ojs.ccsa.ufrn.br/index.php/interface/article/view/101/0>. Acesso em: 31 nov. 2020

SOUZA, C. A.; GALLARDO, A. L. C. F.; SILVA, E. D.; MELLO, Y. C.; RIGHI, C. A.; SOLERA, M. L. Serviços ambientais associados à recuperação de áreas degradadas por mineração. **Ambiente & Sociedade**, v. 19, n. 2, p. 139-168, 2016. Disponível em: <[https://www.scielo.br/pdf/asoc/v19n2/pt\\_1809-4422-asoc-19-02-00137.pdf](https://www.scielo.br/pdf/asoc/v19n2/pt_1809-4422-asoc-19-02-00137.pdf)>. Acesso em: 3 jul. 2020.

SUN, G.; HALLEMA, D.; ASBJORNSEN, H. Ecohydrological processes and ecosystem services in the Anthropocene: a review. **Ecological Processes**, v. 6, n. 1, p.35, 2017. Disponível em: <https://ecologicalprocesses.springeropen.com/track/pdf/10.1186/s13717-017-0104-6>. Acesso em: 26 abr. 2018.

SUPERINTENDÊNCIA DE ESTUDOS ECONÔMICOS E SOCIAIS DA BAHIA. **Indicadores de sustentabilidade ambiental**. 2006. Disponível em: <http://www.sei.ba.gov.br/phl8/download/p6276-6.pdf>. Acesso em: 17 out. 2019

TAYLOR, J. R.; LOVELL, S. T. Mapping public and private spaces of urban agriculture in Chicago through the analysis of high-resolution aerial images in Google Earth. **Landscape and Urban Planning**, v. 108 n. 1, p.57–70, 2012. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2012.08.001>>. Acesso em: 30 set. 2019.

VAN REE, C. C. D. F.; VAN BEUKERING, P. J. H. Geosystem services: a concept in support of sustainable development of the subsurface. **Ecosystem Services**, v. 20, p. 30–36, ago. 2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoser.2016.06.004>. Acesso em: 24 jan. 2021.

VANGUARDA TV. **Vazamento de rejeito de mineração no Rio Paraíba é contido em Jacareí, SP**. Link Vanguarda. São José dos Campos: TV VANGUARDA. 6 fevereiro, 2016. Telejornalismo (4.35 min). Disponível em: <<http://g1.globo.com/sp/vale-do-paraiba-regiao/noticia/2016/02/vazamento-de-rejeito-de-mineracao-no-rio-paraiba-e-contido-em-jacarei-sp.html>>. Acesso em: 16 ago. 2017.

VEYRET, Y. **Os riscos: o homem como agressor e vítima do meio ambiente**. São Paulo: Contexto, 2007. 319p. ISBN 978-85-7244-354-8.

VORMITTAG, E. M. P. A. A.; OLIVEIRA, M. A.; RODRIGUES, C. G.; GLERIANO, J. S. Avaliação de saúde da população de Barra Longa afetada pelo desastre de Mariana, Brasil. **Ambiente & Sociedade**, v.21, e01222, 2018. Disponível em: <[https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1414-753X2018000100405&lng=en&tlng=e](https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1414-753X2018000100405&lng=en&tlng=e)>. Acesso em: 16 fev. 2020

VÖRÖSMARTY, C. J.; MCINTYRE, P. B.; GESSNER, M. O.; DUDGEON, D.; PRUSEVICH, A.; GREEN, P.; GLIDDEN, S.; BUNN, S. E.; SULLIVAN, C. A.; REIDY LIERMANN, C.; DAVIES, P. M. Global threats to human water security and river biodiversity. **Nature**, v.467, n. 7315, p.555–561, 2010. Disponível em: <https://science.sciencemag.org/content/289/5477/284/tab-pdf>. Acesso em: 1 abr. 2018.

WATERS, C. N.; ZALASIEWICZ, J.; SUMMERHAYES, C.; BARNOSKY, A. D.; POIRIER, C.; GA, A.; CEARRETA, A.; EDGEWORTH, M.; ELLIS, E. C.; ELLIS, M.; JEANDEL, C.; LEINFELDER, R.; MCNEILL, J. R.; RICHTER, D.; STEFFEN, W.; SYVITSKI, J.; VIDAS, D.; WAGREICH, M.; WILLIAMS, M.; ZHISHENG, A.; GRINEVALD, J.; ODADA, E.; ORESKES, N.; WOLFE, A. P. The Anthropocene is functionally and stratigraphically distinct from the Holocene. **Science**, v. 351, n. 6269, p. 137-148 2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1126/science.aad2622>. Acesso em: 19 jul. 2020.

WATERS, C. N.; ZALASIEWICZ, J.; SUMMERHAYES, C.; FAIRCHILD, I. J.; ROSE, N. L.; LOADER, N. J.; SHOTYK, W.; CEARRETA, A.; HEAD, M. J.; SYVITSKI, J. P. M.; WILLIAMS, M.; WAGREICH, M.; BARNOSKY, A. D.; AN, Z.; LEINFELDER, R.; JEANDEL, C.; GAŁUSZKA, A.; IVAR DO SUL, J. A.; GRADSTEIN, F.; STEFFEN, W.; MCNEILL, J. R.; WING, S.; POIRIER, C.; EDGEWORTH. Global Boundary Stratotype Section and Point (GSSP) for the anthropocene series: where and how to look for potential candidates. **Earth-Science Reviews**, v. 178, p. 379–429, 2018. Disponível em: <<https://core.ac.uk/download/pdf/185506207.pdf>>. Acesso em: 14 jul. 2019.

ZALASIEWICZ, J.; WATERS, C. N.; WOLFE, A. P.; BARNOSKY, A. D.; CEARRETA, A.; EDGEWORTH, M.; ELLIS, E. C.; FAIRCHILD, I. J.; GRADSTEIN, F. M.; GRINEVALD, J.; HAFF, P.; HEAD, M. J.; DO SUL, J. A. I.; JEANDEL, C.; LEINFELDER, R.; MCNEILL, J. R.; ORESKES, N.; POIRIER, C.; REVKIN, A.; RICHTER, D. de B.; STEFFEN, W.; SUMMERHAYES, C.; SYVITSKI, J. P. M.; VIDAS, D.; WAGREICH, M.; WING, S.; WILLIAMS, M. Making the case for a formal Anthropocene Epoch: an analysis of ongoing critiques. **Newsletters on Stratigraphy**, v. 50, n. 2, p. 205–226, 2017a. Disponível em: <[http://www.schweizerbart.de/papers/nos/detail/50/87461/Making\\_the\\_case\\_for\\_a\\_formal\\_Anthropocene\\_Epoch\\_an?af=crossref](http://www.schweizerbart.de/papers/nos/detail/50/87461/Making_the_case_for_a_formal_Anthropocene_Epoch_an?af=crossref)>. Acesso em: 18 nov. 2019.

ZALASIEWICZ, J.; WATERS, C. N.; SUMMERHAYES, C. P.; WOLFE, A. P.; BARNOSKY, A. D.; CEARRETA, A.; CRUTZEN, P.; ELLIS, E.; FAIRCHILD, I. J.; GAŁUSZKA, A.; HAFF, P.; HAJDAS, I.; HEAD, M. J.; IVAR DO SUL, J. A.; JEANDEL, C.; LEINFELDER, R.; MCNEILL, J. R.; NEAL, C.; ODADA, E.; ORESKES, N.; STEFFEN, W.; SYVITSKI, J.; VIDAS, D.; WAGREICH, M.; WILLIAMS, M. The working group on the anthropocene: summary of evidence and interim recommendations. **Anthropocene**, v. 19, p. 55–60, 2017b. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.ancene.2017.09.001>>. Acesso em: 26 abr. 2018.

ZALASIEWICZ, J.; WATERS, C.; HEAD, M. J. Anthropocene: its stratigraphic basis. **Nature**, v. 541, n. 7637, p. 289, 2017c. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/541289b>. Acesso em: 12 nov. 2020

ZALASIEWICZ, J.; WATERS, C.; WILLIAMS, M. Les strates de la ville de l'Anthropocène. **Annales. Histoire, Sciences Sociales**, v. 72, n. 2, p. 329–351, 2017d. Disponível em: <https://doi.org/10.1017/S0395264917000567>. Acesso em: dez. 2020

ZHENG, Y.; LI, J.; CAO, W.; JIANG, F.; ZHAO, C.; DING, H.; WANG, M.; GAO, F.; SUN, C. Vertical distribution of microplastics in bay sediment reflecting effects of sedimentation dynamics and anthropogenic activities. **Marine Pollution Bulletin**, v. 152, e110885, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.110885>. Acesso em: 1 jul 2021.

ZOU, W.; TOLONEN, K. T.; ZHU, G.; QIN, B.; ZHANG, Y.; CAO, Z.; KAI, P.; CAI, Y.; GONG, Z. Catastrophic effects of sand mining on macroinvertebrates in a large shallow lake with implications for management. **Science of the Total Environment**, v. 695, e133706, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.133706>>. Acesso em: 17 mar. 2020.

## APÊNDICE A – DOCUMENTAÇÃO DO MODELO AHP

### A.1 Histórico da aplicação do questionário

As etapas que precederam a derradeira aplicação do questionário AHP foram:

- a) Levantamento e elaboração das variáveis nos processos públicos;
- b) submissão do projeto ao Comitê Nacional de Ética em Pesquisa;
- c) obtenção do parecer positivo número 3.980.014, pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Metodista de São Paulo – (CEP/ UMESP), cadastrado no número CAAE 28746519.7.0000.5508;
- d) envio da tabela Modelo AHP para 16 pesquisados através do aplicativo *Whatsapp*®, convidando para participar da pesquisa;
  - no perfil dos pesquisados contam: pesquisadores da área ambiental, funcionários e proprietários de empresas de mineração de agregado e minerais metálicos, profissionais do licenciamento ambiental no âmbito federal e estadual, usuários dos serviços de lazer do rio Paraíba do Sul (pesca e navegação esportiva),
  - apresentação e disponibilização para esclarecimentos orientando ao uso do *software on line AHP Priority Calculator* - <https://bpmsg.com/ahp/ahp-calc.php> (GOPEL, 2018).
- e) recebimento das respostas e verificação do limite de erro (<10%) para aceite e consideração;
- f) validação de seis questionários para serem utilizados no trabalho.

## A.2 Tabela modelo AHP

Escala numérica de atribuição de importância entre Variáveis

| Variáveis A  | GRAU DE IMPORTÂNCIA |               |            |            |            |              |              |                 |                      | Variáveis B  |
|--|---------------------|---------------|------------|------------|------------|--------------|--------------|-----------------|----------------------|--|
|  | 9<br>Absolutamente  | 7<br>Bastante | 5<br>Muito | 3<br>Pouco | 1<br>Igual | 1/3<br>Pouco | 1/5<br>Muito | 1/7<br>Bastante | 1/9<br>Absolutamente |  |
| Valor em <a href="https://bpmsg.com/ahp/ahp-calc.php">https://bpmsg.com/ahp/ahp-calc.php</a> | 9                   | 8             | 7          | 6          | 1          | 5            | 4            | 3               | 2                    | Valor em <a href="https://bpmsg.com/ahp/ahp-calc.php">https://bpmsg.com/ahp/ahp-calc.php</a> |
| REFLORESTAMENTO com NATIVA   |                     |               |            |            |            |              |              |                 |                      | ANÁLISE de QUALIDADE de ÁGUA   |
| REFLORESTAMENTO com NATIVA   |                     |               |            |            |            |              |              |                 |                      | QUALIDADE do SOLO  |
| REFLORESTAMENTO com NATIVA   |                     |               |            |            |            |              |              |                 |                      | PORTE ECONÔMICO  |
| REFLORESTAMENTO com NATIVA   |                     |               |            |            |            |              |              |                 |                      | INSTALAÇÕES na MINA  |
| REFLORESTAMENTO com NATIVA   |                     |               |            |            |            |              |              |                 |                      | MULTA  |
| ANÁLISE de QUALIDADE de ÁGUA   |                     |               |            |            |            |              |              |                 |                      | A QUALIDADE do SOLO  |
| ANÁLISE de QUALIDADE de ÁGUA   |                     |               |            |            |            |              |              |                 |                      | PORTE ECONÔMICO  |
| ANÁLISE de QUALIDADE de ÁGUA   |                     |               |            |            |            |              |              |                 |                      | INSTALAÇÕES na MINA  |
| ANÁLISE de QUALIDADE de ÁGUA   |                     |               |            |            |            |              |              |                 |                      | MULTA  |
| QUALIDADE do SOLO  |                     |               |            |            |            |              |              |                 |                      | PORTE ECONÔMICO  |
| QUALIDADE do SOLO  |                     |               |            |            |            |              |              |                 |                      | INSTALAÇÕES na MINA  |
| QUALIDADE do SOLO  |                     |               |            |            |            |              |              |                 |                      | MULTA  |
| PORTE ECONÔMICO  |                     |               |            |            |            |              |              |                 |                      | INSTALAÇÕES na MINA  |
| PORTE ECONÔMICO  |                     |               |            |            |            |              |              |                 |                      | MULTA  |
| INSTALAÇÕES na MINA  |                     |               |            |            |            |              |              |                 |                      | MULTA  |

### O que é a Método Analítico Hierárquico (AHP – Analytic Hierachy Process)?

O AHP é um método que auxilia na tomada de decisões, baseado em critérios qualitativos e quantitativos. Seu objetivo é diminuir a subjetividade nessa tomada de decisão, dividindo um problema complexo, em outros mais simples e menos importantes. A ideia é fracionar o problema maior em menores, para que a decisão sobre estes, ao final, seja um somatório que representa a solução do problema central.

A teoria propõe estruturar uma tabela, comparando cada problema simples com outro, aos pares (Variáveis A e B acima). Deve-se analisar, a cada linha, quanto cada variável vale em relação à outra. Ou seja, a cada linha de comparação é julgada a importância de um problema simples (Variável) em relação a outro, assinalando com um "X" a célula com o grau de importância atribuído. Por exemplo: se considerar que as variáveis da coluna A e B tem igual importância, assinale "X" em "1". Se considerar que "A" tem importância "Bastante" maior, em relação a "B", assinale "X" em "7". Se considerar que "A" tem importância "Pouco" menor em relação a "B", assinale "X" em "1/3".

### Como preencher a Tabela:

- 1- A decisão (problema maior) é responder à pergunta: Qual Variável é mais importante para uma mineração de areia em fase de encerramento de atividades possuir, para recuperar os serviços ecossistêmicos (SE) do local?
- 2- São 6 variáveis, a serem comparadas entre si, em pares, por linha:

REFLORESTAMENTO com NATIVA;  
ANÁLISE de QUALIDADE de ÁGUA;  
QUALIDADE do SOLO;  
PORTE ECONÔMICO;  
INSTALAÇÕES na MINA;  
MULTA.

- 3- O grau de importância varia num intervalo de 9 graus de pontuação (9-absolutamente, 7-bastante, 5-muito, 3-pouco, 1-igual, 1/3-pouco, 1/5-muito, 1/7-bastante, 1/9-absolutamente)
- 4- Para cada linha de comparação, marcar com um "X", considerando qual valor do grau de importância a Variável da coluna "A", tem em relação à Variável da coluna "B".

### A.3 Questionários validados no trabalho

Escala numérica de atribuição de importância entre Variáveis

| Variáveis A  | GRAU DE IMPORTÂNCIA |               |            |            |            |              |              |                 |                      | Variáveis B  |
|--|---------------------|---------------|------------|------------|------------|--------------|--------------|-----------------|----------------------|--|
|  | MAIOR ←             |               |            |            | → MENOR    |              |              |                 |                      |  |
|  | 9<br>Absolutamente  | 7<br>Bastante | 5<br>Muito | 3<br>Pouco | 1<br>Igual | 1/3<br>Pouco | 1/5<br>Muito | 1/7<br>Bastante | 1/9<br>Absolutamente |  |
| Valor em <a href="https://bpmsg.com/ahp/ahp-calc.php">https://bpmsg.com/ahp/ahp-calc.php</a> | 9                   | 8             | 7          | 6          | 1          | 5            | 4            | 3               | 2                    | Valor em <a href="https://bpmsg.com/ahp/ahp-calc.php">https://bpmsg.com/ahp/ahp-calc.php</a> |
| REFLORESTAMENTO com NATIVA   |                     |               |            |            |            |              |              |                 | X                    | ANÁLISE de QUALIDADE de ÁGUA   |
| REFLORESTAMENTO com NATIVA   | X                   |               |            |            |            |              |              |                 |                      | QUALIDADE do SOLO  |
| REFLORESTAMENTO com NATIVA   |                     |               |            |            |            |              |              | X               |                      | PORTE ECONÔMICO  |
| REFLORESTAMENTO com NATIVA   | X                   |               |            |            |            |              |              |                 |                      | INSTALAÇÕES na MINA  |
| REFLORESTAMENTO com NATIVA   |                     |               |            |            |            |              | X            |                 |                      | MULTA  |
| ANÁLISE de QUALIDADE de ÁGUA   | X                   |               |            |            |            |              |              |                 |                      | A QUALIDADE do SOLO  |
| ANÁLISE de QUALIDADE de ÁGUA   |                     |               |            | X          |            |              |              |                 |                      | PORTE ECONÔMICO  |
| ANÁLISE de QUALIDADE de ÁGUA   | X                   |               |            |            |            |              |              |                 |                      | INSTALAÇÕES na MINA  |
| ANÁLISE de QUALIDADE de ÁGUA   |                     |               |            |            |            |              | X            |                 |                      | MULTA  |
| PORTE ECONÔMICO  | X                   |               |            |            |            |              |              |                 |                      | QUALIDADE do SOLO  |
| QUALIDADE do SOLO  |                     |               |            |            | X          |              |              |                 |                      | INSTALAÇÕES na MINA  |
| MULTA  |                     |               |            |            |            |              | X            |                 |                      | QUALIDADE do SOLO  |
| PORTE ECONÔMICO  | X                   |               |            |            |            |              |              |                 |                      | INSTALAÇÕES na MINA  |
| PORTE ECONÔMICO  |                     |               |            |            | X          |              |              |                 |                      | MULTA  |
| MULTA  |                     | X             |            |            |            |              |              |                 |                      | INSTALAÇÕES na MINA  |

#### O que é a Método Analítico Hierárquico (AHP – Analytic Hierachy Process)?

O AHP é um método que auxilia na tomada de decisões, baseado em critérios qualitativos e quantitativos. Seu objetivo é diminuir a subjetividade nessa tomada de decisão, dividindo um problema complexo, em outros mais simples e menos importantes. A ideia é fracionar o problema maior em menores, para que a decisão sobre estes, ao final, seja um somatório que representa a solução do problema central.

A teoria propõe estruturar uma tabela, comparando cada problema simples com outro, aos pares (Variáveis A e B acima). Deve-se analisar, a cada linha, quanto cada variável vale em relação à outra. Ou seja, a cada linha de comparação é julgada a importância de um problema simples (Variável) em relação a outro, assinalando com um "X" a célula com o grau de importância atribuído. Por exemplo: se considerar que as variáveis da coluna A e B tem igual importância, assinale "X" em "1". Se considerar que "A" tem importância "Bastante" maior, em relação a "B", assinale "X" em "7". Se considerar que "A" tem importância "Pouco" menor em relação a "B", assinale "X" em "1/3".

#### Como preencher a Tabela:

1 A decisão (problema maior) é responder à pergunta: Qual Variável é mais importante para uma mineração de areia em fase de encerramento de atividades possuir, para recuperar os serviços ecossistêmicos (SE) do local?

2 São 6 variáveis, a serem comparadas entre si, em pares, por linha:

- REFLORESTAMENTO com NATIVA;
- ANÁLISE de QUALIDADE de ÁGUA;
- QUALIDADE do SOLO;
- PORTE ECONÔMICO;
- INSTALAÇÕES na MINA;
- MULTA.

3 O grau de importância varia num intervalo de 9 graus de pontuação (9-absolutamente, 7-bastante, 5-muito, 3-pouco, 1-igual, 1/3-pouco, 1/5-muito, 1/7-bastante, 1/9-absolutamente)

4 Para cada linha de comparação, marcar com um "X", considerando qual valor do grau de importância a Variável da coluna "A", tem em relação à Variável da coluna "B".

Escala numérica de atribuição de importância entre Variáveis

| Variáveis A  | GRAU DE IMPORTÂNCIA |               |            |            |            |              |              |                 |                      | Variáveis B  |
|--|---------------------|---------------|------------|------------|------------|--------------|--------------|-----------------|----------------------|--|
|  | 9<br>Absolutamente  | 7<br>Bastante | 5<br>Muito | 3<br>Pouco | 1<br>Igual | 1/3<br>Pouco | 1/5<br>Muito | 1/7<br>Bastante | 1/9<br>Absolutamente |  |
| Valor em <a href="https://bpmsg.com/ahp/ahp-calc.php">https://bpmsg.com/ahp/ahp-calc.php</a> | 9                   | 8             | 7          | 6          | 1          | 5            | 4            | 3               | 2                    | Valor em <a href="https://bpmsg.com/ahp/ahp-calc.php">https://bpmsg.com/ahp/ahp-calc.php</a> |
| REFLORESTAMENTO com NATIVA   |                     |               |            |            | x          |              |              |                 |                      | ANÁLISE de QUALIDADE de ÁGUA   |
| REFLORESTAMENTO com NATIVA   |                     |               |            |            | x          |              |              |                 |                      | QUALIDADE do SOLO  |
| REFLORESTAMENTO com NATIVA   |                     |               |            | x          |            |              |              |                 |                      | PORTE ECONÔMICO  |
| REFLORESTAMENTO com NATIVA   |                     |               | x          |            |            |              |              |                 |                      | INSTALAÇÕES na MINA  |
| REFLORESTAMENTO com NATIVA   |                     | x             |            |            |            |              |              |                 |                      | MULTA  |
| ANÁLISE de QUALIDADE de ÁGUA   |                     |               |            |            | x          |              |              |                 |                      | A QUALIDADE do SOLO  |
| ANÁLISE de QUALIDADE de ÁGUA   |                     |               |            | x          |            |              |              |                 |                      | PORTE ECONÔMICO  |
| ANÁLISE de QUALIDADE de ÁGUA   |                     |               | x          |            |            |              |              |                 |                      | INSTALAÇÕES na MINA  |
| ANÁLISE de QUALIDADE de ÁGUA   |                     | x             |            |            |            |              |              |                 |                      | MULTA  |
| QUALIDADE do SOLO  |                     |               |            | x          |            |              |              |                 |                      | PORTE ECONÔMICO  |
| QUALIDADE do SOLO  |                     |               | x          |            |            |              |              |                 |                      | INSTALAÇÕES na MINA  |
| QUALIDADE do SOLO  |                     | x             |            |            |            |              |              |                 |                      | MULTA  |
| PORTE ECONÔMICO  |                     |               |            | x          |            |              |              |                 |                      | INSTALAÇÕES na MINA  |
| PORTE ECONÔMICO  |                     | x             |            |            |            |              |              |                 |                      | MULTA  |
| INSTALAÇÕES na MINA  |                     |               |            |            | x          |              |              |                 |                      | MULTA  |

#### O que é a Método Analítico Hierárquico (AHP – Analytic Hierachy Process)?

O AHP é um método que auxilia na tomada de decisões, baseado em critérios qualitativos e quantitativos. Seu objetivo é diminuir a subjetividade nessa tomada de decisão, dividindo um problema complexo, em outros mais simples e menos importantes. A ideia é fracionar o problema maior em menores, para que a decisão sobre estes, ao final, seja um somatório que representa a solução do problema central. A teoria propõe estruturar uma tabela, comparando cada problema simples com outro, aos pares (Variáveis A e B acima). Deve-se analisar, a cada linha, quanto cada variável vale em relação à outra. Ou seja, a cada linha de comparação é julgada a importância de um problema simples (Variável) em relação a outro, assinalando com um "X" a célula com o grau de importância atribuído. Por exemplo: se considerar que as variáveis da coluna A e B tem igual importância, assinale "X" em "1". Se considerar que "A" tem importância "Bastante" maior, em relação a "B", assinale "X" em "7". Se considerar que "A" tem importância "Pouco" menor em relação a "B", assinale "X" em "1/3".

#### Como preencher a Tabela:

- 1 A decisão (problema maior) é responder à pergunta: Qual Variável é mais importante para uma mineração de areia em fase de encerramento de atividades possuir, para recuperar os serviços ecossistêmicos (SE) do local?
  - 2 São 6 variáveis, a serem comparadas entre si, em pares, por linha:
    - REFLORESTAMENTO com NATIVA;
    - ANÁLISE de QUALIDADE de ÁGUA;
    - QUALIDADE do SOLO;
    - PORTE ECONÔMICO;
    - INSTALAÇÕES na MINA;
    - MULTA.
  - 3 O grau de importância varia num intervalo de 9 graus de pontuação (9-absolutamente, 7-bastante, 5-muito, 3-pouco, 1-igual, 1/3-pouco, 1/5-muito, 1/7-bastante, 1/9-absolutamente)
  - 4 Para cada linha de comparação, marcar com um "X", considerando qual valor do grau de importância a Variável da coluna "A", tem em relação à Variável da coluna "B".
- MUITO OBRIGADA!

Escala numérica de atribuição de importância entre Variáveis

| Variáveis A  | GRAU DE IMPORTÂNCIA |               |            |            |            |              |              |                 |                      | Variáveis B  |
|--|---------------------|---------------|------------|------------|------------|--------------|--------------|-----------------|----------------------|--|
|  | MAIOR               | ←-----→       |            |            |            |              |              |                 | MENOR                |  |
|  | 9<br>Absolutamente  | 7<br>Bastante | 5<br>Muito | 3<br>Pouco | 1<br>Igual | 1/3<br>Pouco | 1/5<br>Muito | 1/7<br>Bastante | 1/9<br>Absolutamente |  |
| Valor em <a href="https://bpmsg.com/ahp/ahp-calc.php">https://bpmsg.com/ahp/ahp-calc.php</a> | 9                   | 8             | 7          | 6          | 1          | 5            | 4            | 3               | 2                    | Valor em <a href="https://bpmsg.com/ahp/ahp-calc.php">https://bpmsg.com/ahp/ahp-calc.php</a> |
| REFLORESTAMENTO com NATIVA   |                     |               |            | x          |            |              |              |                 |                      | ANÁLISE de QUALIDADE de ÁGUA   |
| REFLORESTAMENTO com NATIVA   |                     |               |            |            | X          |              |              |                 |                      | QUALIDADE do SOLO  |
| REFLORESTAMENTO com NATIVA   | X                   |               |            |            |            |              |              |                 |                      | PORTE ECONÔMICO  |
| REFLORESTAMENTO com NATIVA   | X                   |               |            |            |            |              |              |                 |                      | INSTALAÇÕES na MINA  |
| REFLORESTAMENTO com NATIVA   | X                   |               |            |            |            |              |              |                 |                      | MULTA  |
| ANÁLISE de QUALIDADE de ÁGUA   |                     |               |            |            | x          |              |              |                 |                      | A QUALIDADE do SOLO  |
| ANÁLISE de QUALIDADE de ÁGUA   |                     |               | X          |            |            |              |              |                 |                      | PORTE ECONÔMICO  |
| ANÁLISE de QUALIDADE de ÁGUA   |                     |               | X          |            |            |              |              |                 |                      | INSTALAÇÕES na MINA  |
| ANÁLISE de QUALIDADE de ÁGUA   |                     |               | x          |            |            |              |              |                 |                      | MULTA  |
| QUALIDADE do SOLO  | X                   |               |            |            |            |              |              |                 |                      | PORTE ECONÔMICO  |
| QUALIDADE do SOLO  | X                   |               |            |            |            |              |              |                 |                      | INSTALAÇÕES na MINA  |
| QUALIDADE do SOLO  | X                   |               |            |            |            |              |              |                 |                      | MULTA  |
| PORTE ECONÔMICO  |                     |               |            |            | X          |              |              |                 |                      | INSTALAÇÕES na MINA  |
| PORTE ECONÔMICO  |                     |               |            |            | X          |              |              |                 |                      | MULTA  |
| INSTALAÇÕES na MINA  |                     |               |            |            | x          |              |              |                 |                      | MULTA  |

#### O que é a Método Analítico Hierárquico (AHP – Analytic Hierachy Process)?

O AHP é um método que auxilia na tomada de decisões, baseado em critérios qualitativos e quantitativos. Seu objetivo é diminuir a subjetividade nessa tomada de decisão, dividindo um problema complexo, em outros mais simples e menos importantes. A ideia é fracionar o problema maior em menores, para que a decisão sobre estes, ao final, seja um somatório que representa a solução do problema central.

A teoria propõe estruturar uma tabela, comparando cada problema simples com outro, aos pares (Variáveis A e B acima). Deve-se analisar, a cada linha, quanto cada variável vale em relação à outra. Ou seja, a cada linha de comparação é julgada a importância de um problema simples (Variável) em relação a outro, assinalando com um "X" a célula com o grau de importância atribuído. Por exemplo: se considerar que as variáveis da coluna A e B tem igual importância, assinale "X" em "1". Se considerar que "A" tem importância "Bastante" maior, em relação a "B", assinale "X" em "7". Se considerar que "A" tem importância "Pouco" menor em relação a "B", assinale "X" em "1/3".

#### Como preencher a Tabela:

A decisão (problema maior) é responder à pergunta: Qual Variável é mais importante para uma mineração de areia em fase de encerramento de atividades possuir, para recuperar os serviços ecossistêmicos (SE) do local?

São 6 variáveis, a serem comparadas entre si, em pares, por linha:

- REFLORESTAMENTO com NATIVA;
- ANÁLISE de QUALIDADE de ÁGUA;
- QUALIDADE do SOLO;
- PORTE ECONÔMICO;
- INSTALAÇÕES na MINA;
- MULTA.

O grau de importância varia num intervalo de 9 graus de pontuação (9-absolutamente, 7-bastante, 5-muito, 3-pouco, 1-igual, 1/3-pouco, 1/5-muito, 1/7-bastante, 1/9-absolutamente)

Para cada linha de comparação, marcar com um "X", considerando qual valor do grau de importância a Variável da coluna "A", tem em relação à Variável da coluna "B".

MUITO OBRIGADA!

| Variáveis A  | GRAU DE IMPORTÂNCIA |               |            |            |            |              |              |                 |                      | Variáveis B  |
|--|---------------------|---------------|------------|------------|------------|--------------|--------------|-----------------|----------------------|--|
|  | MAIOR               |               |            |            | MENOR      |              |              |                 |                      |  |
|  | 9<br>Absolutamente  | 7<br>Bastante | 5<br>Muito | 3<br>Pouco | 1<br>Igual | 1/3<br>Pouco | 1/5<br>Muito | 1/7<br>Bastante | 1/9<br>Absolutamente |  |
| <a href="https://bpmsg.com/ahp/ahp-calc.php">Valor em https://bpmsg.com/ahp/ahp-calc.php</a> | 9                   | 8             | 7          | 6          | 1          | 5            | 4            | 3               | 2                    | <a href="https://bpmsg.com/ahp/ahp-calc.php">Valor em https://bpmsg.com/ahp/ahp-calc.php</a> |
| REFLORESTAMENTO com NATIVA   |                     |               | x          |            |            |              |              |                 |                      | ANÁLISE de QUALIDADE de ÁGUA   |
| REFLORESTAMENTO com NATIVA   |                     |               |            |            |            |              |              |                 | x                    | QUALIDADE do SOLO  |
| REFLORESTAMENTO com NATIVA   |                     |               |            |            |            | x            |              |                 |                      | PORTE ECONÔMICO  |
| REFLORESTAMENTO com NATIVA   |                     | x             |            |            |            |              |              |                 |                      | INSTALAÇÕES na MINA  |
| REFLORESTAMENTO com NATIVA   | x                   |               |            |            |            |              |              |                 |                      | MULTA  |
| QUALIDADE do SOLO  |                     |               |            | x          |            |              |              |                 |                      | ANÁLISE de QUALIDADE de ÁGUA A   |
| PORTE ECONÔMICO  |                     |               |            |            |            | x            |              |                 |                      | ANÁLISE de QUALIDADE de ÁGUA   |
| ANÁLISE de QUALIDADE de ÁGUA   |                     |               |            |            |            |              | x            |                 |                      | INSTALAÇÕES na MINA  |
| ANÁLISE de QUALIDADE de ÁGUA   |                     |               |            |            |            |              |              | x               |                      | MULTA  |
| QUALIDADE do SOLO  |                     |               |            |            |            |              |              | x               |                      | PORTE ECONÔMICO  |
| QUALIDADE do SOLO  | x                   |               |            |            |            |              |              |                 |                      | INSTALAÇÕES na MINA  |
| QUALIDADE do SOLO  | x                   |               |            |            |            |              |              |                 |                      | MULTA  |
| PORTE ECONÔMICO  |                     |               | x          |            |            |              |              |                 |                      | INSTALAÇÕES na MINA  |
| PORTE ECONÔMICO  |                     |               |            | x          |            |              |              |                 |                      | MULTA  |
| INSTALAÇÕES na MINA  |                     |               |            |            |            |              |              |                 | x                    | MULTA  |

Escala numérica de atribuição de importância entre Variáveis

| Variáveis A  | GRAU DE IMPORTÂNCIA |               |            |            |            |              |              |                 |                      | Variáveis B  |
|--|---------------------|---------------|------------|------------|------------|--------------|--------------|-----------------|----------------------|--|
|  | 9<br>Absolutamente  | 7<br>Bastante | 5<br>Muito | 3<br>Pouco | 1<br>Igual | 1/3<br>Pouco | 1/5<br>Muito | 1/7<br>Bastante | 1/9<br>Absolutamente |  |
| Valor em <a href="https://bpmsg.com/ahp/ahp-calc.php">https://bpmsg.com/ahp/ahp-calc.php</a> | 9                   | 8             | 7          | 6          | 1          | 5            | 4            | 3               | 2                    | Valor em <a href="https://bpmsg.com/ahp/ahp-calc.php">https://bpmsg.com/ahp/ahp-calc.php</a> |
| REFLORESTAMENTO com NATIVA   |                     |               |            |            | x          |              |              |                 |                      | ANÁLISE de QUALIDADE de ÁGUA   |
| REFLORESTAMENTO com NATIVA   |                     |               |            |            | x          |              |              |                 |                      | QUALIDADE do SOLO  |
| REFLORESTAMENTO com NATIVA   |                     |               | x          |            |            |              |              |                 |                      | PORTE ECONÔMICO  |
| REFLORESTAMENTO com NATIVA   |                     |               | x          |            |            |              |              |                 |                      | INSTALAÇÕES na MINA  |
| REFLORESTAMENTO com NATIVA   |                     | x             |            |            |            |              |              |                 |                      | MULTA  |
| ANÁLISE de QUALIDADE de ÁGUA   |                     |               |            |            | x          |              |              |                 |                      | A QUALIDADE do SOLO  |
| ANÁLISE de QUALIDADE de ÁGUA   |                     |               | x          |            |            |              |              |                 |                      | PORTE ECONÔMICO  |
| ANÁLISE de QUALIDADE de ÁGUA   |                     |               | x          |            |            |              |              |                 |                      | INSTALAÇÕES na MINA  |
| ANÁLISE de QUALIDADE de ÁGUA   |                     | x             |            |            |            |              |              |                 |                      | MULTA  |
| QUALIDADE do SOLO  |                     |               | x          |            |            |              |              |                 |                      | PORTE ECONÔMICO  |
| QUALIDADE do SOLO  |                     |               | x          |            |            |              |              |                 |                      | INSTALAÇÕES na MINA  |
| QUALIDADE do SOLO  |                     | x             |            |            |            |              |              |                 |                      | MULTA  |
| PORTE ECONÔMICO  |                     |               |            |            |            |              | x            |                 |                      | INSTALAÇÕES na MINA  |
| PORTE ECONÔMICO  |                     |               |            |            |            |              | x            |                 |                      | MULTA  |
| INSTALAÇÕES na MINA  |                     |               |            |            |            |              |              | x               |                      | MULTA  |

**O que é a Método Analítico Hierárquico (AHP – Analytic Hierachy Process)?**

O AHP é um método que auxilia na tomada de decisões, baseado em critérios qualitativos e quantitativos. Seu objetivo é diminuir a subjetividade nessa tomada de decisão, dividindo um problema complexo, em outros mais simples e menos importantes. A ideia é fracionar o problema maior em menores, para que a decisão sobre estes, ao final, seja um somatório que representa a solução do problema central. A teoria propõe estruturar uma tabela, comparando cada problema simples com outro, aos pares (Variáveis A e B acima). Deve-se analisar, a cada linha, quanto cada variável vale em relação à outra. Ou seja, a cada linha de comparação é julgada a importância de um problema simples (Variável) em relação a outro, assinalando com um "X" a célula com o grau de importância atribuído. Por exemplo: se considerar que as variáveis da coluna A e B tem igual importância, assinale "X" em "1". Se considerar que "A" tem importância "Bastante" maior, em relação a "B", assinale "X" em "7". Se considerar que "A" tem importância "Pouco" menor em relação a "B", assinale "X" em "1/3".

**Como preencher a Tabela:**

A decisão (problema maior) é responder à pergunta: Qual Variável é mais importante para uma mineração de areia em fase de encerramento de atividades possuir, para recuperar os serviços ecossistêmicos (SE) do local?

São 6 variáveis, a serem comparadas entre si, em pares, por linha:

REFLORESTAMENTO com NATIVA;

ANÁLISE de QUALIDADE de ÁGUA;

QUALIDADE do SOLO;

PORTE ECONÔMICO;

INSTALAÇÕES na MINA;

MULTA.

O grau de importância varia num intervalo de 9 graus de pontuação (9-absolutamente, 7-bastante, 5-muito, 3-pouco, 1-igual, 1/3-pouco, 1/5-muito, 1/7-bastante, 1/9-absolutamente)

Para cada linha de comparação, marcar com um "X", considerando qual valor do grau de importância a Variável da coluna "A", tem em relação à Variável da coluna "B".

MUITO OBRIGADA!

| Variáveis A  | GRAU DE IMPORTÂNCIA |          |       |       |       |       |       |          |               | Variáveis B  |
|--|---------------------|----------|-------|-------|-------|-------|-------|----------|---------------|--|
|  | MAIOR               |          |       |       |       |       |       |          | MENOR         |  |
|  | 9                   | 7        | 5     | 3     | 1     | 1/3   | 1/5   | 1/7      | 1/9           |  |
| Valor em <a href="https://bpmsg.com/ahp/ahp-calc.php">https://bpmsg.com/ahp/ahp-calc.php</a> | Absolutamente       | Bastante | Muito | Pouco | Igual | Pouco | Muito | Bastante | Absolutamente | Valor em <a href="https://bpmsg.com/ahp/ahp-calc.php">https://bpmsg.com/ahp/ahp-calc.php</a> |
| REFLORESTAMENTO com NATIVA   | 9                   | 8        | 7     | 6     | 1     | 5     | 4     | 3        | 2             | ANÁLISE de QUALIDADE de ÁGUA   |
| REFLORESTAMENTO com NATIVA   |                     |          |       |       | x     |       |       |          |               | QUALIDADE do SOLO  |
| REFLORESTAMENTO com NATIVA   |                     |          | x     |       |       |       |       |          |               | PORTE ECONÔMICO  |
| REFLORESTAMENTO com NATIVA   |                     |          | x     |       |       |       |       |          |               | INSTALAÇÕES na MINA  |
| REFLORESTAMENTO com NATIVA   |                     | x        |       |       |       |       |       |          |               | MULTA  |
| ANÁLISE de QUALIDADE de ÁGUA   |                     |          |       |       | x     |       |       |          |               | A QUALIDADE do SOLO  |
| ANÁLISE de QUALIDADE de ÁGUA   |                     |          | x     |       |       |       |       |          |               | PORTE ECONÔMICO  |
| ANÁLISE de QUALIDADE de ÁGUA   | x                   |          |       |       |       |       |       |          |               | INSTALAÇÕES na MINA  |
| ANÁLISE de QUALIDADE de ÁGUA   |                     |          | x     |       |       |       |       |          |               | MULTA  |
| QUALIDADE do SOLO  |                     |          | x     |       |       |       |       |          |               | PORTE ECONÔMICO  |
| QUALIDADE do SOLO  | x                   |          |       |       |       |       |       |          |               | INSTALAÇÕES na MINA  |
| QUALIDADE do SOLO  |                     | x        |       |       |       |       |       |          |               | MULTA  |
| PORTE ECONÔMICO  |                     |          |       |       |       |       |       | x        |               | INSTALAÇÕES na MINA  |
| PORTE ECONÔMICO  |                     | x        |       |       |       |       |       |          |               | MULTA  |
| INSTALAÇÕES na MINA  |                     |          |       |       |       |       |       | x        |               | MULTA  |

#### O que é a Método Analítico Hierárquico (AHP – Analytic Hierachy Process)?

O AHP é um método que auxilia na tomada de decisões, baseado em critérios qualitativos e quantitativos. Seu objetivo é diminuir a subjetividade nessa tomada de decisão, dividindo um problema complexo, em outros mais simples e menos importantes. A ideia é fracionar o problema maior em menores, para que a decisão sobre estes, ao final, seja um somatório que representa a solução do problema central.

A teoria propõe estruturar uma tabela, comparando cada problema simples com outro, aos pares (Variáveis A e B acima). Deve-se analisar, a cada linha, quanto cada variável vale em relação à outra. Ou seja, a cada linha de comparação é julgada a importância de um problema simples (Variável) em relação a outro, assinalando com um "X" a célula com o grau de importância atribuído. Por exemplo: se considerar que as variáveis da coluna A e B tem igual importância, assinale "X" em "1". Se considerar que "A" tem importância "Bastante" maior, em relação a "B", assinale "X" em "7". Se considerar que "A" tem importância "Pouco" menor em relação a "B", assinale "X" em "1/3".

#### Como preencher a Tabela:

A decisão (problema maior) é responder à pergunta: Qual Variável é mais importante para uma mineração de areia em fase de encerramento de atividades possuir, para recuperar os serviços ecossistêmicos (SE) do local?

São 6 variáveis, a serem comparadas entre si, em pares, por linha:

REFLORESTAMENTO com NATIVA;

ANÁLISE de QUALIDADE de ÁGUA;

QUALIDADE do SOLO;

PORTE ECONÔMICO;

INSTALAÇÕES na MINA;

MULTA.

O grau de importância varia num intervalo de 9 graus de pontuação (9-absolutamente, 7-bastante, 5-muito, 3-pouco, 1-igual, 1/3-pouco, 1/5-muito, 1/7-bastante, 1/9-absolutamente)

Para cada linha de comparação, marcar com um "X", considerando qual valor do grau de importância a Variável da coluna "A", tem em relação à Variável da coluna "B".

MUITO OBRIGADA!

## APÊNDICE B – MATRIZ DE CÁLCULO ESSE

| nº | FASE LAVRA | CONTABILIZAÇÃO DE PONTOS |     |            |                 |             | APLICAÇÃO IMPORTÂNCIA AHP |                 |                   |                  |                         | SOMATÓRIO | POSSUI MULTA?                 | É ATIVA?     |
|----|------------|--------------------------|-----|------------|-----------------|-------------|---------------------------|-----------------|-------------------|------------------|-------------------------|-----------|-------------------------------|--------------|
|    |            | NATIVA                   | AQA | QUALI SOLO | PORTE ECONOMICO | INSTAL MINA | NATIVA + 35,24% AHP       | AQA+ 23,73% AHP | SOLO + 23,76% AHP | PORTE +9,80% AHP | INSTALAÇÕES + 3,18% AHP |           | PONTOS (SOMATÓRIO-PTOS MULTA) | PONTOS FINAL |
| 1  | ativa      | 1                        | 0   | 0,5        | 0,25            | 1           | 1,3524                    | 0               | 0,7376            | 0,348            | 1,0318                  | 3,68      | 3,4698                        | 4,4698       |
| 2  | paralisada | 0                        | 0   | 0,5        | 0,25            | 0           | 0                         | 0               | 0,7376            | 0,348            | 0                       | 1,30      | 1,0856                        | 1,0856       |
| 3  | paralisada | 1                        | 0   | 1          | 0,25            | 1           | 1,3524                    | 0               | 1,2376            | 0,348            | 1,0318                  | 4,18      | 4,1843                        | 4,1843       |
| 4  | paralisada | 1                        | 0   | 1          | 0,25            | 1           | 1,3524                    | 0               | 1,2376            | 0,348            | 1,0318                  | 4,18      | 3,9698                        | 3,9698       |
| 5  | paralisada | 1                        | 0   | 1          | 1               | 1           | 1,3524                    | 0               | 1,2376            | 1,098            | 1,0318                  | 4,93      | 4,9343                        | 4,9343       |
| 6  | encerrada  | 1                        | 1   | 0,5        | 1               | 1           | 1,3524                    | 1,2373          | 0,7376            | 1,098            | 1,0318                  | 5,67      | 5,4571                        | 5,4571       |
| 7  | ativa      | 1                        | 1   | 0,5        | 0,25            | 1           | 1,3524                    | 1,2373          | 0,7376            | 0,348            | 1,0318                  | 4,92      | 4,7071                        | 5,7071       |
| 8  | paralisada | 1                        | 0   | 0,5        | 1               | 1           | 1,3524                    | 0               | 0,7376            | 1,098            | 1,0318                  | 4,43      | 4,2143                        | 4,2143       |
| 9  | paralisada | 1                        | 0   | 0,5        | 0,25            | 1           | 1,3524                    | 0               | 0,7376            | 0,348            | 1,0318                  | 3,68      | 3,6843                        | 3,6843       |
| 10 | paralisada | 1                        | 0   | 0,5        | 0,25            | 1           | 1,3524                    | 0               | 0,7376            | 0,348            | 1,0318                  | 3,68      | 3,4698                        | 3,4698       |
| 11 | ativa      | 1                        | 1   | 1          | 1               | 1           | 1,3524                    | 1,2373          | 1,2376            | 1,098            | 1,0318                  | 6,17      | 6,1716                        | 7,1716       |
| 12 | paralisada | 1                        | 0   | 0,5        | 0,25            | 1           | 1,3524                    | 0               | 0,7376            | 0,348            | 1,0318                  | 3,68      | 3,6843                        | 3,6843       |
| 13 | ativa      | 1                        | 1   | 0          | 0,25            | 1           | 1,3524                    | 1,2373          | 0                 | 0,348            | 1,0318                  | 4,18      | 3,9695                        | 5,9695       |
| 14 | paralisada | 1                        | 0   | 0,5        | 0,25            | 1           | 1,3524                    | 0               | 0,7376            | 0,348            | 1,0318                  | 3,68      | 3,4698                        | 3,4698       |
| 15 | ativa      | 1                        | 1   | 1          | 0,5             | 1           | 1,3524                    | 1,2373          | 1,2376            | 0,598            | 1,0318                  | 5,67      | 5,6716                        | 5,6716       |
| 16 | paralisada | 1                        | 0   | 0,5        | 0,25            | 1           | 1,3524                    | 0               | 0,7376            | 0,348            | 1,0318                  | 3,68      | 3,6843                        | 3,6843       |
| 17 | paralisada | 1                        | 1   | 0,5        | 1               | 1           | 1,3524                    | 1,2373          | 0,7376            | 1,098            | 1,0318                  | 5,67      | 5,4571                        | 5,4571       |
| 18 | ativa      | 1                        | 1   | 1          | 0,25            | 1           | 1,3524                    | 1,2373          | 1,2376            | 0,348            | 1,0318                  | 5,42      | 5,4216                        | 6,4216       |
| 19 | ativa      | 1                        | 1   | 0,5        | 1               | 1           | 1,3524                    | 1,2373          | 0,7376            | 1,098            | 1,0318                  | 5,67      | 5,4571                        | 6,4571       |
| 20 | paralisada | 1                        | 0   | 1          | 0,5             | 1           | 1,3524                    | 0               | 1,2376            | 0,598            | 1,0318                  | 4,43      | 4,2198                        | 4,2198       |
| 21 | paralisada | 1                        | 0   | 1          | 1               | 1           | 1,3524                    | 0               | 1,2376            | 1,098            | 1,0318                  | 4,93      | 4,7198                        | 4,7198       |
| 22 | paralisada | 1                        | 0   | 0,5        | 0,25            | 1           | 1,3524                    | 0               | 0,7376            | 0,348            | 1,0318                  | 3,68      | 3,6843                        | 3,6843       |
| 23 | ativa      | 1                        | 1   | 0,5        | 1               | 1           | 1,3524                    | 1,2373          | 0,7376            | 1,098            | 1,0318                  | 5,67      | 5,4571                        | 6,4571       |
| 24 | ativa      | 1                        | 1   | 0,5        | 1               | 1           | 1,3524                    | 1,2373          | 0,7376            | 1,098            | 1,0318                  | 5,67      | 5,4571                        | 6,4571       |

continua

|    |                          |   |   |     |      |   |        |        |        |       |        |      |        |        |
|----|--------------------------|---|---|-----|------|---|--------|--------|--------|-------|--------|------|--------|--------|
| 5  | paralisada               | 1 | 0 | 0,5 | 0,25 | 1 | 1,3524 | 0      | 0,7376 | 0,348 | 1,0318 | 3,68 | 3,6843 | 3,6843 |
| 26 | paralisada               | 0 | 0 | 0,5 | 0,5  | 1 | 0      | 0      | 0,7376 | 0,598 | 1,0318 | 2,58 | 2,5819 | 2,5819 |
| 27 | ativa                    | 1 | 0 | 0,5 | 1    | 1 | 1,3524 | 0      | 0,7376 | 1,098 | 1,0318 | 4,43 | 4,4343 | 5,4343 |
| 28 | encerrada                | 1 | 0 | 1   | 0,25 | 1 | 1,3524 | 0      | 1,2376 | 0,348 | 1,0318 | 4,18 | 4,1843 | 4,1843 |
| 29 | paralisada               | 0 | 0 | 0,5 | 0,25 | 1 | 0      | 0      | 0,7376 | 0,348 | 1,0318 | 2,33 | 2,3319 | 2,3319 |
| 30 | paralisada               | 1 | 0 | 0,5 | 0,25 | 1 | 1,3524 | 0      | 0,7376 | 0,348 | 1,0318 | 3,68 | 3,4698 | 3,4698 |
| 31 | encerrada                | 1 | 0 | 0,5 | 0,25 | 1 | 1,3524 | 0      | 0,7376 | 0,348 | 1,0318 | 3,68 | 3,6843 | 3,6843 |
| 32 | paralisada               | 0 | 0 | 0,5 | 0,25 | 1 | 0      | 0      | 0,7376 | 0,348 | 1,0318 | 2,33 | 2,3319 | 2,3319 |
| 33 | ativa                    | 0 | 0 | 0,5 | 0,25 | 1 | 0      | 0      | 0,7376 | 0,348 | 1,0318 | 2,33 | 2,3319 | 3,3319 |
| 34 | ativa                    | 1 | 0 | 0,5 | 1    | 1 | 1,3524 | 0      | 0,7376 | 1,098 | 1,0318 | 4,43 | 4,2198 | 5,2198 |
| 35 | encerrada                | 1 | 0 | 0,5 | 0,25 | 1 | 1,3524 | 0      | 0,7376 | 0,348 | 1,0318 | 3,68 | 3,6843 | 3,6843 |
| 36 | encerrada                | 0 | 0 | 0,5 | 0,25 | 0 | 0      | 0      | 0,7376 | 0,348 | 0      | 1,30 | 1,0856 | 1,0856 |
| 37 | paralisada               | 1 | 0 | 0,5 | 1    | 1 | 1,3524 | 0      | 0,7376 | 1,098 | 1,0318 | 4,43 | 4,2198 | 4,2198 |
| 38 | ativa                    | 1 | 0 | 0,5 | 0,25 | 1 | 1,3524 | 0      | 0,7376 | 0,348 | 1,0318 | 3,68 | 3,6843 | 4,6843 |
| 39 | ativa                    | 0 | 0 | 0,5 | 0,25 | 1 | 0      | 0      | 0,7376 | 0,348 | 1,0318 | 2,33 | 2,3319 | 3,3319 |
| 40 | ativa                    | 1 | 1 | 0,5 | 0,5  | 1 | 1,3524 | 1,2373 | 0,7376 | 0,598 | 1,0318 | 5,17 | 5,1716 | 6,1716 |
| 41 | paralisada               | 1 | 1 | 0,5 | 0,25 | 1 | 1,3524 | 1,2373 | 0,7376 | 0,348 | 1,0318 | 4,92 | 4,9216 | 4,9216 |
| 42 | paralisada               | 0 | 0 | 0,5 | 1    | 1 | 0      | 0      | 0,7376 | 1,098 | 1,0318 | 3,08 | 3,0819 | 3,0819 |
| 43 | ativa                    | 1 | 0 | 0,5 | 0,25 | 1 | 1,3524 | 0      | 0,7376 | 0,348 | 1,0318 | 3,68 | 3,4698 | 4,4698 |
| 44 | ativa                    | 0 | 0 | 0,5 | 0,25 | 1 | 0      | 0      | 0,7376 | 0,348 | 1,0318 | 2,33 | 2,1174 | 3,1174 |
| 45 | não instalada (mar/2007) | 0 | 0 | 0,5 | 0,25 | 0 | 0      | 0      | 0,7376 | 0,348 | 0      | 1,30 | 1,3001 | 1,3001 |
| 46 | encerrada                | 0 | 0 | 0,5 | 0,25 | 1 | 0      | 0      | 0,7376 | 0,348 | 1,0318 | 2,33 | 2,3319 | 2,3319 |
| 47 | encerrada                | 1 | 0 | 0,5 | 0,25 | 0 | 1,3524 | 0      | 0,7376 | 0,348 | 0      | 2,65 | 2,6525 | 2,6525 |
| 48 | paralisada               | 1 | 0 | 0,5 | 0,25 | 1 | 1,3524 | 0      | 0,7376 | 0,348 | 1,0318 | 3,68 | 3,4698 | 3,4698 |
| 49 | paralisada               | 0 | 0 | 0,5 | 0,25 | 1 | 0      | 0      | 0,7376 | 0,348 | 1,0318 | 2,33 | 2,1174 | 2,1174 |
| 50 | paralisada               | 1 | 0 | 0,5 | 0,25 | 1 | 1,3524 | 0      | 0,7376 | 0,348 | 1,0318 | 3,68 | 3,6843 | 3,6843 |
| 51 | paralisada               | 0 | 0 | 0,5 | 0,5  | 1 | 0      | 0      | 0,7376 | 0,598 | 1,0318 | 2,58 | 2,5819 | 2,5819 |

continua

|    |            |   |   |     |      |   |        |        |        |       |        |      |        |        |
|----|------------|---|---|-----|------|---|--------|--------|--------|-------|--------|------|--------|--------|
| 52 | encerrada  | 0 | 0 | 0,5 | 0,25 | 1 | 0      | 0      | 0,7376 | 0,348 | 1,0318 | 2,33 | 2,1174 | 2,1174 |
| 53 | paralisada | 0 | 0 | 0,5 | 1    | 1 | 0      | 0      | 0,7376 | 1,098 | 1,0318 | 3,08 | 3,0819 | 3,0819 |
| 54 | paralisada | 0 | 0 | 0,5 | 0,25 | 1 | 0      | 0      | 0,7376 | 0,348 | 1,0318 | 2,33 | 2,1174 | 2,1174 |
| 55 | ativa      | 1 | 1 | 1   | 1    | 1 | 1,3524 | 1,2373 | 1,2376 | 1,098 | 1,0318 | 6,17 | 6,1716 | 7,1716 |
| 56 | ativa      | 1 | 0 | 0,5 | 0,25 | 1 | 1,3524 | 0      | 0,7376 | 0,348 | 1,0318 | 3,68 | 3,4698 | 4,4698 |
| 57 | paralisada | 1 | 0 | 0,5 | 0,5  | 1 | 1,3524 | 0      | 0,7376 | 0,598 | 1,0318 | 3,93 | 3,9343 | 3,9343 |
| 58 | paralisada | 1 | 0 | 0   | 0,25 | 1 | 1,3524 | 0      | 0      | 0,348 | 1,0318 | 2,95 | 2,7322 | 2,7322 |
| 59 | paralisada | 1 | 1 | 0,5 | 1    | 1 | 1,3524 | 1,2373 | 0,7376 | 1,098 | 1,0318 | 5,67 | 5,6716 | 5,6716 |
| 6  | paralisada | 1 | 0 | 0,5 | 0,25 | 1 | 1,3524 | 0      | 0,7376 | 0,348 | 1,0318 | 3,68 | 3,4698 | 3,4698 |
| 61 | paralisada | 1 | 0 | 0,5 | 0,25 | 1 | 1,3524 | 0      | 0,7376 | 0,348 | 1,0318 | 3,68 | 3,6843 | 3,6843 |
| 62 | ativa      | 1 | 0 | 0,5 | 0,25 | 1 | 1,3524 | 0      | 0,7376 | 0,348 | 1,0318 | 3,68 | 3,6843 | 4,6843 |
| 63 | paralisada | 1 | 0 | 0,5 | 1    | 1 | 1,3524 | 0      | 0,7376 | 1,098 | 1,0318 | 4,43 | 4,4343 | 4,4343 |
| 64 | paralisada | 1 | 0 | 0   | 0,25 | 1 | 1,3524 | 0      | 0      | 0,348 | 1,0318 | 2,95 | 2,9467 | 2,9467 |
| 65 | ativa      | 1 | 0 | 0,5 | 0,25 | 1 | 1,3524 | 0      | 0,7376 | 0,348 | 1,0318 | 3,68 | 3,6843 | 4,6843 |
| 66 | ativa      | 1 | 0 | 0,5 | 1    | 1 | 1,3524 | 0      | 0,7376 | 1,098 | 1,0318 | 4,43 | 4,4343 | 5,4343 |
| 67 | encerrada  | 1 | 0 | 0,5 | 1    | 1 | 1,3524 | 0      | 0,7376 | 1,098 | 1,0318 | 4,43 | 4,4343 | 4,4343 |
| 68 | encerrada  | 1 | 0 | 0,5 | 0,5  | 0 | 1,3524 | 0      | 0,7376 | 0,598 | 0      | 2,90 | 2,9025 | 2,9025 |
| 69 | paralisada | 1 | 1 | 0,5 | 0,25 | 1 | 1,3524 | 1,2373 | 0,7376 | 0,348 | 1,0318 | 4,92 | 4,7071 | 4,7071 |
| 70 | paralisada | 1 | 0 | 0,5 | 1    | 1 | 1,3524 | 0      | 0,7376 | 1,098 | 1,0318 | 4,43 | 4,2198 | 4,2198 |
| 71 | paralisada | 0 | 0 | 0,5 | 1    | 1 | 0      | 0      | 0,7376 | 1,098 | 1,0318 | 3,08 | 3,0819 | 3,0819 |
| 72 | paralisada | 0 | 0 | 0,5 | 1    | 1 | 0      | 0      | 0,7376 | 1,098 | 1,0318 | 3,08 | 2,8674 | 2,8674 |
| 73 | paralisada | 1 | 0 | 0,5 | 0,25 | 1 | 1,3524 | 0      | 0,7376 | 0,348 | 1,0318 | 3,68 | 3,6843 | 3,6843 |
| 74 | paralisada | 1 | 0 | 0,5 | 0,25 | 1 | 1,3524 | 0      | 0,7376 | 0,348 | 1,0318 | 3,68 | 3,6843 | 3,6843 |
| 75 | paralisada | 1 | 0 | 0,5 | 1    | 1 | 1,3524 | 0      | 0,7376 | 1,098 | 1,0318 | 4,43 | 4,2198 | 4,2198 |
| 76 | paralisada | 0 | 0 | 0,5 | 0,25 | 1 | 0      | 0      | 0,7376 | 0,348 | 1,0318 | 2,33 | 2,1174 | 2,1174 |
| 77 | paralisada | 0 | 0 | 0,5 | 1    | 1 | 0      | 0      | 0,7376 | 1,098 | 1,0318 | 3,08 | 2,8674 | 2,8674 |
| 78 | ativa      | 1 | 0 | 0,5 | 1    | 1 | 1,3524 | 0      | 0,7376 | 1,098 | 1,0318 | 4,43 | 4,2198 | 5,2198 |
| 79 | ativa      | 1 | 0 | 0,5 | 0,25 | 1 | 1,3524 | 0      | 0,7376 | 0,348 | 1,0318 | 3,68 | 3,4698 | 4,4698 |
| 80 | ativa      | 1 | 0 | 0,5 | 0,5  | 1 | 1,3524 | 0      | 0,7376 | 0,598 | 1,0318 | 3,93 | 3,7198 | 4,7198 |
| 81 | paralisada | 1 | 0 | 0,5 | 0,25 | 1 | 1,3254 | 0      | 0,7376 | 0,348 | 1,0318 | 3,66 | 3,4428 | 3,4428 |
| 82 | paralisada | 1 | 0 | 0,5 | 0,25 | 1 | 1,3254 | 0      | 0,7376 | 0,348 | 1,0318 | 3,66 | 3,4428 | 3,4428 |
| 83 | encerrada  | 1 | 0 | 0,5 | 0,5  | 0 | 1,3524 | 0      | 0,7376 | 0,598 | 0      | 2,90 | 2,9025 | 2,9025 |

## **ANEXO A - EXIGÊNCIAS AMBIENTAIS, EIA/RIMA, PRAD e RCA/PCA**

As variáveis ambientais foram levantadas de documentos contidos nos processos. A juntada destes documentos atendiam às exigências da legislação que ditava sobre Estudo de Impacto Ambiental/ Relatório de Impacto Ambiental (EIA/RIMA), Plano de Recuperação de Áreas Degradadas (PRAD) e Relatório de Controle Ambiental/ Plano de Controle Ambiental (RCA/ PCA) e Resolução Estadual SMA nº 42/96. Como os processos visados constavam desde o ano de 1979, o apensar da documentação, bem como sua nomenclatura foi modificada com o passar dos anos, para atender as exigências devido ao avanço da legislação ambiental.

### **A.1 – Exigências para EIA/ RIMA**

RESOLUÇÃO CONAMA Nº 001, de 23 de janeiro de 1986

Publicado no D.O.U de 17 /2/86.

O CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE - IBAMA, no uso das atribuições que lhe confere o artigo 48 do Decreto nº 88.351, de 1º de junho de 1983, para efetivo exercício das responsabilidades que lhe são atribuídas pelo artigo 18 do mesmo decreto, e Considerando a necessidade de se estabelecerem as definições, as responsabilidades, os critérios básicos e as diretrizes gerais para uso e implementação da Avaliação de Impacto Ambiental como um dos instrumentos da Política Nacional do Meio Ambiente, RESOLVE:

Artigo 1º - Para efeito desta Resolução, considera-se impacto ambiental 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, afetam:

- I - a saúde, a segurança e o bem-estar da população;
- II - as atividades sociais e econômicas;
- III - a biota;
- IV - as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente;
- V - a qualidade dos recursos ambientais.

Artigo 2º - Dependerá de elaboração de estudo de impacto ambiental e respectivo relatório de impacto ambiental - RIMA, a serem submetidos à aprovação do órgão estadual competente, e do IBAMA e em caráter supletivo, o licenciamento de atividades modificadoras do meio ambiente, tais como:

- I - Estradas de rodagem com duas ou mais faixas de rolamento;
- II - Ferrovias;
- III - Portos e terminais de minério, petróleo e produtos químicos;
- IV - Aeroportos, conforme definidos pelo inciso 1, artigo 48, do Decreto-Lei nº 32, de 18.11.66;
- V - Oleodutos, gasodutos, minerodutos, troncos coletores e emissários de esgotos sanitários;

- VI - Linhas de transmissão de energia elétrica, acima de 230KV;
- VII - Obras hidráulicas para exploração de recursos hídricos, tais como: barragem para fins hidrelétricos, acima de 10MW, de saneamento ou de irrigação, abertura de canais para navegação, drenagem e irrigação, retificação de cursos d'água, abertura de barras e embocaduras, transposição de bacias, diques;
- VIII - Extração de combustível fóssil (petróleo, xisto, carvão);
- IX - Extração de minério, inclusive os da classe II, definidas no Código de Mineração;
- X - Aterros sanitários, processamento e destino final de resíduos tóxicos ou perigosos;
- XI - Usinas de geração de eletricidade, qualquer que seja a fonte de energia primária, acima de 10MW;
- XII - Complexo e unidades industriais e agro-industriais (petroquímicos, siderúrgicos, cloroquímicos, destilarias de álcool, hulha, extração e cultivo de recursos hídricos);
- XIII - Distritos industriais e zonas estritamente industriais - ZEI;
- XIV - Exploração econômica de madeira ou de lenha, em áreas acima de 100 hectares ou menores, quando atingir áreas significativas em termos percentuais ou de importância do ponto de vista ambiental;
- XV - Projetos urbanísticos, acima de 100ha. ou em áreas consideradas de relevante interesse ambiental a critério da SEMA e dos órgãos municipais e estaduais competentes;
- XVI - Qualquer atividade que utilize carvão vegetal, em quantidade superior a dez toneladas por dia.

Artigo 3º - Dependerá de elaboração de estudo de impacto ambiental e respectivo RIMA, a serem submetidos à aprovação do IBAMA, o licenciamento de atividades que, por lei, seja de competência federal.

Artigo 4º - Os órgãos ambientais competentes e os órgãos setoriais do SISNAMA deverão compatibilizar os processos de licenciamento com as etapas de planejamento e implantação das atividades modificadoras do meio Ambiente, respeitados os critérios e diretrizes estabelecidos por esta Resolução e tendo por base a natureza o porte e as peculiaridades de cada atividade.

Artigo 5º - O estudo de impacto ambiental, além de atender à legislação, em especial os princípios e objetivos e pressos na Lei de Política Nacional do Meio Ambiente, obedecerá às seguintes diretrizes gerais:

- I - Contemplar todas as alternativas tecnológicas e de localização de projeto, confrontando-as com a hipótese de não execução do projeto;
- II - Identificar e avaliar sistematicamente os impactos ambientais gerados nas fases de implantação e operação da atividade;
- 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;
- IV - Considerar os planos e programas governamentais, propostos e em implantação na área de influência do projeto, e sua compatibilidade.

Parágrafo Único - Ao determinar a execução do estudo de impacto ambiental o órgão estadual competente, ou o IBAMA ou, quando couber, o Município, fixará as diretrizes adicionais que, pelas peculiaridades do projeto e características ambientais da área, forem julgadas necessárias, inclusive os prazos para conclusão e análise dos estudos.

Artigo 6º - O estudo de impacto ambiental desenvolverá, no mínimo, as seguintes atividades técnicas:

I - Diagnóstico ambiental da área de influência do projeto completa descrição e análise dos recursos ambientais e suas interações, tal como existem, de modo a caracterizar a situação ambiental da área, antes da implantação do projeto, considerando:

a) o meio físico - o subsolo, as águas, o ar e o clima, destacando os recursos minerais, a topografia, os tipos e aptidões do solo, os corpos d'água, o regime hidrológico, as correntes marinhas, as correntes atmosféricas;

b) o meio biológico e os ecossistemas naturais - a fauna e a flora, destacando as espécies indicadoras da qualidade ambiental, de valor científico e econômico, raras e ameaçadas de extinção e as áreas de preservação permanente;

c) o meio sócio-econômico - o uso e ocupação do solo, os usos da água e a sócio-economia, destacando os sítios e monumentos arqueológicos, históricos e culturais da comunidade, as relações de dependência entre a sociedade local, os recursos ambientais e a potencial utilização futura desses recursos.

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.

III - Definição das medidas mitigadoras dos impactos negativos, entre elas os equipamentos de controle e sistemas de tratamento de despejos, avaliando a eficiência de cada uma delas.

IV - Elaboração do programa de acompanhamento e monitoramento (os impactos positivos e negativos, indicando os fatores e parâmetros a serem considerados).

Parágrafo Único - Ao determinar a execução do estudo de impacto Ambiental o órgão estadual competente; ou o IBAMA ou quando couber, o Município fornecerá as instruções adicionais que se fizerem necessárias, pelas peculiaridades do projeto e características ambientais da área.

Artigo 7º - O estudo de impacto ambiental será realizado por equipe multidisciplinar habilitada, não dependente direta ou indiretamente do proponente do projeto e que será responsável tecnicamente pelos resultados apresentados.

Artigo 8º - Correrão por conta do proponente do projeto todas as despesas e custos referentes à realização do estudo de impacto ambiental, tais como: coleta e aquisição dos dados e informações, trabalhos e inspeções de campo, análises de laboratório, estudos técnicos e científicos e acompanhamento e monitoramento dos impactos, elaboração do RIMA e fornecimento de pelo menos 5 (cinco) cópias,

Artigo 9º - O relatório de impacto ambiental - RIMA refletirá as conclusões do estudo de impacto ambiental e conterá, no mínimo:

I - Os objetivos e justificativas do projeto, sua relação e compatibilidade com as políticas setoriais, planos e programas governamentais;

II - A descrição do projeto e suas alternativas tecnológicas e locacionais, especificando para cada um deles, nas fases de construção e operação a área de influência, as matérias primas, e mão-de-obra, as fontes de energia, os processos e técnica operacionais, os prováveis efluentes, emissões, resíduos de energia, os empregos diretos e indiretos a serem gerados;

III - A síntese dos resultados dos estudos de diagnósticos ambiental da área de influência do projeto;

IV - A descrição dos prováveis impactos ambientais da implantação e operação da atividade, considerando o projeto, suas alternativas, os horizontes de tempo de incidência dos impactos e indicando os métodos, técnicas e critérios adotados para sua identificação, quantificação e interpretação;

V - A caracterização da qualidade ambiental futura da área de influência, comparando as diferentes situações da adoção do projeto e suas alternativas, bem como com a hipótese de sua não realização;

VI - A descrição do efeito esperado das medidas mitigadoras previstas em relação aos impactos negativos, mencionando aqueles que não puderam ser evitados, e o grau de alteração esperado;

VII - O programa de acompanhamento e monitoramento dos impactos;

VIII - Recomendação quanto à alternativa mais favorável (conclusões e comentários de ordem geral).

Parágrafo único - O RIMA deve ser apresentado de forma objetiva e adequada a sua compreensão. As informações devem ser traduzidas em linguagem acessível, ilustradas por mapas, cartas, quadros, gráficos e demais técnicas de comunicação visual, de modo que se possam entender as vantagens e desvantagens do projeto, bem como todas as consequências ambientais de sua implementação.

Artigo 10 - O órgão estadual competente, ou o IBAMA ou, quando couber, o Município terá um prazo para se manifestar de forma conclusiva sobre o RIMA apresentado.

Parágrafo único - O prazo a que se refere o caput deste artigo terá o seu termo inicial na data do recebimento pelo estadual competente ou pela SEMA do estudo do impacto ambiental e seu respectivo RIMA.

Artigo 11 - Respeitado o sigilo industrial, assim solicitando e demonstrando pelo interessado o RIMA será acessível ao público. Suas cópias permanecerão à disposição dos interessados, nos centros de documentação ou bibliotecas da SEMA e do estadual de controle ambiental correspondente, inclusive o período de análise técnica,

§ 1º - Os órgãos públicos que manifestarem interesse, ou tiverem relação direta com o projeto, receberão cópia do RIMA, para conhecimento e manifestação,

§ 2º - Ao determinar a execução do estudo de impacto ambiental e apresentação do RIMA, o estadual competente ou o IBAMA ou, quando couber o Município, determinará o prazo para recebimento dos comentários a serem feitos pelos órgãos públicos e demais interessados e, sempre que julgar necessário, promoverá a realização de audiência pública para informação sobre o projeto e seus impactos ambientais e discussão do RIMA,

Artigo 12 - Esta Resolução entra em vigor na data de sua publicação.

Flávio Peixoto da Silveira

(Alterada pela Resolução nº 011/86)

## **A.2 – Procedimentos para elaboração de PRAD**

Instrução Normativa nº 4 de 13/04/2011 / IBAMA - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis

(D.O.U. 14/04/2011)

Procedimentos para elaboração de Projeto de Recuperação de Área Degradada - PRAD ou Área Alterada, para fins de cumprimento da legislação ambiental. Estabelecer procedimentos para elaboração de Projeto de Recuperação de Área Degradada - PRAD ou Área Alterada, para fins de cumprimento da legislação ambiental, bem como dos Termos de Referência constantes dos Anexos I e II desta Instrução Normativa.

INSTRUÇÃO NORMATIVA Nº. 4, DE 13 DE ABRIL DE 2011

O PRESIDENTE DO INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS - IBAMA, no uso das atribuições que lhe confere o art. 22 do Anexo I ao Decreto no 6.099, de 26 de abril de 2007, e no art. 95, inciso VI, do Anexo à Portaria GM/MMA no 230, de 14 de maio de 2002, e tendo em vista o disposto no art. 2º, inciso VIII, da Lei no 6.938, de 31 de agosto de 1981 e no art. 225, §§ 2º e 3º da Constituição Federal, e o que consta do Processo no 02001.000775/2009-47; e

Considerando a necessidade de fazer cumprir a legislação ambiental, especialmente no que concerne aos procedimentos relativos a reparação de danos ambientais;  
Considerando a necessidade de estabelecer exigências mínimas e nortear a elaboração de Projetos de Recuperação de Áreas Degradadas - PRAD ou Áreas Alteradas, resolve:

### **CAPÍTULO I**

#### **DAS DISPOSIÇÕES GERAIS**

Art. 1º Estabelecer procedimentos para elaboração de Projeto de Recuperação de Área Degradada - PRAD ou Área Alterada, para fins de cumprimento da legislação ambiental, bem como dos Termos de Referência constantes dos Anexos I e II desta Instrução Normativa.

§ 1º Os Termos de Referência de que trata o caput deste artigo estabelecem diretrizes e orientações técnicas voltadas à apresentação de PRAD e PRAD Simplificado.

§ 2º O PRAD deverá reunir informações, diagnósticos, levantamentos e estudos que permitam a avaliação da degradação ou alteração e a consequente definição de medidas adequadas à recuperação da área, em conformidade com as especificações dos Termos de Referência constantes nos Anexos desta Instrução Normativa.

§ 3º Desde que tecnicamente justificado o PRAD poderá contemplar peculiaridades locais sem necessariamente atender todas as diretrizes e orientações técnicas constantes nos Termos de Referência.

§ 4º A depender das condições da área a ser recuperada e das demais condições apontadas na análise técnica, poderá ser estimulada e conduzida a regeneração natural da vegetação nativa.

§ 5º O IBAMA, em razão da análise técnica a ser realizada nas áreas degradadas ou alteradas, em pequena propriedade rural ou posse rural familiar, conforme definidos em legislação específica, poderá indicar a adoção do Termo de Referência para elaboração

de Projeto Simplificado de Recuperação de Área Degradada ou Alterada de Pequena Propriedade Rural ou Posse Rural Familiar, conforme Anexo II desta Instrução Normativa.

§ 6o Para os casos em que o PRAD ou o PRAD Simplificado forem considerados, em razão da análise técnica, como projetos que excedam as necessidades locais para a recuperação de Áreas Degradadas ou Alteradas, poderá ser adotado Termo de Compromisso vinculado a Termo de Referência específico, conforme Anexos IV e V desta Instrução Normativa.

§ 7o Para os médios e grandes imóveis rurais, poderão ser adotados o Termo de Referência para elaboração de PRAD Simplificado ou o Termo de Compromisso referenciados no § 6o, em razão de análise técnica, para as áreas alteradas em tamanho inferior ou igual à pequena propriedade rural ou posse rural familiar.

Art. 2o O PRAD deverá informar os métodos e técnicas a serem empregados de acordo com as peculiaridades de cada área, devendo ser utilizados de forma isolada ou conjunta, preferencialmente aqueles de eficácia já comprovada.

§ 1o O PRAD deverá propor medidas que assegurem a proteção das áreas degradadas ou alteradas de quaisquer fatores que possam dificultar ou impedir o processo de recuperação.

§ 2o Deverá ser dada atenção especial à proteção e conservação do solo e dos recursos hídricos e, caso se façam necessárias, técnicas de controle da erosão deverão ser executadas.

§ 3o O PRAD deverá apresentar embasamento teórico que contemple as variáveis ambientais e seu funcionamento similar ao dos ecossistemas da região.

Art. 3o O PRAD e o PRAD Simplificado deverão conter planilha(s) com o detalhamento dos custos de todas as atividades previstas, conforme, respectivamente, Anexos I-B e II-B desta Instrução Normativa.

## CAPÍTULO II

### DAS DEFINIÇÕES

Art. 4o Para efeitos desta Instrução Normativa, considera-se:

I- área degradada: área impossibilitada de retornar por uma trajetória natural, a um ecossistema que se assemelhe a um estado conhecido antes, ou para outro estado que poderia ser esperado;

II- área alterada ou perturbada: área que após o impacto ainda mantém meios de regeneração biótica, ou seja, possui capacidade de regeneração natural;

III- recuperação: restituição de um ecossistema ou de uma população silvestre degradada a uma condição não degradada, que pode ser diferente de sua condição original, conforme art. 2o, inciso XIII, da Lei no 9.985, de 18 de julho de 2000;

IV- sistema agroflorestal - SAF: forma de uso da terra na qual espécies lenhosas perenes são cultivadas consorciadas a espécies herbáceas ou animais, com a obtenção dos benefícios das interações ecológicas e econômicas resultantes;

V- espécie exótica: espécie não originária do bioma de ocorrência de determinada área geográfica, ou seja, qualquer espécie fora de sua área natural de distribuição geográfica;

VI- espécies-problema ou espécies invasoras: espécies exóticas ou nativas que formem populações fora de seu sistema de ocorrência natural ou que excedam o tamanho populacional desejável, respectivamente, interferindo negativamente no desenvolvimento da recuperação ecossistêmica;

VII- espécie ameaçada de extinção: espécie que se encontra em perigo de extinção, sendo sua sobrevivência incerta, caso os fatores que causam essa ameaça continuem atuando e constante de listas oficiais de espécies em extinção;

VIII- espécies pioneiras e espécies tardias: o primeiro grupo ecológico contempla as espécies pioneiras e secundárias iniciais, enquanto que o segundo contempla as espécies secundárias tardias e as climáticas;

IX - espécies zoocóricas: espécies vegetais dispersas pela fauna.

#### CAPÍTULO III DOS PROCEDIMENTOS INICIAIS

Art. 5º O PRAD, a ser elaborado de acordo com o Termo de Referência, deverá ser protocolizado no IBAMA em 02 (duas) vias, sendo uma em meio impresso e outra em meio digital, acompanhado de cópia dos seguintes documentos:

I - documentação do requerente;

II - documentação da propriedade ou posse;

III - cadastro no ato declaratório ambiental - ADA ao IBAMA, se for o caso;

IV- certificado de registro do responsável técnico no Cadastro Técnico Federal do IBAMA - CTF, se for o caso;

V- anotação de responsabilidade técnica-ART, devidamente recolhida, se for o caso, do(s) técnico(s) responsável(is) pela elaboração e execução do PRAD, exceto para os pequenos proprietários rurais ou legítimos detentores de posse rural familiar, conforme definido em legislação específica;

VI- informações georreferenciadas de todos os vértices das áreas - do imóvel, de Preservação Permanente, de Reserva Legal, a recuperar - a fim de delimitar a(s) poligonal(is), com a indicação do respectivo DATUM;

VII- mapa ou croqui que possibilite o acesso ao imóvel rural.

Parágrafo único. Aprovado o PRAD ou o PRAD Simplificado pelo IBAMA, o interessado terá até 90 (noventa) dias de prazo para dar início às atividades previstas no Cronograma de Execução constante dos Termos de Referência do PRAD, observadas as condições sazonais da região.

#### CAPÍTULO IV

##### DA IMPLANTAÇÃO E MANUTENÇÃO

Art. 6º Quando for proposta a implantação direta de espécies vegetais, seja por mudas, sementes ou outras formas de propágulo, deverão ser utilizadas espécies nativas da região na qual estará inserido o projeto de recuperação, incluindo-se, também, aquelas espécies ameaçadas de extinção, as quais deverão ser destacadas no projeto.

Art. 7º Para os casos de plantio de mudas, na definição do número de espécies vegetais nativas e do número de indivíduos por hectare a ser utilizado na recuperação das áreas degradadas ou alteradas, deverão ser considerados trabalhos, pesquisas publicadas, informações técnicas, atos normativos disponíveis, respeitando-se as especificidades e particularidades de cada região, visando identificar a maior diversidade possível de espécies florestais e demais formas de vegetação nativa, buscando-se, com isso, obter maior compatibilidade com a fitofisionomia local.

Art. 8º As espécies vegetais utilizadas deverão ser listadas e identificadas por família, nome científico e respectivo nome vulgar.

Parágrafo único. Na definição das espécies vegetais nativas a serem empregadas na recuperação das áreas degradadas ou alteradas, deverá ser dada atenção especial àquelas espécies adaptadas às condições locais e àquelas com síndrome de dispersão zoocórica.

Art. 9º Na propriedade ou posse do agricultor familiar, do empreendedor familiar rural ou dos povos e comunidades tradicionais, poderão ser utilizados Sistemas Agroflorestais - SAF, desde que devidamente justificado no PRAD Simplificado.

Art. 10. A possibilidade de uso futuro da área recuperada obedecerá à legislação vigente, inclusive a exploração mediante manejo ambientalmente sustentável.

Art. 11. Para recuperação das Áreas de Preservação Permanente - APP deverão ser observadas as restrições previstas na legislação aplicável.

Art. 12. Todos os tratos culturais e intervenções que se fizerem necessários durante o processo de recuperação das áreas degradadas ou alteradas deverão ser detalhados no PRAD e no PRAD Simplificado.

Parágrafo único. Quando necessário o controle de espécies invasoras, de pragas e de doenças deverão ser utilizados métodos e produtos que causem o menor impacto possível, observando-se técnicas e normas aplicáveis a cada caso.

## CAPÍTULO V

### DO MONITORAMENTO E AVALIAÇÃO

Art. 13. O monitoramento e consequente avaliação do PRAD e do PRAD Simplificado é de 03 (três) anos após sua implantação, podendo ser prorrogado por igual período.

Art. 14. O interessado apresentará, no mínimo semestralmente, ao longo da execução do PRAD, Relatórios de Monitoramento, conforme modelo constante do Anexo III desta Instrução Normativa.

§ 1º Os Relatórios de Monitoramento, a serem elaborados pelo responsável técnico do PRAD poderão ser solicitados pela área técnica do IBAMA, caso a situação requeira, em intervalos de 03 (três) meses.

§ 2º Ficam isentos da apresentação dos relatórios de que trata o caput deste artigo os pequenos proprietários rurais ou legítimos detentores de posse rural familiar, conforme definidos no art. 1º, § 2º, da Lei nº 4.771, de 15 de setembro de 1965.

Art. 15. As Superintendências do IBAMA farão vistorias por amostragem nas áreas degradadas ou alteradas em processo de recuperação.

Parágrafo único. O IBAMA efetuará vistoria para quitação do Termo de Compromisso utilizando-se quando necessário, de recursos tecnológicos tais como sensoriamento remoto e geoprocessamento.

Art. 16. Eventuais alterações das atividades técnicas previstas no PRAD ou no PRAD Simplificado deverão ser encaminhadas ao IBAMA com antecedência mínima de 90 (noventa) dias, com as devidas justificativas, para que sejam submetidas à análise técnica.

Art. 17. Ao final da execução do PRAD, deverá ser apresentado Relatório de Avaliação com indicativos que permitam aferir o grau e a efetividade da recuperação da área e contemplem a recuperação das funções e formas ecossistêmicas no contexto da bacia, da sub bacia ou da microbacia.

§ 1º O Relatório de Avaliação a ser apresentado ao final do projeto, terá como base os dados constantes dos Relatórios de Monitoramento do PRAD, Anexo III desta Instrução Normativa.

§ 2º O IBAMA, após a apresentação do Relatório de Avaliação, manifestar-se-á conclusivamente, nos prazos definidos pela legislação.

§ 3º O responsável técnico pela elaboração e execução do PRAD comunicará, por intermédio dos Relatórios de Monitoramento e de Avaliação, Anexo III desta Instrução Normativa, todas e quaisquer irregularidades e problemas verificados na área em processo

de recuperação, sob pena da responsabilidade prevista no Decreto no 6.514, de 22 de julho de 2008.

#### CAPÍTULO VI

#### DAS DISPOSIÇÕES FINAIS

Art. 18. Caso os objetivos propostos no PRAD e no PRAD Simplificado não sejam alcançados, a partir de caracterização qualitativa e quantitativa, não será considerada como em efetiva recuperação a área degradada ou alterada, propiciando a reavaliação do projeto e ações técnicas pertinentes.

Art. 19. Os casos omissos serão resolvidos pelo Presidente do IBAMA, ouvida a área técnica.

Art. 20. Esta Instrução Normativa entra em vigor na data de sua publicação.

### **A.3 – Procedimentos para elaboração de RCA/ PCA**

#### **RCA/PCA SOLICITAÇÃO DE LP/LI OU LI**

MCE – Adicional de Mineração

#### **PLANTA DE USO E OCUPAÇÃO DO SOLO – 1 VIA**

Planta em escala 1:50.000, planialtimétrica, georreferenciada em UTM, com as seguintes informações discriminadas na planta e na legenda:

- Unidades de Conservação, num raio de 10 km;
- Sistemas de captação para abastecimento público, num raio de 10 km;
- Uso e ocupação do solo do entorno do empreendimento. Informar a existência de aglomerados e/ou núcleos urbanos, escolas, creches, hospitais, vias de acesso e de escoamento de produtos, existência de propriedades rurais e de cultivo agrícola, num raio de 1.000m do empreendimento;
- Área da poligonal do DNPM e área da configuração final conforme o Plano de Aproveitamento Econômico ou Plano de Lavra aprovado pelo DNPM;
- Existência de outras atividades minerárias no entorno do empreendimento e o bem mineral extraído.

#### **PLANTA DE DETALHE DA CONFIGURAÇÃO FINAL**

A planta de detalhe de configuração final da lavra deverá conter uma tabela com as seguintes informações:

- Área de extração em hectares (ha), conforme a configuração final da lavra; • Substância mineral a ser extraída;
- Reserva mineral (minério e estéril) in situ, em metros cúbicos (m<sup>3</sup>);
- Método de lavra;
- Vida útil da jazida, em anos.
- A planta deverá apresentar também:
  - Localização do depósito de estéril;
  - Localização do depósito de rejeitos;
- Configuração final da lavra, com as cotas finais;
  - Autenticação do DNPM – Departamento Nacional de Produção Mineral.

#### **PLANTA DE SITUAÇÃO DO MEIO FÍSICO E BIÓTICO – 4 VIAS**

Planta de detalhe em escala 1:10.000 ou menor, planialtimétrica, georreferenciada em UTM, com as seguintes informações discriminadas na planta e na legenda:

- Cobertura vegetal;
- Área de vegetação a ser suprimida (discriminar a área total e a área referente ao módulo que será licenciado);
- Identificação dos corpos d'água;
- Áreas de preservação permanente;
- Área de configuração final, conforme o Plano de Aproveitamento Econômico ou
- Plano de Lavra aprovado pelo DNPM;

Após análise, uma das vias autenticada será anexada à Licença de Instalação.

#### **PLANTA DE RECUPERAÇÃO AMBIENTAL – FINAL DA VIDA ÚTIL DA JAZIDA – 2 VIAS (exigida apenas na solicitação de Licença Prévia e/ou Prévia/Instalação concomitantes, exceto nos casos de reavaliação da reserva mineral da jazida)**

Planta de detalhe em escala 1:10.000 ou menor, planialtimétrica, georreferenciada em UTM, com as seguintes informações discriminadas na planta e na legenda:

- Recuperação da área degradada ao final da vida útil da jazida; apresentar o restabelecimento do escoamento pluvial e fluvial;
- Topografia;
- Demarcação e indicação do tipo de cobertura vegetal;
- Uso futuro pretendido;

No caso de configurações que apresentem área inundada após desativação, informar a área, profundidade, inclinação dos taludes das bordas.

#### RCA/PCA SOLICITAÇÃO DE LO RENOVAÇÃO

##### PLANTA DO MÓDULO A SER LICENCIADO – 4 VIAS

Planta de detalhe em escala 1:10.000 ou menor, planialtimétrica, georreferenciada em UTM, com as seguintes informações discriminadas na planta e na legenda:

- Área da poligonal do DNPM com a delimitação da área da configuração final da lavra, de acordo com o Plano de Aproveitamento Econômico ou Plano de Lavra;
- Área do módulo a ser explorado (no prazo de três anos ou menor); delimitar a área licenciada na LP (se couber), na LI (se couber), na LO anterior (se couber) e a área objeto do pedido de licença; Se houver área dispensada de Licença Prévia/de Instalação, a mesma também deverá ser delimitada na planta;
- Projeção das áreas de beneficiamento, de estocagem do solo orgânico, do estéril, do minério e do rejeito, projeção das bacias de decantação e as vias de acesso;
- Identificação dos corpos d'água e classes de uso, e das áreas de preservação permanente;
- Vegetação nativa existente;
- Sistema de drenagem.

Após análise, uma via autenticada será anexada à Licença de Operação.

##### PLANTA DE RECUPERAÇÃO AMBIENTAL – FINAL DO MÓDULO A SER EXPLORADO – 4 VIAS

Planta de detalhe em escala 1:10.000 ou menor, planialtimétrica, georreferenciada em UTM, com as seguintes informações discriminadas na planta e na legenda:

- Recuperação da área degradada ao final do módulo a ser explorado (período de vigência da Licença de Operação);
- Topografia;
- Demarcação e indicação do tipo de cobertura vegetal;
- Uso futuro pretendido.

No caso de configurações que apresentem área inundada após desativação, informar a área, profundidade máxima, grau de inclinação dos taludes das margens.

Após análise, uma via autenticada será anexada à Licença de Operação.

#### **A.4 – Exigências para o licenciamento ambiental dos empreendimentos minerários de extração de areia na Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul**

RESOLUÇÃO SMA 42, DE 16 DE SETEMBRO DE 1996

Disciplina o licenciamento ambiental dos empreendimentos minerários de extração de areia na Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul

O Secretário do Meio Ambiente, no uso de suas atribuições legais e considerando que o CONSEMA, em sua 42a Reunião Plenária Extraordinária, através da Deliberação 024/96, aprovou a "minuta" de Resolução que disciplina o licenciamento ambiental dos empreendimentos minerários de extração de areia na Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul.

RESOLVE:

Art. 1o. O licenciamento ambiental das atividades minerárias de extração de areia na Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul fica condicionada à prévia definição das áreas aptas para essas atividades nessa Bacia.

Parágrafo único. O licenciamento de que trata este artigo só poderá ser outorgado nas áreas que vierem a ser definidas como aptas para extração de areia.

Art. 2o. Excetua-se do disposto no artigo 1o as atividades de extração de areia objeto de pedido de licença, protocolado na CETESB ou na SMA, em data anterior a 02/09/96, desde que obedecidas todas as demais disposições desta Resolução.

§ 1o. Em casos de infração a qualquer dessas disposições, as atividades de que trata este artigo deverão ser intimadas a paralisar suas operações, sob as penas da lei.

§ 2o. A obediência às disposições desta Resolução não dá ao minerador direito à licença, que poderá ser outorgada ou negada, ao fim do processo regular.

Art. 3o. O zoneamento minerário para fins de definição das zonas aptas para a extração de areia será concluído pela SMA no prazo de quatro meses, contados a partir da data da publicação desta Resolução.

Parágrafo único. Decorrido o prazo definido neste artigo, as solicitações de licenças serão acolhidas na forma da lei, conforme o que estabelecem, tanto esta como as Resoluções SMA 26/93 e 66/95.

Art. 4o. As atividades referidas no art. 2o deverão adotar procedimentos operacionais que objetivem mitigar os impactos por elas provocados como também medidas para recuperação da área degradada, a saber:

I. Demarcação, em campo, com marcos resistentes e de fácil visualização, do "pit" final para as cavas e da área de dragagem para os casos de leito. Estes marcos deverão ser acompanhados de memorial descritivo que permita sua amarração com a cartografia oficial.

II. Cercamento do empreendimento.

III. Retirada das instalações e dos acessos existentes em Área de Preservação Permanente, exceto do previsto no item VI do art. 6o para extração em leito e do que for avaliado pelos órgãos de controle como tecnicamente inviável.

IV. Revegetação da Área de Preservação Permanente exclusivamente com espécies nativas.

V. Umectação das vias de acesso (particulares e/ou municipais) duas vezes ao dia no período de estiagem.

VI. Apresentação dos seguintes documentos:

a) atos constitutivos da pessoa jurídica responsável pelo empreendimento.

b) registro definitivo da empresa mineradora no CREA e indicação de um profissional habilitado, responsável pela operação e desativação do empreendimento, como também pela recuperação da área degradada.

c) contrato de arrendamento e o termo de compromisso de aceite do proprietário do solo com a recuperação proposta, prevendo-se que o minerador será responsável pela área até que se consolide a recuperação prevista, e que, a partir desta etapa, o proprietário se responsabilizará pela sua preservação.

d) Protocolo, na Secretaria de Segurança e Saúde do Trabalho, do Programa de Prevenção de Riscos Ambientais, de acordo com o estabelecido pela Portaria nº 25 de 29/12/94.

e) Termo de Ajustamento de Conduta da empresa mineradora e do responsável(is) técnico(s), obrigando-se a adotar procedimentos para minimização dos impactos ambientais nas fases de execução do projeto de lavra, de recuperação da área degradada e de desativação do empreendimento.

f) Termo de Fiança dos titulares da empresa mineradora, responsabilizando-se, solidariamente, pela recuperação de área degradada.

Art. 5o. Além do cumprimento das exigências estabelecidas no artigo anterior, a extração de areia em cava submersa deverá também atender as seguintes determinações:

I. Obediência ao estabelecido pela Norma Cetesb D 7.010/90.

II. Não realizar dragagem em Área de Preservação Permanente, e nas situações de invasão dessa área, executar o aterro com finos na base e capeamento argiloso. III. Executar os taludes de cava com altura máxima de 10m. Deverão ser feitas bermas subdividindo essa amplitude nas cavas finais com profundidade superior a 10m.

IV. Deverão os primeiros 5m horizontais dos taludes emersos e submersos, a partir do nível mínimo da água, voltados para o interior das cavas, obedecer a uma inclinação máxima de 17o ou 30%.

V. Para os taludes estáveis (com vegetação de gramíneas ou de maior porte, e sem sulcos erosivos, abatimentos ou outros indícios de ruptura) localizados junto a frentes que não mais serão lavradas, não há necessidade de obediência aos itens III e IV deste artigo.

VI. Deverá o funcionamento ser feito em circuito fechado e a água de retorno das pilhas ou classificadores/silos ser direcionada para a cava.

VII. Não será permitido desmatamento e uma distância mínima de segurança de 10 metros deverá ser mantida entre a borda da cava a ser lavrada e a área de mata.

VIII. Deverá executar-se concomitante às operações de lavra, o decapeamento, e o material removido (solo orgânico ou argiloso) deverá ser estocado para fins de revegetação.

IX. Deverá ser de 50m a distância mínima entre cavas de até 20ha, respeitadas as distâncias mínimas de 25m entre elas e o limite da propriedade arrendada.

Art. 6o. Além das exigências estabelecidas no artigo 4o, a extração de areia em leito de rio, deverá também cumprir as seguintes exigências:

I. Adequar as atividades e a disposição das instalações operacionais ao disposto na Norma CETESB D 7.010/90.

II. Não realizar dragagem de ilhas.

III. Identificar o trecho licenciado através de marcos de concreto e bandeiras, ou outro sistema de fácil reconhecimento e difícil remoção ou transferência.

IV. Realizar a extração somente no pacote de areia de assoreamento, sem alterar margens ou leito fluvial do curso d'água. implantar obras e/ou medidas de proteção das margens no local de atracação das barcas.

V. Não deverão ser formadas baías de atracação, exceto para guarda da draga e em área definida pelo órgão licenciador, com o compromisso de recuperação.

VI. Redução da área de pátio de manobras/operação para um máximo de 4.500m<sup>2</sup>, quando situada em Área de Preservação Permanente. Nesses casos, deverão distar, no mínimo, 50 metros da margem do rio e não ter mais de 90 metros de largura, em paralelo com o rio. Cada empreendimento poderá ter apenas um pátio, sendo permitido um acesso de 10m de largura interligando-o ao rio. Nas demais áreas de preservação permanente (faixa de 100m) no domínio do empreendimento, deverão ser plantadas espécies arbóreas nativas, obedecidos os critérios de sucessão ecológica.

VII. Deverá ser revegetada a área do pátio ao término das operações de lavra e/ou das licenças concedidas pela Cetesb.

VIII. Deverão as águas residuárias provenientes dos silos classificadores sofrer decantação dos finos, antes de retornarem ao corpo d'água, de forma a atender ao Artigo 18 do Decreto Estadual nº 8.468/76.

Art. 7º. Além das exigências estabelecidas no artigo 4º, a extração de areia por desmonte hidráulico, deverá também adotar os seguintes procedimentos:

I. Aqueles estabelecidos pela Norma Cetesb D7.011/90.

II. Implantar bacias de decantação que permitam a adequada sedimentação dos resíduos sólidos e clarificação da água.

III. Apresentar projeto das bacias de decantação de acordo com o disposto no "Manual de Pequenas Centrais Hidrelétricas", item "Barragem de Terra" elaborado pela Eletrobrás e pelo Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica - DNAEE, assim como à norma NBR13028/1993 e anexo da ABNT, intitulada "Elaboração e apresentação de projeto de disposição de rejeitos de beneficiamento em barramento em mineração".

IV. Dispor de forma organizada os rejeitos, a partir do corpo de terra do dique ou barramento.

V. Executar a circulação da água no processo em circuito fechado.

VI. Levar em consideração, na implantação de vertedouros e desvios de drenagem, os dados contidos nos estudos hidrológicos e hidráulicos.

VII. Possuir o "pit" final da jazida taludes com amplitude máximas inferiores a 15 metros e suas inclinações deverão ter, como limite máximo, o ângulo de 45º. Nesses taludes deverão ser executadas bermas quando necessário.

VIII. Revegetar com gramíneas os taludes dos diques ou barragens.

IX. Conduzir as águas pluviais provenientes dos silos ou da área de armazenagem de areia a céu aberto às bacias de decantação e retorná-las, em seguida, ao circuito de mineração.

X. Implantar previamente bermas e sistemas de drenagens nos limites dos remanescentes de vegetação nativa.

Art. 8º. Além das exigências estabelecidas nos arts. 4º, 5º, 6º e 7º, todas as atividades de extração de areia referidas no art. 2º, deverão adotar as seguintes medidas de recuperação das áreas degradadas:

I. A camada superior do solo da área a ser minerada deverá ser imediatamente aproveitada ou estocada em depósitos previamente projetados. O prazo de estocagem não pode ultrapassar dois anos.

II. A camada superficial do solo deverá ser disposta por toda a área a ser revegetada, com a espessura de 20 a 30 cm. Caso não haja volume de material disponível, o solo deverá ser disposto, preferencialmente, nas covas.

III. Quanto à fertilidade, as medidas corretivas deverão envolver calagem, incorporação de matéria orgânica, adubação fosfatada ou adubação verde, aplicação de fertilizantes potássicos e adubação nitrogenada de cobertura, sempre que necessário.

IV. A revegetação das áreas degradadas deve obedecer aos seguintes critérios: a) nas áreas marginais ao rio Paraíba do Sul deverá ser feito um plantio misto constituído exclusivamente de espécies nativas da região realizado em duas etapas:

1 - primeira etapa: plantio de espécies arbóreas pioneiras e secundárias iniciais, ou seja, com características mais agressivas e de rápido crescimento, em número mínimo de 4 espécies, sendo que nenhuma espécie pode exceder 25% do número total de espécies plantadas por hectare, com espaçamento mínimo de 3x2,5m (1330/ha), dispostas intercaladamente e colocadas em covas com dimensões mínimas de 0,60x0,60x0,60 metros preenchidas com terra vegetal e devidamente adubadas.

2 - Segunda etapa: após estabelecimento dos indivíduos plantados na primeira etapa, que pode ser constatado pelo sombreamento total da área revegetada ou ao se atingir uma altura média mínima dos indivíduos de 3 metros de altura deverão ser introduzidas espécies arbóreas secundárias tardias e climáticas com intuito de aumentar a biodiversidade local e reabilitar as áreas de preservação permanente, para que cumpram seu papel de abrigar a flora e fauna silvestre, proteger o solo e os recursos hídricos, bem como propiciar uma melhoria na paisagem.

3 - A etapa de que trata o item anterior deverá conter um número mínimo de quinze espécies e cada hectare, um número mínimo de 10 indivíduos de cada espécie por hectare, dispostas intercaladamente, com espaçamento mínimo de 6x6 metros e colocadas em covas similares às descritas na primeira etapa.

4 - O empreendedor pode também optar pela implantação de um modelo de revegetação que contemple todos os estágios sucessionais simultaneamente no ato do plantio, desde que sejam mantidos a diversidade e o adensamento estabelecido para o plantio em duas etapas.

b) nas margens das cavas e nas áreas não consideradas pela legislação vigente como de preservação permanente, dependendo da intenção de usos futuros do solo, poderão ser utilizados plantios homogêneos de espécies exóticas e nativas, ou outras alternativas, mediante aprovação do projeto pela SMA, desde que cumpram a função de proteção do solo e dos recursos hídricos.

I. Nos taludes situados na Área de Preservação Permanente, ao longo do Rio Paraíba do Sul, onde as faixas remanescentes de solo entre cava e rio são bastante estreitas, serão admitidas declividades mais acentuadas (até 1V: 1,5H).

II. Como medidas complementares à revegetação, dever-se-ão prever o cercamento das áreas, para impedirem-se o trânsito no local e o acesso de animais, e o plantio de cortina vegetal no entorno da propriedade, com o objetivo de barrar-se o vento, conter-se a poeira gerada no transporte de areia por veículos e minimizar-se o impacto visual, utilizando-se para isto, espécies arbóreas de rápido crescimento, plantadas em duas fileiras, numa faixa de 3m de largura e 1,5 de distância entre indivíduos.

III. Os empreendimentos que promoveram desmatamento e/ou degradação irregular deverão incluir áreas equivalentes às mencionadas para recuperação, numa proporção igual ou superior à área degradada, a critério da SMA.

IV. Caberá aos mineradores o início imediato das medidas de revegetação em Área de Preservação Permanente, onde devem ser obedecidas as diretrizes elencadas.

V. A manutenção das áreas revegetadas, de extrema importância para o sucesso da recuperação, deverá envolver a limpeza (roçadas e coroamentos periódicos), a reposição

de mudas mortas ou danificadas, o controle de pragas e doenças, adubação e irrigação periódica, até que se alcance o sombreamento total da área de plantio, ou que os indivíduos atinjam uma altura mínima de 3 metros, principalmente em áreas onde não foi feito o recapeamento com solo fértil.

VI. Como forma de orientar o controle e o uso futuro das cavas, deverão ser adotadas as seguintes medidas:

a) monitoramento da qualidade da água de forma a orientar o uso futuro e/ou estabelecer medidas necessárias para a proteção da saúde dos trabalhadores, bem como das populações circunvizinhas.

b) realizarem-se análises, a princípio, semestralmente, em diferentes estações do ano (inverno e verão), por laboratório idôneo.

I. Somente serão considerados reabilitados os corpos d'água que atingirem, no mínimo, a Classe 2, de acordo com a classificação estabelecida na Resolução CONAMA no 20/86.

Art. 9º. A fiscalização das disposições desta Resolução como dos licenciamentos dela decorrentes, deverá ser feita de forma integrada entre a CETESB, o DAIA e o DEPRN. Parágrafo único. A SMA deverá propor, através de consórcios, convênios ou outras formas juridicamente possíveis, a integração dos Municípios envolvidos, bem como da União e dos seus órgãos ambientais, na realização da atividade de que trata este artigo.

Art. 10. A Licença de Instalação só será outorgada se constatado o cumprimento do disposto nos incisos I e nas alíneas "a", "c", "e" e "f" do inciso VI do art. 4º, e nos arts. 5º, 6º e 7º desta Resolução, e se:

I. Comprovado o início da revegetação de que trata o inciso IV do art. 4º.

II. Protocolado o pedido de registro de que trata o inciso VI do art. 4º.

III. Assinado o Termo de Compromisso pelo qual o empreendedor se obriga a executar todas as medidas de recuperação propostas no processo de licenciamento e no plano de revegetação apresentado, e a cumprir todas as exigências técnicas determinadas no Laudo de Vistoria, bem como a pagar a multa diária prevista no artigo 11.

Art. 11. O não cumprimento de quaisquer das obrigações principais e acessórias assumidas, sujeitará o empreendedor à interdição do empreendimento, sem prejuízo da responsabilidade civil ou criminal, bem como do pagamento de multa diária de 1.000 UFESP.

Art. 12. A Licença de Funcionamento só será outorgada após o cumprimento das disposições do art. 4º e deverá ser reavaliada, no máximo, a cada (18) dezoito meses, facultando-se o órgão competente sua cassação, no caso do não-cumprimento dos critérios estabelecidos na concessão da licença.

Art. 13. As atividades minerárias de que trata o art. 3º deverão no prazo máximo de noventa (90) dias, contados a partir da data de publicação desta Resolução, apresentar todos os documentos e comprovações exigidos por este instrumento legal para a obtenção da Licença de Instalação, sob pena de imediata interdição de suas atividades. Parágrafo único. A SMA se manifestará sobre o pedido de licença no prazo máximo de cento e vinte (120) dias, contados a partir da data do protocolo dos documentos.

Art. 14. Esta Resolução entrará em vigor na data de sua publicação.